



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ – ΘΡΑΚΗ» 2014 – 2020

ΕΥΔ ΕΠ Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.1 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΕΝΤΥΠΟ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΑΙΤΗΣΗΣ
ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ ΠΟΥ ΥΠΟΒΑΛΕΤΑΙ ΕΝΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΡΑΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

«Επενδυτικά Σχέδια Καινοτομίας, Έρευνας και Ανάπτυξης
Επιχειρήσεων» στους κλάδους της Περιφερειακής Στρατηγικής
Έξυπνης Εξειδίκευσης (RIS3)

Κωδικός πράξης: ΑΜΘΡ7-0018068

Δικαιούχος: Συστήματα Ελέγχου Τάκης Γ. Ζαριφόπουλος Ανώνυμος Εταιρεία
Ιδιωτική Επιχείρηση Παροχής Υπηρεσιών Ασφάλειας

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

(8/2019 – 8/2022)

Ξάνθη, Οκτώβριος 2022



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Περιεχόμενα

| | | |
|------|--|-----|
| 1. | Αντικείμενο – Παραδοτέο του Έργου | 4 |
| 2. | Σύνοψη της Προόδου του Φυσικού Αντικειμένου | 5 |
| 3. | Παρουσίαση της Προόδου του Φυσικού Αντικειμένου ανά Ενότητα Εργασίας | 9 |
| 3.1. | Ανάπτυξη των τεχνικών προδιαγραφών | 9 |
| | Χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες των συστημάτων προσομοίωσης | 9 |
| | Γραφικά κίνησης για συμπεριφορές ομάδων και πληθών | 12 |
| | Μηχανισμοί Διάδοσης της Θερμότητας | 18 |
| 3.2. | Μοντελοποίηση και σχεδιασμός του συστήματος | 20 |
| | Το ζήτημα της έγκαιρης εκκένωσης – Σκοπός του παρόντος έργου | 20 |
| | Συστήματα προσομοίωσης και μοντελοποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς | 24 |
| | Συνήθη μοντέλα προσομοίωσης πλήθους | 30 |
| | Πρόβλεψη Διάδοσης Φωτιάς | 39 |
| | Μοντέλα προσομοίωσης διάδοσης φωτιάς | 40 |
| 3.3. | Πειραματική μελέτη και αποτελέσματα | 58 |
| | Προτεινόμενο μοντέλο Κ.Α. εκκένωσης χώρων | 58 |
| | Προτεινόμενο μοντέλο Κ.Α. εκκένωσης πλήθους λόγω φωτιάς Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης. | |
| | Αλγόριθμος Ανίχνευσης και Παρακολούθησης | 116 |
| | Εμπλουτισμένο προτεινόμενο μοντέλο Κ.Α. διάδοσης φωτιάς | 129 |
| 3.4. | Διάχυση και Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων | 171 |
| 4. | Συμπεράσματα | 172 |
| 5. | Βιβλιογραφία – Πηγές | 174 |



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

1. Αντικείμενο – Παραδοτέο του Έργου

Σύμφωνα με το τροποποιημένο Τεχνικό Δελτίο Πράξης (ΤΔΠ), το οποίο μας διαβιβάστηκε, με ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, από την ΕΥΔΕΠ-ΑΜΘ στις 19/8/2019, **το αντικείμενο του έργου με τίτλο: «Ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα με στόχο την παρακολούθηση και ανίχνευση ατόμων σε έκτακτες περιπτώσεις εκκένωσης κτιρίων»**, είναι η ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος παθητικής-ενεργητικής ασφάλειας (σε μορφή λογισμικού και με δυνατότητες υλοποίησης σε υλικό), με σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση και την αποτελεσματική καθοδήγηση πλήθους σε ασφαλή σημεία ή/και εξόδους, σε έκτακτη περίπτωση εκκένωσης εσωτερικών χώρων μετά εκδήλωσης φωτιάς σε ζωνική για το πλήθος περιοχή. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα σύστημα παρακολούθησης, εκτίμησης της εξέλιξης και έγκαιρης προειδοποίησης. Επιπλέον, η χρησιμοποίησή του αποσκοπεί στην αναβάθμιση υφιστάμενων συστημάτων πυρασφάλειας, προεγκατεστημένων στον περιβάλλοντα χώρο, και στη μετατροπή τους σε ενεργητικά εργαλεία διαχείρισης κρίσιμης κατάστασης, για την αποφυγή απώλειας ελέγχου.

Επιπρόσθετα (σύμφωνα πάλι με το τροποποιημένο Τεχνικό Δελτίο Πράξης), **συνοπτικά οι ενότητες εργασίας** περιλαμβάνουν την ανάπτυξη των τεχνικών προδιαγραφών, τη μοντελοποίηση και τον σχεδιασμό του συστήματος, την πειραματική μελέτη και τα αποτελέσματα, τη διάχυση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Τέλος (σύμφωνα πάλι με το τροποποιημένο Τεχνικό Δελτίο Πράξης), **το έργο έχει ένα τελικό Παραδοτέο** ήτοι: «Ένα ολοκληρωμένο σύστημα ενεργητικής πυροπροστασίας (σε μορφή λογισμικού και με δυνατότητες υλοποίησης σε υλικό), με σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση και την αποτελεσματική καθοδήγηση πλήθους σε ασφαλή σημεία ή/και εξόδους, σε έκτακτη περίπτωση εκκένωσης εσωτερικών χώρων μετά την εκδήλωση φωτιάς σε ζωνική για το πλήθος περιοχή».

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

2. Σύνοψη της Προόδου του Φυσικού Αντικειμένου

| Συγκεντρωτικός Πίνακας Καταγραφής της Προόδου του Φυσικού Αντικειμένου (ΑΜΘΡ7-0063343) | | | |
|--|---|------------------------|--------------------------------------|
| Περίοδος Αναφοράς: 8/2019 – 8/2022 | | | |
| Ενότητα Εργασίας (σύμφωνα με το τροποποιημένο ΤΔΠ) | Περιγραφή Εργασιών / Δράσεων που υλοποιήθηκαν / υλοποιούνται | Ποσοστό ολοκλήρωσης | Παρατηρήσεις |
| Τεχνικές προδιαγραφές | <ul style="list-style-type: none"> - Πραγματοποιήθηκε πλήρης διερεύνηση του ανταγωνισμού διεθνώς και των αναγκών της ελληνικής αγοράς. - Αποφασίστηκαν οι τεχνικές προδιαγραφές που θα πρέπει να πληροί το προτεινόμενο σύστημα με σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση και την αποτελεσματική καθοδήγηση πλήθους σε ασφαλή σημεία ή/και εξόδους, σε έκτακτη περίπτωση εκκένωσης εσωτερικών χώρων μετά την εκδήλωση φωτιάς σε ζωτική για το πλήθος περιοχή | 100% | Η Ενότητα Εργασίας έχει ολοκληρωθεί. |
| Μοντελοποίηση και σχεδιασμός του συστήματος | <ul style="list-style-type: none"> - Μοντελοποιήθηκε και σχεδιάστηκε το προτεινόμενο σύστημα με τη χρήση κατάλληλων | 100% | Η Ενότητα Εργασίας έχει ολοκληρωθεί. |

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

| | | | |
|----------------------------------|--|-------------|---|
| | <p>παράλληλων βιοεμπνευσμένων υπολογιστικών εργαλείων τόσο για τη μοντελοποίηση όσο και για την πρόβλεψη της κίνησης του πλήθους με σκοπό την ασφαλή εκκένωση εσωτερικών χώρων σε περίπτωση παρουσίας έκτακτων συνθηκών, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εκδήλωσης φωτιάς και τη μοντελοποίηση των δύο διακριτών φαινομένων που αλληλοεπιδρούν, εν προκειμένω της εκκένωσης και της φωτιάς και με βάση το προτεινόμενο κατάλληλο παράλληλο υπολογιστικό μοντέλο</p> | | |
| <p>Πειραματική μελέτη</p> | <p>- Σχεδιασμός, μοντελοποίηση και ανάπτυξη του συστήματος και εφαρμογής αυτού σε διαφορετικές περιπτώσεις εκκένωσης βάσει συλλογής δεδομένων από</p> | <p>100%</p> | <p>Η Ενότητα Εργασίας έχει ολοκληρωθεί.</p> |

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

| | | | |
|--|---|-------------|---|
| | <p>υφιστάμενο δίκτυο αισθητήρων σχετικά με την αρχική κατανομή του πλήθους στο χώρο και την αρχική θέση εκδήλωσης του έκτακτου φαινομένου, καθώς την ενσωμάτωση των αρχικών συνθηκών στα υπολογιστικά μοντέλα προσομοίωσης της κίνησης του πλήθους και την έναρξη προσομοίωσής τους και εξέλιξης του έκτακτου φαινομένου.</p> | | |
| <p>Διάχυση και Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Δημιουργία Ιστοσελίδας του έργου. - Δημιουργία αφίσας του έργου. - Παρουσία, παρουσίαση και ομιλία σε κλαδικό συνέδριο και έκθεση (με θέμα την Πυρασφάλεια, Ασφάλεια, Βιομηχανία) - Δημοσίευση των αποτελεσμάτων σε διεθνές επιστημονικό περιοδικό και υποβολή αυτών για πιθανές δημοσιεύσεις σε έγκριτα διεθνή περιοδικά. | <p>100%</p> | <p>Η Ενότητα Εργασίας έχει ολοκληρωθεί.</p> |



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ποσοστό ολοκλήρωσης του Φυσικού Αντικειμένου του Έργου: 100%



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

3. Παρουσίαση της Προόδου του Φυσικού Αντικειμένου ανά Ενότητα Εργασίας

3.1. Ανάπτυξη των τεχνικών προδιαγραφών

Χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες των συστημάτων προσομοίωσης

Πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολη η σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών που αφορούν τους εικονικούς ανθρώπους. Στον Πίνακα 1 επισημαίνονται κάποια χαρακτηριστικά που τις διέπουν.

Πίνακας 1. Σύγκριση των εικονικών ανθρώπων Allbeck and Badler (2002) [16].

| | |
|-----------------|--|
| Εμφάνιση | 2D σχέδιο > 3D περιγραφή μόνο με ακμές > 3D πολύεδρο > καμπύλες επιφάνειες > παραμόρφωση ελεύθερης μορφής > ακριβείς επιφάνειες > μύες, λίπος > βιομηχανική > ένδυση, εξοπλισμός > δράσεις του ανθρώπινου σώματος (ιδρώτας, ερεθισμός, τραυματισμός) |
| Λειτουργικότητα | σκίτσο > αρθρωτός σκελετός > όρια στις αρθρώσεις > όρια στην δύναμη > κούραση > ρίσκο > τραυματισμός > ικανότητες > επίδραση φορτίου και άγχος > ψυχολογικά μοντέλα > γνωστικά μοντέλα > ρόλοι > συνεργασία |
| Χρόνος | αλληλεπιδραστικός χειρισμός > αναπαραγωγή κίνησης σε πραγματικό χρόνο > παραμετροποίηση της σύνθεσης της κίνησης > πολλαπλά μέσα > πλήθος > συντονισμένες ομάδες |
| Αυτονομία | σχεδιάγραμμα > σενάριο > αλληλεπίδραση > αντίδραση > λήψη αποφάσεων > επικοινωνία > πρόθεση > λήψη πρωτοβουλίας > ανάληψη αρχηγίας |
| Ατομικότητα | γενικός χαρακτήρας > επεξεργασμένος με το χέρι χαρακτήρας > πολιτιστικές διαφορές > φύλο και ηλικία > προσωπικότητα > ψυχολογικό και φυσιολογικό προφίλ > άτομο |

Το χαρακτηριστικό της **εμφάνισης** περιγράφει τις πτυχές της εικονικής ιδιότητας του χαρακτήρα.

Το χαρακτηριστικό της **λειτουργικότητας** αφορά τις ικανότητες των εικονικών ανθρώπων. Πιο συγκεκριμένα, το χαρακτηριστικό της λειτουργικότητας έχει να κάνει με το ποιες κινήσεις μπορεί να εκτελέσει και ποιες συμπεριφορές είναι δυνατόν να εμφανίσει ο χαρακτήρας, αλλά και με το πόσο ακριβείς μπορεί να είναι αυτές. Παραδείγματος χάριν, σε περίπτωση τραυματισμού ή κακής ψυχολογικής κατάστασης η εικονική συμπεριφορά έχει να κάνει και με τη φύση του χαρακτήρα. Από τα παραπάνω προκύπτει και το τελικό ερώτημα για το αν είναι δυνατό οι συμπεριφορές του εικονικού ανθρώπου να συντονιστούν με αυτές των υπολοίπων, ώστε να δημιουργήσουν ομάδες με κοινές συμπεριφορές και κινήσεις.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Το χαρακτηριστικό του **χρόνου** έχει να κάνει με την ικανότητα του συστήματος, όσον αφορά τους διάφορους υπολογισμούς. Εξετάζεται δηλαδή αν οι υπολογισμοί είναι αρκετά πολύπλοκοι, ώστε η κίνηση να συντελεστεί σε πραγματικό χρόνο και αν είναι δυνατό να προσομοιωθούν περισσότεροι από ένα χαρακτήρα σε συνθήκες πραγματικού χρόνου κ.α..

Το χαρακτηριστικό της **αυτονομίας** δηλώνει το επίπεδο στο οποίο ο κάθε χαρακτήρας μπορεί να ελέγχει τον εαυτό του. Το χαρακτηριστικό αυτό εξετάζει το αν είναι δυνατόν ο σχεδιαστής του χαρακτήρα να μπορεί να ορίζει κάθε στιγμή τη συμπεριφορά του χαρακτήρα του ή αυτός να μπορεί να παίρνει τις αποφάσεις από μόνος του. Εξετάζεται επίσης το γεγονός αν μπορεί κάποιος χαρακτήρας να πάρει αποφάσεις και για άλλους χαρακτήρες και να ενεργήσει έτσι ως αρχηγός.

Η **ατομικότητα** έχει να κάνει με το πόσο ο χαρακτήρας του κάθε εικονικού ανθρώπου μπορεί να διαφοροποιηθεί από αυτόν των άλλων εικονικών ανθρώπων, όσον αφορά τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά. Εξετάζεται δηλαδή αν οι χαρακτήρες είναι δυνατό να μοιάζουν και να συμπεριφέρονται όλοι το ίδιο ή αν κάποιος παρατηρητής μπορεί να αναγνωρίσει διαφορετικά είδη προσωπικότητας σε αυτούς.



Σχήμα 1. Η αίσθηση όσον αφορά την ποικιλία του πλήθους (McDonnell 2008).

Ο πίνακας αυτός αρχικά δημιουργήθηκε λαμβάνοντας υπόψη έναν ή λίγους «εικονικούς» ανθρώπους. Όμως στα διάφορα προβλήματα που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν λαμβάνει μέρος ένας μεγάλος αριθμός ανθρώπων. Όσον αφορά την εμφάνιση, θα ήταν επιθυμητή μια μεγάλη ποικιλία για πιο ρεαλιστικές αναπαραστάσεις. Το ίδιο ισχύει και για το χαρακτηριστικό της λειτουργικότητας, αφού σε καμία περίπτωση δεν είναι επιθυμητό να φαίνεται ότι όλοι οι χαρακτήρες βαδίζουν με πανομοιότυπο τρόπο. Σε μία σχετικά πρόσφατη εργασία του, ο McDonnell (2007, 2008) [17], [18] (Σχήμα 2) έχει διερευνήσει το ποσοστό της διαφοροποίησης που απαιτείται για αυτά τα χαρακτηριστικά του πλήθους.

Συνεχίζοντας συναντάται το χαρακτηριστικό του χρόνου που περιλαμβάνει το πόσοι χαρακτήρες μπορούν να προσομοιωθούν σε κάθε πλαίσιο. Η αυτονομία μπορεί να επεκταθεί, ώστε να περιλαμβάνει μηχανισμούς για



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης το συντονισμό, τη συνεργασία αλλά ακόμα και τον ανταγωνισμό με άλλους χαρακτήρες. Οι χαρακτήρες έτσι θα μπορούν να αποφασίζουν κατάλληλα από μόνοι τους για το αν μία αποστολή απαιτεί επιπρόσθετο προσωπικό και σχεδιασμό. Η ατομικότητα κάνει την αναπαράσταση του πλήθους πιο ενδιαφέρουσα και πιο ρεαλιστική. Επίσης, εξίσου σημαντικός γίνεται και ο σχηματισμός ομάδων. Οι άνθρωποι δημιουργούν δεσμούς με άλλους ανθρώπους, οι οποίοι αλλάζουν με τον καιρό ακόμα και κατά την διάρκεια της ημέρας. Στις περιπτώσεις όπου συμμετέχει μεγάλος αριθμός εικονικών ανθρώπων, αυτές οι δυναμικές αλλαγές εμφανίζουν ιδιαίτερη σημασία όσον αφορά την προσομοίωση.

Πολλοί ερευνητές που ασχολούνται με την προσομοίωση του πλήθους επικεντρώνονται κυρίως στην περαιτέρω ανάπτυξη ενός ή το πολύ δύο χαρακτηριστικών. Ο McDonnell και οι συνάδελφοί του επικεντρώθηκαν κυρίως στη γενική εμφάνιση [17], [18], κάτι το οποίο σχετίζεται όμως και με τον χρόνο, αφού η συχνότητα των καρτέ επηρεάζεται άμεσα από την ανάλυση των χαρακτήρων [19]. Ο Ahn [20] επικεντρώθηκε στη χρήση όχι μόνο του επιπέδου της λεπτομέρειας των μοντέλων των χαρακτήρων αλλά και του επιπέδου της λεπτομέρειας στην κίνηση, ώστε να αυξήσει δυναμικά τον αριθμό των χαρακτήρων που μπορούσαν να προσομοιωθούν σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Πολλές ερευνητικές ομάδες επίσης, προσπάθησαν να αυξήσουν το επίπεδο της λειτουργικότητας του πλήθους, ιδιαίτερα στον τομέα της πλοήγησης, αλλά και της αποφυγής συγκρούσεων μεταξύ των χαρακτήρων [15], [21], [22], [23], [24]. Η συνεργασία και ο συντονισμός μέσα στην προσομοίωση του πλήθους έχει διερευνηθεί, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό [25], [26], [27]. Η ατομικότητα έχει υπάρξει το επίκεντρο όχι μόνο από μεμονωμένους ερευνητές, αλλά και από αρκετές ερευνητικές ομάδες σχετικές με την προσομοίωση του πλήθους [28], [29], [26], [30].

Όσον αφορά την απεικόνιση του εικονικού πλήθους, ο στόχος που τίθεται είναι συνήθως είτε να επιτευχθεί η προσομοίωση σε συνθήκες πραγματικού χρόνου για πολύ μεγάλο αριθμό ανθρώπων, όταν η συμπεριφορά του κάθε ατόμου δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική, εφόσον η συνολική κίνηση του πλήθους μοιάζει ιδιαίτερα ρεαλιστική ή η εστίαση σε μεμονωμένες συμπεριφορές, χρησιμοποιώντας πολύπλοκα γνωστικά μοντέλα αλλά για πολύ μικρότερο αριθμό χαρακτήρων.

Ιδιαίτερη ερευνητική προσπάθεια έχει επίσης γίνει για την περαιτέρω βελτίωση, όσον αφορά τον ρεαλισμό της συμπεριφοράς σε κάθε μία από αυτές τις προσεγγίσεις. Παρόλα αυτά κανένα από τα παραπάνω μοντέλα δεν μπορεί να απεικονίσει ρεαλιστικά την πολυπλοκότητα και τη λειτουργικότητα της κίνησης του πλήθους σε ένα μεγάλο κτίριο ή σε μία πόλη. Σύγχρονες έρευνες πάνω στην κίνηση του πλήθους επικεντρώνονται στη ρεαλιστική απεικόνιση πλήθους με μέση ή υψηλή πυκνότητα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπου οι εικονικοί χαρακτήρες προικίζονται με τέτοια ψυχολογικά στοιχεία, ώστε όχι μόνο να λαμβάνουν αποφάσεις



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης υψηλού επιπέδου, αλλά και να αντιδρούν στις αλλαγές που συμβαίνουν γύρω τους (σπρωξίματα, διαγκωνισμοί, γρηγορότερη κίνηση, νευρικότητα, κλπ.) [23].

Γενικά, οι περισσότερες προσεγγίσεις ασχολούνται είτε με απλά περιβάλλοντα ή θεωρούν ότι οι χαρακτήρες έχουν πλήρη γνώση του περιβάλλοντος και κινούνται προς κάποιο στόχο μεμονωμένα, χωρίς να υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των χαρακτήρων. Άλλες μελέτες επικεντρώνονται στην ρεαλιστική προσομοίωση του πώς η επικοινωνία επηρεάζει τη συμπεριφορά ενός μεμονωμένου χαρακτήρα [31] και στο πώς ο συνδυασμός διαφορετικών προσωπικοτήτων και καταστάσεων επηρεάζει την πλοήγηση ενός χαρακτήρα και τον τρόπο αλληλεπίδρασής του με τους άλλους χαρακτήρες και το περιβάλλον [26].

Για να είναι δυνατή η πλοήγηση των μεμονωμένων χαρακτήρων σε ένα εικονικό περιβάλλον, είναι απαραίτητο να τους εφοδιάσουμε με έναν αλγόριθμο εύρεσης της πορείας, ώστε να έχουν ένα σχεδιάγραμμα του κτιρίου ή του περιβάλλοντος. Η εύρεση της πορείας (way finding) είναι η διαδικασία καθορισμού και πραγματοποίησης της πορείας προς κάποιο προορισμό [33]. Η διαδικασία αυτή ασχολείται με το γνωστικό αντικείμενο της πλοήγησης και επομένως με τη γνώση και την επεξεργασία πληροφοριών που απαιτούνται για την κίνηση από μια αρχική θέση στη θέση - στόχο. Αρχικά οι χαρακτήρες μπορεί να έχουν μόνο κάποιες από τις πληροφορίες που αφορούν την εσωτερική δομή ενός κτιρίου, αλλά καθώς το εξερευνούν και αλληλεπιδρούν με τους άλλους χαρακτήρες του πλήθους, θα μπορούν να βρουν την πορεία προς την έξοδο ή το στόχο τους.

Η εύρεση της πορείας ορίζεται ως μια διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος με τρεις δευτερεύουσες διαδικασίες: λήψη αποφάσεων, εκτέλεση αποφάσεων και επεξεργασία πληροφοριών. Για να πραγματοποιηθεί η εύρεση της πορείας, ο κάθε χαρακτήρας χρειάζεται:

- έναν «χάρτη»: ένα νοερό μοντέλο του χώρου,
- έναν προσανατολισμό: την τωρινή του θέση μέσα στον χάρτη,
- εξερεύνηση: οι διαδικασίες, ώστε να βρει τα χαρακτηριστικά του χώρου (πόρτες, τοίχοι, επικίνδυνα στοιχεία, κλπ.),
- πλοήγηση: η διαδικασία της κίνησης μέσα στο περιβάλλον

Γραφικά κίνησης για συμπεριφορές ομάδων και πληθών

Το ανθρώπινο είδος είναι το πιο περίπλοκο γνωστό πλάσμα, με αποτέλεσμα η προσομοίωση του να αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία. Η γραφική απεικόνιση της συμπεριφοράς πληθών ανθρώπων, βασίζεται στην προσομοίωση ομάδων που αποτελούνται από πιο απλά όντα, όπως σμήνη από πουλιά [37], [63] ή κοπάδια



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης από ψάρια [35]. Η πρώτη απεικόνιση της κίνησης σμηγών εικονικών πουλιών με γραφικά έγινε στην ταινία *Eurhythmy*, από τους Amkraut, Girard, και Karl.

Έχουν υπάρξει αρκετές αρχιτεκτονικές που έχουν προταθεί για την παραγωγή συμπεριφορών όμοιων με αυτές των ανθρώπων. Τα χαρακτηριστικά αυτών των αρχιτεκτονικών περιλαμβάνουν μια μεγάλη σειρά από πιθανές απαιτήσεις, όπως είναι η αντίληψη, η μνήμη, η προσοχή, ο σχεδιασμός, ο συλλογισμός, η επίλυση προβλημάτων, η μάθηση, τα συναισθήματα και η διάθεση. Οι αρχιτεκτονικές αυτές των χαρακτήρων αποτελούνται γενικά από την αντιπροσώπευση της γνώσης των χαρακτήρων, τις συμπεριφορές που «μαθαίνουν» οι χαρακτήρες και τα στοιχεία που σχεδιάζουν τις δράσεις και βασίζονται σε αυτήν τη γνώση [34], [27]. Ο Tu και οι συνάδελφοί του εργάστηκαν πάνω στην απεικόνιση της συμπεριφοράς για τη δημιουργία τεχνητής ζωής, αφού στους εικονικούς χαρακτήρες χαρίζεται η τεχνητή όραση και η αντίληψη του περιβάλλοντος [35], [36]. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα αυτών των συστημάτων τα καθιστά ακατάλληλα, αφού είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν σε καινούρια σενάρια.

Σχεδιαγράμματα που βασίζονται σε κανόνες είναι αρκετά γρήγορα, όταν χρησιμοποιούνται με μικρό αριθμό χαρακτήρων. Ο Reynolds το 1987 στην πρωτοποριακή του δουλειά [37] περιέγραψε ένα μοντέλο καταναμημένης συμπεριφοράς για την προσομοίωση της συνολικής κίνησης ενός σμήνους πουλιών. Η επαναστατική ιδέα ήταν ότι η περίπλοκη συμπεριφορά μιας ομάδας μπορεί να γίνει αντιληπτή από απλούς τοπικούς κανόνες που αφορούν τα μέλη της ομάδας, αντί μιας γενικής συνθήκης. Το σμήνος προσομοιώνεται ως ένα πολύπλοκο σύστημα σωματιδίων, με τα πουλιά που προσομοιώνονται να αποτελούν τα σωματίδια. Κάθε σωματίδιο εκτελεί ενέργειες σαν ένας πράκτορας που κατευθύνεται σύμφωνα με την αντίληψή του για τον περιβάλλοντα χώρο, τους νόμους της φυσικής που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση, και το σύνολο των συμπεριφορών. Τα σωματίδια προσπαθούν να αποφύγουν τις μεταξύ τους συγκρούσεις, καθώς και τις συγκρούσεις με άλλα αντικείμενα του χώρου, να κινούνται με παρόμοιες ταχύτητες με αυτές των κοντινών τους σωματιδίων και να κινούνται προς το κέντρο του σμήνους. Η συνολική κίνηση του προσομοιωμένου σμήνους είναι το αποτέλεσμα των αλληλοεπιδράσεων αυτών των σχετικά απλών συμπεριφορών των μεμονωμένων σωματιδίων. Αργότερα, ο Reynolds επέκτεινε την δουλειά του συμπεριλαμβάνοντας διάφορες συμπεριφορές διεύθυνσης (*steering behaviors*), την αποφυγή εμποδίων, την κίνηση σε μονοπάτι, ή την αποφυγή του [15], και εισήγαγε απλές μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων για τον έλεγχο συμπεριφορών.

Οι Tu και Terzopoulos πρότειναν ένα πλαίσιο για την γραφική απεικόνιση των κινήσεων τεχνητών ψαριών [35]. Εκτός των πολύπλοκων συμπεριφορών που βασίζονται στην αντίληψη του περιβάλλοντος, τα εικονικά ψάρια παρουσίασαν συνολικές κινήσεις σαν κοπάδι και κυνηγοί, αποφεύγοντας κινήσεις ανάλογες με αυτές των σμηγών πουλιών. Μια προσέγγιση παρόμοια με αυτή των εικονικών πουλιών χρησιμοποιήθηκε από τον

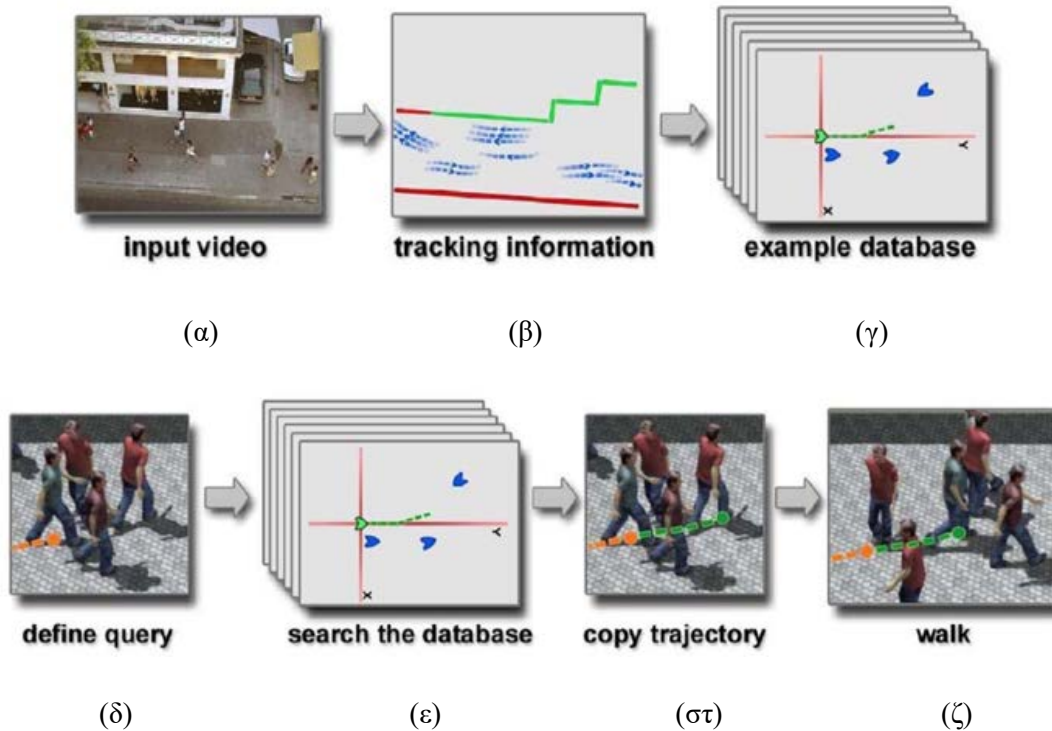


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Bouvier [46] για την προσομοίωση πληθών αποτελούμενων από ανθρώπους. Χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός σωματιδιακών συστημάτων και δικτύων μετάβασης για την μοντελοποίηση πληθών σε αστικούς χώρους. Στο χαμηλότερο επίπεδο, ελκτικές και απωθητικές δυνάμεις, ανάλογες με τις ηλεκτρικές, παρακινούν τους ανθρώπους να κινηθούν στον χώρο. Οι στόχοι παράγουν ελκτικές δυνάμεις, ενώ τα εμπόδια απωθητικές. Στο υψηλότερο επίπεδο, οι συμπεριφορές μοντελοποιούνται από δίκτυα μετάβασης με μεταβάσεις που εξαρτώνται από τον χρόνο, επισκέψεις συγκεκριμένων σημείων, αλλαγές τοπικών πυκνοτήτων ανθρώπων και καθολικά γεγονότα.

Οι Brogan και Hodgins [38], [39], [64] χρησιμοποίησαν συστήματα και δυναμικές σωματιδίων, για να μοντελοποιήσουν την κίνηση ομάδων. Αντίθετα με τα εικονικά πουλιά, επιτεύχθηκε μια πιο ρεαλιστική κίνηση, λαμβάνοντας υπόψη φυσικές ιδιότητες της κίνησης, όπως την ορμή ή την ισορροπία. Ο αλγόριθμός τους για τον έλεγχο των κινήσεων των πλασμάτων αναπτύσσεται σε δύο βήματα: πρώτα, ένα μοντέλο αντίληψης καθορίζει τα πλάσματα και τα εμπόδια που είναι ορατά σε κάθε άτομο, και στη συνέχεια ένας αλγόριθμος τοποθέτησης καθορίζει την επιθυμητή θέση για κάθε άτομο, δεδομένων των θέσεων και των ταχυτήτων των πλασμάτων και αντικειμένων που είναι αντιληπτά. Ο Helbing [40], [41] περιέγραψε μια προσωπική του μικροσκοπική προσέγγιση, για να προσομοιώσει την κίνηση των ατόμων με βάση το μοντέλο της κοινωνικής δύναμης. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί αναλογίες με τις δυνάμεις στη φύση και επιλύει τις εξισώσεις κίνησης του Newton για κάθε μεμονωμένο άτομο. Οι δυνάμεις που εξετάζονται περιλαμβάνουν τις απωθητικές αλληλεπιδράσεις, τις δυνάμεις τριβής, τη διασπορά και τη διακύμανση. Το μοντέλο αυτό θεωρεί τα άτομα ως σωματίδια. Οι παραπάνω δυνάμεις εμφανίζονται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων, όταν η πυκνότητά τους είναι αρκετά μεγάλη, ώστε τα σωματίδια να συγκρούονται μεταξύ τους. Πιο πρόσφατα σχετικά, ο Lerner (2007) [42] εισήγαγε μια καινοτόμα προσέγγιση, όσον αφορά την προσομοίωση που βασίζεται σε κανόνες, που βασιζόταν σε παραδείγματα, στα οποία δεδομένα τροχιών από πραγματικά πλήθη χρησιμοποιούνταν, για να δημιουργήσουν μια βάση δεδομένων με παραδείγματα, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνταν για τον καθορισμό της συμπεριφοράς των χαρακτήρων που προσομοιώνονταν (Σχήμα 2). Άλλες προσεγγίσεις που βασίζονται στη λήψη δεδομένων χρησιμοποιούν αλγόριθμους που βασίζονται σε τοπικά σταθμισμένες γραμμικές πορείες, για να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά του πλήθους [43]. [78], [79]

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 2. Προσομοίωση πλήθους με βάση παραδείγματα. (α) δεδομένα εισόδου (β) πληροφορίες τροχιών (γ) βάση δεδομένων με παραδείγματα (δ) εξέταση τροχιάς (ε) έρευνα στην βάση δεδομένων (στ) αντιγραφή τροχιάς (ζ) κίνηση [42].

Αυτοί οι προσομοιωτές πλήθους παραβλέπουν τις διαφορές μεταξύ των ατόμων και αντιμετωπίζουν το κάθε άτομο σαν να έχει την ίδια απλή συμπεριφορά. Όμως, υπάρχουν και άλλα μοντέλα που παρουσιάζουν το κάθε άτομο σαν να ελέγχεται από κανόνες που βασίζονται στους φυσικούς νόμους [44].

Σε ένα πλήθος που αποτελείται από πολλά άτομα, οι χαρακτήρες είναι αυτόνομοι, τυπικά ανομοιογενείς και το ενδιαφέρον τους έγκειται στο πώς θα συντονιστούνε για να δράσουν και να λύσουν τα διάφορα προβλήματα που εμφανίζονται στην πορεία τους. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές περιλαμβάνουν μοντέλα συμπεριφορών του πλήθους, που χρησιμοποιούνται και στην εκπαίδευση του προσωπικού του στρατού [45], καθώς και προσομοιώσεις κίνησης του πλήθους, για τη βελτίωση της δομής των κτιρίων όχι μόνο για ζητήματα καθημερινής χρήσης [46] αλλά και για την εκκένωση χώρων σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης [28], [47], [48].

Πολλά σχεδιαγράμματα έχουν επίσης προταθεί όσον αφορά την ικανότητα ρύθμισης των διαφόρων παραμέτρων για την εφαρμογή τους σε νέες καταστάσεις [49]. Πιο συγκεκριμένα, οι Musse και Thalmann το



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2001 [47] προχώρησαν στη δημιουργία πλήθους με διαφορετικά επίπεδα αυτονομίας όσον αφορά την συμπεριφορά τους, χωρίς όμως να παρουσιαστούν πολύπλοκες μεμονωμένες συμπεριφορές.

Πολύπλοκες συμπεριφορές μπορούν να απλοποιηθούν χρησιμοποιώντας μια αναπαράσταση της πράξης που διατηρεί τη σημαντικότητα της πράξης και των αντικειμένων που συμμετέχουν σ' αυτές [50]. Η αναπαράσταση αυτής της πληροφορίας με έναν γενικό τρόπο, ώστε να είναι εφαρμόσιμη σε πολλές περιπτώσεις, επιτρέπει τη σύνθεση του χαρακτήρα από το διαχειριστή και απαιτεί λιγότερο κόπο. Για παράδειγμα, η προσθήκη πληροφοριών σχετικά με τους χαρακτήρες που έχουν προσομοιωθεί, όπως π.χ. τους ρόλους τους, και η σύνδεση αυτών των πληροφοριών με μία ανάλογη ενέργεια, οδηγεί στη δημιουργία ενός λειτουργικού πλήθους, δηλαδή ενός πλήθους που πραγματοποιεί διάφορες ενέργειες και αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον με ουσιαστικό τρόπο. Επιπρόσθετα, διαφορετικοί τύποι ενεργειών μπορούν να σχεδιαστούν, ώστε να εμπλουτισθεί η προσομοίωση με νέες συμπεριφορές. Οι ενέργειες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς τρόπους ως προς την προέλευσή τους. Κάποιες ενέργειες σχεδιάζονται ή προγραμματίζονται, ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι. Άλλες ενέργειες είναι αντιδράσεις σε διάφορα γεγονότα που συμβαίνουν στο περιβάλλον. Μερικές βασίζονται σε ανάγκες, όπως η πείνα, ή στην ενεργητικότητα των ατόμων. Τέλος, κάποιες ενέργειες μπορεί να φαίνονται τυχαίες, αλλά συχνά έχουν βαθύτερες ρίζες. Έτσι όταν συνδεθούν οι ενέργειες αυτές με τις περιγραφές των χαρακτήρων, τους παρέχουν σημαντικές επιλογές συμπεριφοράς που είναι σχεδόν πανομοιότυπες με αυτές που εμφανίζουν οι άνθρωποι στις διάφορες δραστηριότητές τους.

Στα συστήματα πολλαπλών χαρακτήρων, ο κάθε χαρακτήρας χρειάζεται να γνωρίσει το περιβάλλον, ώστε να αντιληφθεί τις διαφορές και να αντιδράσει σε αυτές. Η αντίληψη των χαρακτήρων συχνά προσομοιώνεται με μια ακτίνα η οποία διασταυρώνεται με κάποιο εμπόδιο γύρω από το αντικείμενο [51], [25]. Η εταιρεία Massive Software [52] έχει αναπτύξει ένα σύστημα προσομοίωσης πλήθους με συμπεριφορά που βασίζεται στην όραση. Ο κάθε χαρακτήρας διαθέτει ένα χαμηλής ανάλυσης σχέδιο του χώρου, από την δική του οπτική πλευρά και χρησιμοποιεί εκτιμήσεις και υπολογισμούς που βασίζονται σ' αυτό το σχέδιο, για να πραγματοποιήσει τις ενέργειές του.

Πολλά συστήματα επίσης χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που αφορούν το περιβάλλον, για να μειώσουν την πολυπλοκότητα στον έλεγχο όλων των χαρακτήρων του πλήθους, χωρίς να διακινδυνεύεται η λεπτομέρεια στη συμπεριφορά τους [53], [54], [26]. Άλλες προσεγγίσεις ενσωματώνουν κι άλλες πληροφορίες, όπως η συντομότερη διαδρομή στο περιβάλλον. Οι χαρακτήρες έχουν διαφορετικού είδους πρόσβαση σ' αυτές τις πληροφορίες και τις χρησιμοποιούν με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους τη δεδομένη στιγμή.

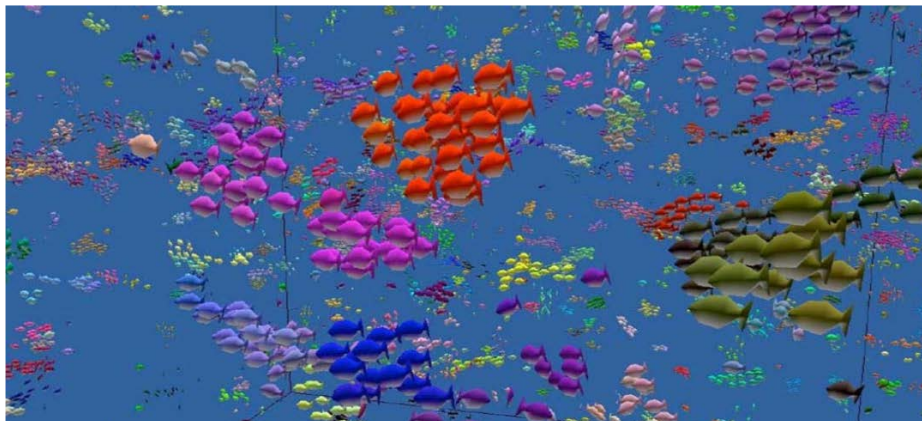


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
Διαφορετικά συστήματα χρησιμοποιούν άλλες μεθόδους, για να μειώσουν την πολυπλοκότητα. Για να επιτευχθεί μια προσομοίωση σε συνθήκες πραγματικού χρόνου ενός πολύ μεγάλου πλήθους, ο Treuille [22] χρησιμοποίησε ένα πεδίο δυναμικού για την κίνηση των εμποδίων και των ανθρώπων. Με αυτήν την προσέγγιση δεν μπορούμε να έχουμε ξεχωριστούς στόχους για κάθε άτομο, αλλά αντίθετα οι στόχοι είναι κοινοί για όλα τα μέλη του πλήθους (Σχήμα 3). Σε αυτό το σύστημα η κίνηση υπολογίζεται όμοια με την κίνηση που κάνει ένα μόριο με ελάχιστη ενέργεια.



Σχήμα 3. Συνεχές πλήθος όπως παρουσιάστηκε από τον Treuille et al. [22].

Ο Reynolds [55] πραγματοποίησε μια προσομοίωση σε συνθήκες πραγματικού χρόνου και αποτυπώνονται μέχρι και 15000 ανεξάρτητες οντότητες (Σχήμα 4).

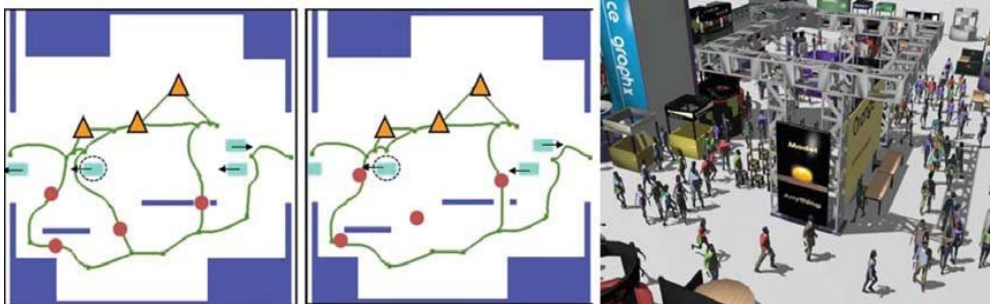


Σχήμα 4. Δέκα χιλιάδες εκπαιδευμένα ψάρια στα 60 fps.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης της πλοήγησης του κάθε χαρακτήρα προς τον στόχο, έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι. Οι Lamarche και Donikian [56] συνδύασαν υπολογισμούς από τη γεωμετρία, για να επιτραπεί ο σχεδιασμός ενός καθολικού μονοπατιού σε πραγματικό χρόνο για κάθε ένα άτομο του πλήθους, λαμβάνοντας υπόψη την ορατότητα και τις συμπεριφορές αντίδρασης. Το μοντέλο όμως δεν είχε το επιθυμητό αποτέλεσμα, αφού οι χαρακτήρες παγιδεύονταν σε διάφορα σημεία. Οι Sud και Gayle [57] χρησιμοποίησαν ευπροσάρμοστους χάρτες (Σχήμα 5), για να προσομοιώσουν μεγάλα πλήθη σε δυναμικά περιβάλλοντα, με το κάθε άτομο να έχει διαφορετικό στόχο.



Σχήμα 5. Προσαρμοσμένοι χάρτες απεικόνισης δρόμων (AERO). Οι πράσινες γραμμές αναπαριστούν τις συνδέσεις στον οδικό χάρτη, ενώ στην δεξιά φωτογραφία φαίνεται μία τρισδιάστατη απεικόνιση πλήθους.

Μηχανισμοί Διάδοσης της Θερμότητας

Θερμική Αγωγιμότητα

Χρησιμοποιώντας τον νόμο της θερμικής αγωγιμότητας, γνωστό και ως νόμο του Fourier, μπορεί να υπολογιστεί το ποσό της θερμικής ενέργειας που μεταφέρεται κατά την θερμική αγωγιμότητα. Η διαφορική μορφή αυτού του νόμου ορίζει ότι η τοπική πυκνότητα θερμικής ροής ισούται με το γινόμενο της θερμικής αγωγιμότητας του μέσου και της αρνητικής τοπικής κλίσης της θερμοκρασίας. Ως πυκνότητα θερμικής ροής αναφέρεται το ποσό θερμικής ενέργειας που ρέει δια μέσω μοναδιαίας επιφάνειας, ανά μοναδιαίο χρόνο. Η σχέση που περιγράφει το φαινόμενο είναι η εξής:

$$q = -\lambda \cdot \nabla T \quad (1)$$

όπου:

q = Η τοπική πυκνότητα θερμικής ροής (W/m^2).



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

λ = Ο συντελεστής αγωγιμότητας του υλικού μέσου ($W/(m \cdot K)$).

∇T = Η κλίση της θερμοκρασίας (K/m).

Θερμική Συναγωγή

Η μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής (convective heat transfer) είναι η μεταφορά θερμότητας που οφείλεται στην κίνηση ενός ρευστού. Αυτός ο μηχανισμός θεωρείται ότι είναι ο κύριος τρόπος με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα σε υγρά και αέρια και περιγράφεται από τον νόμο ψύξης του Νεύτωνα (Newton's law of cooling):

$$q = h \cdot (T - T_f)^b \quad (2)$$

όπου:

q = Η τοπική πυκνότητα θερμικής ροής (W/m^2).

h = Ο συντελεστής διάδοσης θερμότητας συναγωγής του ρευστού ($W/(m^2 \cdot K)$).

$T - T_f$ = Η διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας ενός αντικειμένου και ενός ρευστού (K).

b = Ρυθμιστικός εκθέτης.

Θερμοκρασία και Θερμότητα

Όπως αναφέρθηκε το μοντέλο αξιοποιεί τους μηχανισμούς διάδοσης της θερμότητας, ωστόσο, η κύρια πληροφορία που ανταλλάσσεται μεταξύ των κυψελίδων δεν είναι η θερμική ενέργεια αλλά η θερμοκρασία. Γι' αυτόν τον λόγο, για να χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις (1) και **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** απαιτείται ένας τρόπος μετατροπής της τοπικής θερμικής ροής σε μεταβολή της τοπικής θερμοκρασίας. Οι σχέσεις που πραγματοποιούν αυτήν την μετατροπή είναι οι (3) και (4) σε συνδυασμό με την (5) η οποία είναι η ποσοτική σχέση που συνδέει την μεταφορά θερμότητας με την διαφορά θερμοκρασίας και εξαρτάται από την μάζα, τον τύπο και την φάση (στερεό-υγρό-αέριο) του υλικού σώματος. Ο τελευταίος παράγοντας αποτυπώνεται μέσω της ειδικής θερμότητας του υλικού, που ορίζεται ως το ποσό θερμικής ενέργειας που απαιτείται ώστε να μεταβληθεί η θερμοκρασία ενός σώματος μάζας $1kg$ κατά $1^\circ C$.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
Σημειώνεται ότι οι μονάδες θερμοκρασίας σε κλίμακα Κέλβιν (K) μπορούνε ισοδύναμα να αντικατασταθούνε από μονάδες σε κλίμακα Κελσίου ($^{\circ}C$).

$$q = d\dot{Q}/dS \quad (3)$$

$$\dot{Q} = dQ/dt \quad (4)$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (5)$$

όπου:

q = Η τοπική πυκνότητα θερμικής ροής (W/m^2).

\dot{Q} = Η θερμική ενέργεια που μεταφέρεται ανά μονάδα χρόνου (*Joule/sec*) ή (W).

Q = Η ποσότητα θερμικής ενέργειας (*Joule*).

S = Η επιφάνεια μέσα από την οποία ρέει η θερμική ενέργεια (m^2).

t = Ο χρόνος (*sec*).

m = Η μάζα του υλικού (kg).

c = Η ειδική θερμότητα τού υλικού (*Joule/(kg · K)*).

ΔT = Η διαφορά θερμοκρασίας του υλικού που θα προκληθεί από εισροή ή εκροή θερμικής ενέργειας Q σε αυτό (K).

3.2. Μοντελοποίηση και σχεδιασμός του συστήματος

Το ζήτημα της έγκαιρης εκκένωσης – Σκοπός του παρόντος έργου

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια έντονη αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα με τον αριθμό των ανθρώπων πολλές φορές να είναι μεγαλύτερος απ' ότι οι υποδομές μιας πόλης θα μπορούσαν να υποστηρίξουν. Είναι αναπόφευκτο λοιπόν το φαινόμενο του συνωστισμού σε μικρούς και μεγάλους χώρους,



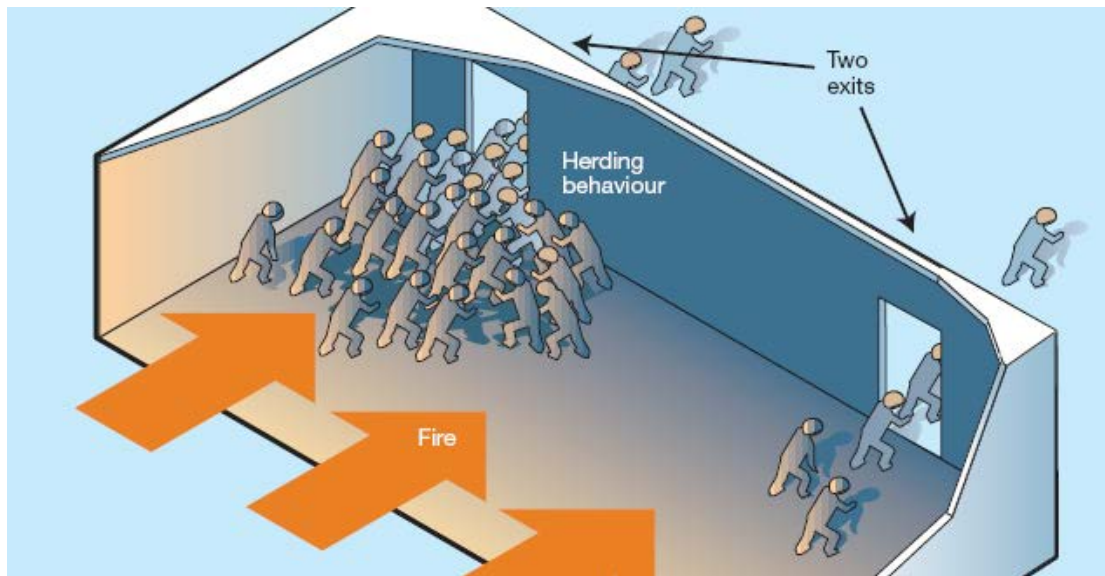
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

όπως για παράδειγμα τα πανεπιστήμια, τα εμπορικά κέντρα, τα γήπεδα, τα μετρό, τα γραφεία, οι υπηρεσίες, οι κινηματογράφοι και οι χώροι διασκέδασης, για να αναφέρουμε μόνο μερικούς από αυτούς. Αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο τόσο στην άνεση και την ομαλότητα της καθημερινότητας, όσο και στην ασφάλεια των ανθρώπων. Παράλληλα, αποτελεί δυσάρεστο γεγονός ότι πολλοί από τους χώρους που συγκεντρώνονται μεγάλοι αριθμοί ανθρώπων, δεν πληρούν σε κάποιες περιπτώσεις τις προδιαγραφές ασφαλής εκκένωσης τους σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, όπως δυστυχώς έχει αποδειχθεί από θανατηφόρα περιστατικά κατά την αντιμετώπιση κρίσιμων διαδικασιών εκκένωσης σε πολλές μεριές του πλανήτη. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με αναπάντεχα φαινόμενα ή ατυχήματα όπως πυρκαγιές, σεισμοί, εκπομπή τοξικών αερίων ή άτακτες και επιθετικές εκκενώσεις χώρων απειλούν σε αρκετές ανάλογες περιπτώσεις τις ανθρώπινες ζωές. Σε τέτοιες καταστάσεις κυριαρχεί ένα σημαντικό ζήτημα, που είναι η εκκένωση κρίσιμων περιοχών υπό την πίεση των χρονικών και φυσικών περιορισμών που οδηγούν σε φαινόμενα πανικού. Ο πανικός έχει ως αποτέλεσμα ανεξέλεγκτες και απροσδιόριστες ανθρώπινες συμπεριφορές που μπορεί να οδηγήσουν σε τραυματισμούς ή ακόμα και θανάτους, φαινόμενα που έχουν σημειωθεί αρκετές φορές στο παρελθόν. Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί πως σε καταστάσεις συμφορήσης ασκούνται τόσο ισχυρές δυνάμεις στα άτομα από το πλήθος που τα περιβάλλει, που είναι δυνατό να αναπτυχθούν μεγέθη πίεσης ικανά να λυγίσουν μέχρι και ατσάλινα εμπόδια ή να γκρεμίσουν ακόμα και τοίχους χτισμένους από τούβλα. Απόρροια τέτοιων φαινομένων και συμπεριφορών είναι συγκρούσεις, ποδοπατήσεις, τραυματισμοί ή/και θανατηφόρα περιστατικά σύνθλιψης και ασφυξίας ατόμων που βρίσκονταν στον υπό εκκένωση χώρο. Γίνεται λοιπόν άμεσα αντιληπτό ότι η ασφάλεια των ατόμων αυτών, πολλές φορές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους συνανθρώπους γύρω τους καθώς επίσης και από το σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας του χώρου στον οποίο βρίσκονται. Έτσι, η σωστή κατανόηση για το πώς το πλήθος των ανθρώπων κινείται είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου σε τέτοιες καταστάσεις. Στο Σχήμα 6 φαίνεται πώς οι παράγοντες της συμπεριφοράς και της ψυχολογίας του ατόμου σε κατάσταση πανικού οδηγούν σε εσφαλμένες αποφάσεις.

Είναι φανερό ότι η ερευνητική περιοχή εκκένωσης χώρων χρήζει σοβαρής αντιμετώπισης. Απαιτείται πρόνοια και αντίστοιχη μελέτη κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων, καθώς και η μετέπειτα χρήση συστημάτων και τεχνολογικών δομών, που θα καθιστούν τις καταστάσεις αυτές ελεγχόμενες και θα συμβάλουν στην σωστή καθοδήγηση των ανθρώπων μέχρι το πέρας της εκκένωσης. Φυσικά, για την υλοποίηση των προαναφερθέντων είναι απαραίτητα ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη συστημάτων και αλγορίθμων που βασίζονται στις ποικίλες ανθρώπινες συμπεριφορές κατά τη διάρκεια εκκένωσης χώρων.

Τα κυρίαρχα προβλήματα που εμποδίζουν την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων και αλγορίθμων είναι ο περιορισμένος όγκος πληροφοριών και δεδομένων που έχουμε από πραγματικά συμβάντα καθώς και η ισχυρή

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που επιδιώκουν να συνδυάσουν τον μεγάλο αριθμό χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των ανθρώπων. Βέβαια, το δεύτερο πρόβλημα πλέον είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί σε μεγάλο βαθμό από την ραγδαία εξέλιξη και ισχυροποίηση των υπολογιστικών συστημάτων. Εκτός από τα ισχυρά υπολογιστικά συστήματα που αναπτύσσονται, συμβάλουν και οι σχετικά καινούριες τεχνικές ανάπτυξης αλγορίθμων που κάνουν χρήση των πλεονεκτημάτων της παράλληλης επεξεργασίας.



Σχήμα 6. Οι παράγοντες της συμπεριφοράς και της ψυχολογίας του ατόμου σε κατάσταση πανικού οδηγούν σε εσφαλμένες αποφάσεις. Εδώ τα πανικοβλημένα άτομα ακολουθούν τυφλά τη συμπεριφορά του υπόλοιπου πλήθους με αποτέλεσμα να συνωστίζονται και να διαγκωνίζονται στη μια από τις δύο πιθανές εξόδους.

Έτσι, ενδείκνυται η ανάπτυξη προσομοιωτών, οι οποίοι μπορούν να συμβάλουν στον σχεδιασμό των νέων κτιρίων λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια εκκένωσης χώρου. Αυτό όμως δεν αρκεί, αφού είναι μεγάλος ο αριθμός των κτιρίων που έχουν ήδη κατασκευαστεί. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό έρχονται να δώσουν τα μοντέλα πρόβλεψης συμπεριφοράς πλήθους ανθρώπων. Αντίθετα με την διαδεδομένη άποψη, η τοποθέτηση εμποδίων κατάλληλου μεγέθους και μορφής σε συγκεκριμένα σημεία μιας διαδρομής που οδηγεί στην έξοδο ενός χώρου, μπορεί να μειώσει την συμφόρηση που θα προκληθεί κατά την διάρκεια εκκένωσης. Τέτοιου είδους αναδιαμορφώσεις, ήδη κατασκευασμένων χώρων, μπορούν να μελετηθούν με τα αντίστοιχα μοντέλα. Επιπρόσθετα, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη συστημάτων και αλγορίθμων που τρέχουν σε πραγματικό χρόνο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καθοδήγηση και τη βέλτιστη κατανομή των ανθρώπων κατά τη διάρκεια εκκένωσης χώρων. Τα συστήματα αυτά λαμβάνουν σε πραγματικό χρόνο ανά τακτά χρονικά



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαστήματα δεδομένα από χώρους, και καθοδηγούν τους ανθρώπους με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις συμφοράς.

Η εφαρμογή των προσομοιωτών δεν έγκειται μόνο στον τομέα των κτιρίων αλλά και στον τομέα της ανθρώπινης φύσης. Μέσω αυτών, παρέχεται η δυνατότητα μελέτης και ανάλυσης ανθρωπίνων συμπεριφορών και αντιδράσεων. Ένας προσομοιωτής μπορεί να εμπλουτιστεί με πληροφορίες και δεδομένα από πραγματικά γεγονότα με στόχο την προσέγγιση ρεαλιστικών ανθρωπίνων συμπεριφορών. Έτσι, έχοντας την ευχέρεια εκτέλεσης πολλαπλών πειραμάτων με ποικίλες καταστάσεις, μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα και να ενισχύσουμε τον όγκο των δεδομένων που αφορούν τις συμπεριφορές που εμφανίζονται σε περιπτώσεις κρίσιμων καταστάσεων. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό απορρέον πλεονέκτημα από την εφαρμογή των αντίστοιχων μοντέλων, καθώς η εξάλειψη της άγνοιας και η ταυτόχρονη ενίσχυση των δεδομένων για ένα φαινόμενο βοηθούν στην καλύτερη και πιο ψύχραιμη αντιμετώπισή του.

Οι μοντελοποιήσεις πλήθους ανθρώπων είναι ένας τομέας που απασχολεί αρκετά την επιστημονική κοινότητα τις τελευταίες δεκαετίες. Το εύρος εφαρμογών τους περιλαμβάνει από προσομοιώσεις πλήθους για ταινίες [1], [2] και videogames [3], [4] μέχρι ανάλυση ανθρωπίνων συμπεριφορών σε κρίσιμες καταστάσεις [5], [6], [7]. Οι πρώτες απόπειρες προσομοίωσης κίνησης πλήθους είχαν υιοθετήσει γενικά μια μακροσκοπική προσέγγιση [8], [9], που δεν περιλάμβανε την έννοια της ατομικότητας. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους απλοποίησης του πλήθους και εύκολης συλλογής δεδομένων, προσομοιάζοντας το πλήθος με μια ομογενή μάζα η οποία συμπεριφέρεται όμοια με ένα υγρό, όταν αυτό ρέει κατά μήκος μιας διαδρομής. Όμως αυτή η προσέγγιση θεωρεί ότι το πλήθος αποτελείται από πανομοιότυπα, μη σκεπτόμενα όντα, κάτι που απέχει αρκετά από την πραγματικότητα. Τις τελευταίες δεκαετίες, με την αύξηση της επεξεργαστικής ισχύος και τη διαθεσιμότητα περισσότερων δεδομένων σε ατομικό επίπεδο [10], [11], [12], έγινε δυνατή η ανάπτυξη μικροσκοπικών προσεγγίσεων [2], [5], που χρησιμοποιήθηκαν όπου ήταν απαραίτητη η μοντελοποίηση και η ανάλυση των ατόμων που αποτελούν ένα πλήθος.

Μια από τις πρώτες υλοποιήσεις πάνω στη μελέτη κίνησης σε ατομικό επίπεδο ήταν το μοντέλο του Craig Reynolds για τη συντονισμένη κίνηση ζώων, όπως σμήνη πουλιών και ομάδες ψαριών [2]. Μεταγενέστερα, παρουσιάστηκε το μοντέλο κοινωνικής δύναμης του Helbing [5], το οποίο είναι ακόμα και σήμερα ένα από τα πιο φημισμένα που αφορούν την κίνηση σε πλήθη.

Την τελευταία δεκαετία όλο και περισσότεροι ερευνητές ασχολούνται με αναλύσεις που βασίζονται σε προσομοιώσεις. Κάποιες πρόσφατες ερευνητικές εργασίες περιλαμβάνουν δεδομένα και αναλύσεις από τα γεγονότα Muslim Hajj [13] και Love Parade, Γερμανία 2010 [14]. Στην περίπτωση του τελευταίου



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιστατικού, παρόλο που είχε γίνει μελέτη και είχαν χρησιμοποιηθεί διάφορα μοντέλα προκειμένου να εγγυηθεί η ασφάλεια του πλήθους στον συναυλιακό χώρο, σημειώθηκαν δυστυχώς 21 θάνατοι. Τα δύο προαναφερθέντα γεγονότα απλώς επιβεβαιώνουν πόσο σημαντική είναι η μελέτη και κατανόηση της συμπεριφοράς των ανθρώπων σε καταστάσεις συμφορήσης και συνωστισμού, καθώς και την ανάπτυξη αποτελεσματικών μοντέλων που θα συμβάλουν στην πρόβλεψη κυρίως και την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων.

Σε αυτό το πλαίσιο, το παρόν ερευνητικό πρόγραμμα ανέπτυξε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ενεργητικής πυροπροστασίας (σε μορφή λογισμικού και με δυνατότητες υλοποίησης σε υλικό), με σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση και την αποτελεσματική καθοδήγηση πλήθους σε ασφαλή σημεία ή/και εξόδους, σε έκτακτη περίπτωση εκκένωσης εσωτερικών χώρων μετά την εκδήλωση φωτιάς σε ζωτική για το πλήθος περιοχή.

Συστήματα προσομοίωσης και μοντελοποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς

Οι τεχνικές που αφορούν την προσομοίωση και την κατανόηση των συμπεριφορών ενός πλήθους ανθρώπων, και των κινήσεών τους, έχουν μελετηθεί σε διάφορους τομείς όπως, των γραφικών, της εικονικής πραγματικότητας, της κοινωνικής επιστήμης, της ρομποτικής, της εκκένωσης χώρων και άλλους πολλούς που ανήκουν στον χώρο της επιστήμης και της επιστήμης των μηχανικών. Ένας από τους κύριους στόχους είναι η ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων, ικανά να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση και πρόβλεψη συμπεριφορών πλήθους σε διάφορες πραγματικές καταστάσεις ή συνθετικά περιβάλλοντα (synthetic environments). Σε αυτά τα μοντέλα, η προσομοίωση της τροχιάς του κάθε ατόμου που επιχειρεί να αποφύγει στατικά ή δυναμικά εμπόδια και άλλα άτομα, αποτελεί έναν από τους βασικούς υπολογισμούς σε μικροσκοπικό επίπεδο. Ακόμα, τα μικροσκοπικά μοντέλα, λαμβάνουν την κοινωνική και ψυχολογική συμπεριφορά του κάθε ατόμου, και τον τρόπο που αντιδρούν σε διάφορα γεγονότα και υπό πίεση. Παράλληλα, προκαλούν το ενδιαφέρον και οι μακροσκοπικές τεχνικές, που επικεντρώνονται στην τάση και το μοτίβο κίνησης ενός ολόκληρου πλήθους ή της συνολικής ροής. Τα μοντέλα αυτά, επιχειρούν να προβλέψουν παρόμοιες κινήσεις με αυτές των ανθρώπων όσον αφορά την εύρεση διαδρομής, την πυκνότητα πλήθους, και τις ταχύτητες. Γενικά, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση τέτοιων μοντέλων προσομοίωσης πλήθους αποτελούν απαιτητικά και πολύπλευρα προβλήματα. Οι πιθανές τροχίες που μπορεί να ακολουθήσει ένα άνθρωπος, τα μοτίβα συμπεριφοράς ενός πλήθους που κινείται, καθώς και οι καταστάσεις στις οποίες οι άνθρωποι εμπλέκονται κατά την εκκένωση χώρων, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι είναι εξαιρετικά πολλές. Έτσι, η προσομοίωση πλήθους παραμένει μια ενεργή περιοχή έρευνας και μελέτης σε πολλά και διαφορετικά επίπεδα.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οποιοδήποτε μοντέλο προσομοίωσης πλήθους είναι απαραίτητο να λάβει υπόψη του αρκετά στοιχεία, όπως, ο προσδιορισμός και η απεικόνιση του περιβάλλοντος χώρου, ο υπολογισμός της κίνησης και των τροχιών των ατόμων, η αλληλεπίδραση των ατόμων μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον, διάφορα γεγονότα και καταστάσεις που επηρεάζουν την συμπεριφορά των ανθρώπων προκειμένου όλα αυτά να αναχθούν στο αντίστοιχο υπό ανάπτυξη υπολογιστικό μοντέλο. Μερικά από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα βασίζονται στην προσομοίωση με πολλαπλούς πράκτορες. Το πλήθος αποτελείται από πράκτορες που αναπαριστούν ανθρώπους και έχουν ένα σύνολο στόχων, ενώ το περιβάλλον συνιστούν ένας χώρος συνοδευόμενος από εμπόδια. Τα άτομα που βρίσκονται μέσα στο πλήθος είναι δυνατό να έχουν ίδιους στόχους ή το καθένα να έχει τους δικούς του. Στις ετερογενείς προσομοιώσεις κάθε άτομο έχει από τη φύση του κάποιο στόχο. Το τι αναπαριστά ο στόχος ποικίλει ανάλογα το σενάριο προσομοίωσης. Παραδείγματος χάριν στόχο μπορεί να αποτελεί ένα συγκεκριμένο σημείο ή η ευρύτερη περιοχή ενός χώρου. Οι στόχοι αυτοί είναι πιθανό να αλλάζουν δυναμικά σε συνάρτηση με τον χρόνο, όπως αν έχει κάποιο άτομο σαν στόχο να ακολουθεί κάποιο άλλο, κάτι που μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επιπρόσθετα, για να καθοριστεί η περιοχή και ο στόχος του κάθε ατόμου, το μοντέλο πρέπει να λάβει υπόψη το περιβάλλον, το οποίο αποτελείται από τοίχους, αντικείμενα, εμπόδια ή άλλες περιοχές, οι οποίες δεν είναι προσεγγίσιμες από όλους τους ανθρώπους. Τα εμπόδια μπορεί να είναι στατικά (π.χ. κολώνες κτιρίων) ή δυναμικά (π.χ. κινούμενα αντικείμενα). Δεδομένων, της περιγραφής των πρακτόρων και του περιβάλλοντος, βασικό μέλημα της προσομοίωσης πλήθους είναι ο υπολογισμός των τροχιών του κάθε ατόμου που ανήκει στο περιβάλλον, η αποφυγή σύγκρουσης με εμπόδια ή άλλα άτομα, και η καθοδήγησή τους στον στόχο τους. Πιο συγκεκριμένα, ο Reynolds αναφέρεται σε αυτήν την διαδικασία του ενδιάμεσου επιπέδου σχεδιασμού (intermediate – level planning) ως συμπεριφορές διεύθυνσης (steering behaviors) [15]. Αυτές οι συμπεριφορές διεύθυνσης είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητες από τα χαρακτηριστικά των μέσων μετακίνησης του κάθε ατόμου, αλλά χρησιμοποιούνται για να κατευθυνθούν στον περιβάλλοντα χώρο με ένα ρεαλιστικό τρόπο, αποφεύγοντας παράλληλα τις συγκρούσεις. Οι συνδυασμοί τέτοιων συμπεριφορών διεύθυνσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη υψηλότερου επιπέδου στόχων, όπως η κίνηση ακολουθώντας τη διαδρομή που σχηματίζει ένας διάδρομος ή η συμμετοχή σε άλλες ομάδες ατόμων [32].

Παράμετροι που επηρεάζουν τα συστήματα προσομοίωσης

Στη συνέχεια θα εξεταστεί μια πολύ σπουδαία παράμετρος όσον αναφορά την προσομοίωση του πλήθους και εν προκειμένω θα γίνει αναφορά στο χαρακτηριστικό της ψυχολογίας που διακατέχει το κάθε άτομο. Πιο συγκεκριμένα, για να επιτευχθεί η ρεαλιστική μοντελοποίηση ενός πλήθους ανθρώπων, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη και ο τομέας της ψυχολογίας, ώστε να απεικονιστούν στους χαρακτήρες οι ψυχολογικοί



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης παράγοντες που διακατέχουν τους ανθρώπους και επηρεάζουν τη συνολική συμπεριφορά και κίνησή τους. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες είναι δυνατό να παραχθούν απεικονίσεις του πλήθους που προέρχονται από δεδομένα και θεωρίες που να βασίζονται σε παράγοντες και αποτελέσματα που είναι ήδη γνωστά.

Μία από τις καταστάσεις που έχει μελετηθεί πιο πολύ στη βιβλιογραφία της ψυχολογίας είναι αυτή της εκκένωσης ενός χώρου από κάποιον πλήθος. Η μαζική έξοδος από μεγάλους και πολύπλοκους χώρους, όπως από ένα δημόσιο κτίριο, από ένα κρουαζιερόπλοιο ή από το άγνωστο κέντρο μιας πόλης, συνήθως εμποδίζεται από την έλλειψη γνώσης σχετικά με τη λεπτομερή εσωτερική επικοινωνία των δωματίων του χώρου, των διαδρόμων ή των δρόμων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι παρευρισκόμενοι μπορεί να μην είναι ενήμεροι για την ύπαρξη ή μη μιας κατάλληλης διαδρομής διαφυγής σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης. Έτσι οι παρευρισκόμενοι σε ένα κτίριο συνήθως αποφασίζουν να χρησιμοποιήσουν τις γνωστές εξόδους, οι οποίες είναι συνήθως αυτές από τις οποίες μπήκαν σε αυτό. Οι εξοδοί εκτάκτου ανάγκης ή οι εξοδοί που δε χρησιμοποιούνται συνήθως για κυκλοφορία συχνά αγνοούνται. Όταν κάτι έκτακτο συμβεί, όπως μια φωτιά που μπλοκάρει κάποια από αυτές τις ήδη γνωστές διαδρομές ή όταν ο καπνός δυσχεραίνει την όραση, το πρόβλημα μπορεί να επιδεινωθεί με καταστροφικές συνέπειες.

Η γνώση και ο προσανατολισμός του χώρου σε ένα κτίριο γίνεται συνήθως με τις αισθήσεις του ανθρώπου. Ο χώρος που αντιλαμβάνεται κάποιος εξαρτάται από την ικανότητά του και την ψυχολογική του κατάσταση. Οι περισσότεροι άνθρωποι αντιδρούν στην πίεση του χρόνου αυξάνοντας την ταχύτητα των πράξεων τους ή επιλέγοντας πληροφορίες που δίνονται από τρίτους. Γενικά, η εκκένωση ενός κτιρίου εξαιτίας ενός επικείμενου κινδύνου συνοδεύεται σχεδόν πάντα με σωματικό και ψυχικό άγχος. Έχει αποδειχτεί όμως ότι αυξημένα επίπεδα άγχους οδηγούν σε μείωση της λειτουργικότητας των αισθήσεων των ανθρώπων, κάτι που οδηγεί σε μια γενική μείωση της αντίληψης, ειδικά στην ικανότητα κάποιου να προσανατολιστεί γρήγορα στους χώρους και στις άλλες γειτονικές περιοχές που τον περιβάλλουν.

Η ικανότητα της λήψης αποφάσεων σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η αβεβαιότητα, όσον αφορά τις αλλαγές που μπορεί να συμβούν στο περιβάλλον και την πίεση του χρόνου, κάτω από την επήρεια της οποίας μπορεί να χρειαστεί να παρθούν αποφάσεις. Αν τα άτομα δεν έχουν εκπαιδευτεί σωστά για τέτοιες καταστάσεις, είναι πολύ πιθανό να αγχωθούν και να φτάσουν ίσως και στο σημείο να μη νιώσουν ικανοί να πάρουν την σωστή απόφαση. «Το άγχος εμφανίζεται, όταν υπάρχει ουσιαστική ανισορροπία μεταξύ των απαιτήσεων του περιβάλλοντος και της ικανότητας αντίδρασης από τον οργανισμό που εξετάζεται» [58]. Η πίεση του χρόνου προέρχεται από τη διαφορά μεταξύ του χρόνου που είναι διαθέσιμος και του χρόνου που απαιτείται για να ληφθεί κάποια απόφαση [59].



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

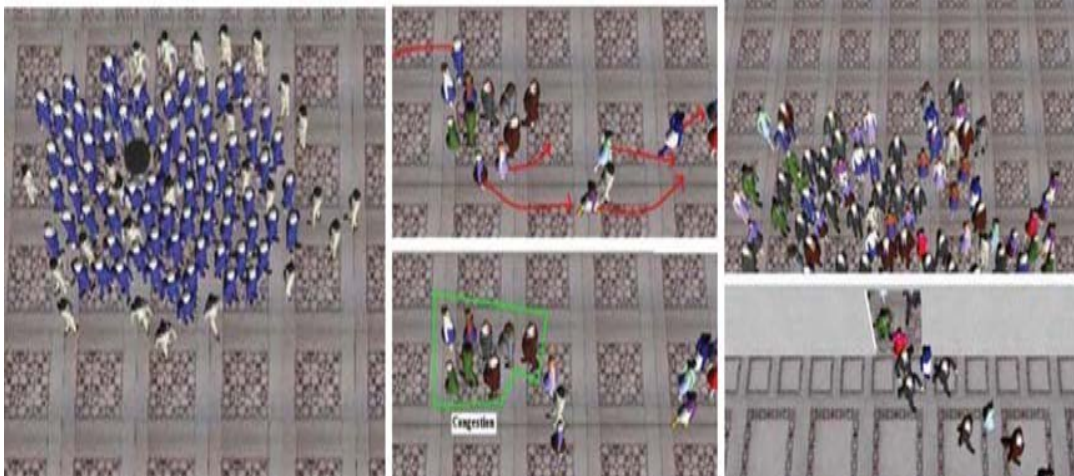
Αντίθετα, τα εκπαιδευμένα άτομα, όπως π.χ. οι πυροσβέστες που ασχολούνται με περιβάλλοντα που συνεχώς μεταβάλλονται, επιλέγουν σχεδόν πάντα την σωστή ακολουθία ενεργειών, η οποία βασίζεται στην προηγούμενη εμπειρία τους και στην εκπαίδευσή τους, στην υπάρχουσα αντίληψη που έχουν και στη γνώση του περιβάλλοντος. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι προσχεδιασμένη και βασίζεται στη σημασία που δίνουν σε κάθε παράμετρο που χρήζει προσοχής, όπως το να σώσουν ζωές, το να αποτρέψουν την εξάπλωση της φωτιάς, να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο για τους ίδιους ή τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας κλπ. Μια συγκεκριμένη απόφαση μπορεί να οδηγήσει σε ενδεχόμενο ατύχημα, ενώ η ίδια απόφαση σε διαφορετικές στιγμές μπορεί να αποδειχτεί η καλύτερη λύση.

Σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης εξαιτίας μιας φωτιάς, οι κύριες πηγές άγχους μπορεί να είναι οι πολύ λίγες ή οι πάρα πολλές πληροφορίες που φτάνουν κάθε στιγμή (διάφοροι άνθρωποι που βρίσκονται στον ίδιο χώρο μπορεί να παίρνουν διαφορετικές αποφάσεις και να διαδίδουν διαφορετικές πληροφορίες για μπλοκαρισμένους χώρους), οι πολύπλοκες και οι συνεχώς εναλλασσόμενες καταστάσεις που έχουν ως αποτέλεσμα την αβεβαιότητα και τη δημιουργία πίεσης χρόνου για τη λήψη της σωστής απόφασης.

Οι άνθρωποι εν τέλει είναι μοναδικοί ακόμα και στην καθημερινή τους ζωή και οι συμπεριφορές τους ποικίλουν. Ερευνητές της ψυχολογίας, της φυσιολογίας, της κοινωνιολογίας και άλλων σχετικών τομέων έχουν μελετήσει αυτές τις διαφορές στην προσωπικότητα των ανθρώπων για εκατοντάδες χρόνια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές γενικεύσεις αλλά και πολλά προτεινόμενα μοντέλα. Για παράδειγμα, ένα από τα πιο αποδεκτά μοντέλα όσον αφορά την προσωπικότητα του ανθρώπου είναι το OCEAN (ειλικρίνεια, ευσυνειδησία, εξωστρέφεια, ηπιότητα, νεύρωση) (Openness, Conscientiousness, Extraversion, Agreeableness, Neuroticism) ή το μοντέλο Five Factor [60]. Αυτό το μοντέλο περιγράφει την προσωπικότητα με τη λογική του ποσοστού ύπαρξης του κάθε παράγοντα. Μία εργασία που πραγματοποιήθηκε σε μη λεκτικές επικοινωνίες έχει βοηθήσει στη σύνδεση αυτή των γνωρισμάτων με τις διάφορες συμπεριφορές [61], [62]. Για παράδειγμα, τα εσωστρεφή άτομα τείνουν να απολαμβάνουν περισσότερο προσωπικό χώρο από ότι τα εξωστρεφή άτομα [62]. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραμετροποίηση των προσομοιώσεων του πλήθους, ώστε να υπάρξουν πιο ακριβή αποτελέσματα [30] (Σχήμα 6).



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 7. Διαφορετικές συμπεριφορές του πλήθους βασισμένες στο μοντέλο OCEAN. (α) Σχηματισμός δακτυλίου όπου τα εξωστρεφή άτομα (με τα μπλε κοστούμια) είναι στο εσωτερικό του δακτυλίου, ενώ τα εσωστρεφή άτομα (με τα άσπρα κοστούμια) βρίσκονται στο εξωτερικό μέρος του δακτυλίου. (β) Άνθρωποι με χαμηλή ευσυνειδησία και ηπιότητα προκαλούν συμφόρηση και (γ) νευρωτικά και μη ευσυνείδητα άτομα (με τα μαύρα κοστούμια) εμφανίζουν συμπεριφορά πανικού.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που αφορούν τα συστήματα προσομοίωσης ενός πλήθους, τα οποία ξεχωρίζουν μέσα από μια αναμφισβήτητα μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών:

Μέγεθος πλήθους: Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στον αριθμό των ατόμων που το σύστημα μπορεί να προσομοιώσει σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Μερικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση της κίνησης ατόμων και στο συνεπακόλουθο σχεδιασμό κτιρίων απαιτούν μεγάλο αριθμό ανθρώπων, για να μετρήσουν τόσο τη συνολική ροή σε διαφορετικά σημεία του περιβάλλοντος όσο και το ποσοστό των ανθρώπων που μπορεί να αποχωρήσει από το περιβάλλον σε κάποιο δεδομένο χρονικό διάστημα. Άλλα συστήματα επικεντρώνονται στην προσομοίωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς μέσα σ' ένα πλήθος. Αυτά τα συστήματα ασχολούνται κυρίως με μικρότερες ομάδες ανθρώπων και μελετούν την αλληλεπίδραση τόσο μεταξύ των ατόμων όσο και μεταξύ των ατόμων με το ίδιο το περιβάλλον.

Στόχος: Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στο αν τα άτομα έχουν έναν κύριο σκοπό, όπως το να κινηθούν προς μια έξοδο ή αν έχουν αρκετές διαδρομές να πραγματοποιήσουν. Τα συστήματα που επικεντρώνονται περισσότερο στην ατομική συμπεριφορά ενδέχεται να έχουν και κάποιους υπό - στόχους μέσα σε μια



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης προσομοίωση, όπως το να περάσουν μέσα από συγκεκριμένα σημεία, να βοηθήσουν κάποιους να βρουν την έξοδο ή να πραγματοποιήσουν συγκεκριμένες ενέργειες.

Είδη κινδύνων: Κάποια συστήματα εκκένωσης χώρων προσομοιώνουν ασκήσεις και επομένως δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος κίνδυνος. Άλλα συστήματα προσομοιώνουν μόνο τη φωτιά και το πώς αυτή απλώνεται, ενώ τα πιο πολύπλοκα συστήματα προσομοιώνουν και την εξάπλωση του καπνού και τον τρόπο που τα επίπεδα τοξικότητας επηρεάζουν τις κινήσεις των ανθρώπων. Άλλα συστήματα που δεν προσομοιώνουν την εκκένωση κάποιου χώρου, δεν περιέχουν κάποιον έκδηλο κίνδυνο, επειδή ο κύριος σκοπός τους είναι κάποιες καθημερινές καταστάσεις, όπως η μετακίνηση των ανθρώπων σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό κατά την ώρα αιχμής.

Ατομικότητα: Τα συστήματα που αφορούν την προσομοίωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς μέσα στο πλήθος εφαρμόζουν προσεγγίσεις, όπου τα άτομα χρησιμοποιούν διαφορετικές διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων που εξαρτώνται από τα εσωτερικά τους χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνήθως ορίζονται από κάποιες παραμέτρους των οποίων οι τιμές προσδιορίζονται με πιθανολογικό τρόπο ή από το δημιουργό του σεναρίου.

Επικοινωνία: Το χαρακτηριστικό αυτό αφορά την περίπτωση ύπαρξης κάποιου είδους αλληλεπίδρασης μεταξύ των ατόμων και του περιβάλλοντος. Μερικά συστήματα χρησιμοποιούν συναγερμούς, για να ξεκινήσει η διαδικασία εκκένωσης. Άλλες εφαρμογές χρησιμοποιούν απλές μεθόδους σηματοδότησης ή οδηγιών που δίνονται από τους πυροσβέστες, οι οποίοι υποδεικνύουν τις διαδρομές εκκένωσης. Τα σενάρια που δεν αφορούν εκκενώσεις χρησιμοποιούν μεθόδους συνεννόησης μεταξύ των ατόμων ή σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται μια εικονική αντίληψη για να αρχίσει η προσομοίωση.

Μέθοδος συμπεριφοράς: Σε χαμηλό επίπεδο, οι επιλογές κατεύθυνσης κίνησης ενός ατόμου μπορούν να εκτελεστούν χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές όπως μοντέλα που βασίζονται σε κανόνες, φυσικά μοντέλα, Κ.Α. και πεπερασμένες μηχανές κατάστασης. Σε υψηλότερο επίπεδο οι επιλογές μπορούν να προκαθοριστούν, να απεικονιστούν από κανόνες ή αυτόματα, να προγραμματιστούν σε δίκτυα αποφάσεων, να σχεδιαστούν ή να δρομολογηθούν στοχαστικά.

Δομή του χώρου: Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται στο αν ο χώρος αναπαρίσταται από ένα συνεχές μοντέλο (π.χ. ένα 2D επίπεδο με πραγματικές συντεταγμένες), ή αν αυτός υποδιαιρείται σε κάποιο είδος πλέγματος (π.χ. όταν ο χώρος διαιρείται σε τετράγωνα ή εξάγωνα).



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ιεραρχικά συστήματα: Μερικά συστήματα εφαρμόζουν διαφορετικά επίπεδα συμπεριφοράς (προκαθορισμένα ή αυτόνομα). Επίσης, στο πλήθος μπορεί να απονεμηθεί μία πολυστρωματική αρχιτεκτονική, όπου οι συμπεριφορές σχετίζονται με μεμονωμένα άτομα, με ομάδες ανθρώπων ή και με ολόκληρο το πλήθος. Αυτό επιτρέπει μια μεγαλύτερη ποικιλία συμπεριφορών.

Είδη περιβάλλοντος: Αυτό το χαρακτηριστικό έχει να κάνει με το είδος του χώρου, όπως ένα σπίτι, έναν σιδηροδρομικό σταθμό, ένα πλοίο, ένα πολυώροφο κτίριο ή έναν εξωτερικό χώρο. Οι συμπεριφορές που προσομοιώνονται πρέπει να είναι ανάλογες με το γενικό πλαίσιο του χώρου.

Συνήθη μοντέλα προσομοίωσης πλήθους

Γενικά υπάρχουν αρκετές μεθοδολογίες σχετικά με την προσομοίωση πλήθους. Σε αυτή την ενότητα όμως θα παρουσιαστούν διάφορα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για λόγους εκκένωσης χώρων. Όλα τα συστήματα αφορούν μοντέλα βασισμένα στην κίνηση των ατόμων, αλλά διαφέρουν στην τεχνική για την εύρεση της πορείας κινήσεως.

Αρκετά μοντέλα προσομοίωσης έχουν αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών για διάφορους τομείς συμπεριλαμβανομένων της ηλεκτρονικής γραφιστικής και της ρομποτικής. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: τα μακροσκοπικά και τα μικροσκοπικά. Τα μακροσκοπικά μοντέλα εστιάζουν στο σύνολο των ατόμων, δηλαδή στα χαρακτηριστικά της ροής των ατόμων παρά στα μεμονωμένα άτομα, ενώ τα μικροσκοπικά μοντέλα μελετούν τη συμπεριφορά των μεμονωμένων ατόμων και της αλληλεπίδρασής τους με άλλα άτομα στο πλήθος.

Τα μικροσκοπικά μοντέλα περιγράφουν τη χωρική και χρονική συμπεριφορά των μεμονωμένων ατόμων. Υπάρχουν δύο υποκατηγορίες: τα μοντέλα κοινωνικών δυνάμεων (social force models) και τα Κ.Α. (Cellular Automata). Η διαφορά μεταξύ αυτών είναι στη διακριτοποίηση όσον αφορά το χώρο και το χρόνο. Τα μοντέλα κοινωνικών δυνάμεων [40] περιγράφουν τη συμπεριφορά των ατόμων μικροσκοπικά μέσα από κοινωνικούς τομείς (εικονικές "φυσικές" δυνάμεις) που προκαλούνται από την κοινωνική συμπεριφορά των ατόμων. Στην προσέγγιση των Κ.Α., ο χώρος που μελετάται παρουσιάζεται σαν ένα ενιαίο πλέγμα κυψελίδων με τοπικές καταστάσεις που βασίζονται σε ένα σύνολο κανόνων που περιγράφουν τη συμπεριφορά των ατόμων [65]. Αυτοί οι κανόνες υπολογίζουν την κατάσταση ενός συγκεκριμένου κελιού συναρτήσει της προηγούμενης του κατάστασης καθώς και των καταστάσεων των διπλανών του κελιών. Τα μικροσκοπικά μοντέλα είναι αρκετά ενδιαφέροντα από την άποψη ότι καταφέρνουν να αναπαραστήσουν εικονικά πλήθη ατόμων με ρεαλιστικές αυτόνομες συμπεριφορές.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Μοντέλα για την κίνηση πλήθους

Υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία που αφορά την προσομοίωση κίνησης πλήθους καθώς και των δυναμικών του. Πολλές τεχνικές έχουν προταθεί για τον υπολογισμό της κίνησης μεμονωμένων ατόμων που ανήκουν σε ένα πλήθος. Οι εφαρμογές τους εξαρτώνται από τη συμπεριφορά των πληθών και του περιβάλλοντος. Ένας σημαντικός διαχωρισμός είναι αυτός που διακρίνει το πλήθος σε ομοιογενές ή ετερογενές. Τα ομοιογενή πλήθη αφορούν την περίπτωση που τα άτομα που συγκροτούν το εκάστοτε πλήθος έχουν παρόμοια συμπεριφορά ή στόχο. Τα ετερογενή πλήθη, αποτελούνται από άτομα που είναι διακριτά και έχουν εμφανή ταυτότητα. Η ταυτότητα αυτή παρατηρείται στους στόχους, στην επιθυμητή ταχύτητα, στην επιθετικότητα, στη συνεργασία και σε πολλούς άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση και την τροχιά του κάθε ατόμου. Αντίθετα, τα ομοιογενή πλήθη παρατηρούνται όταν ένα σύνολο ενεργειών οδηγούν στην εξαφάνιση της συνειδητής προσωπικότητας, με αποτέλεσμα την ομοιογένεια στην κίνηση του πλήθους [66]. Όσον αφορά την προσομοίωση ομοιογενών πληθών, μπορεί να είναι δυνατόν, το εν λόγω μοντέλο να εκμεταλλευτεί τη συνάφεια στην κίνηση για την επιτάχυνση της προσομοίωσης. Τέτοια μοντέλα είναι τα βασισμένα στην ροή [67], [68], τα οποία διέπονται από διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή των πληθών στους χώρους. Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν μοντέλα βασισμένα σε συνεχή πλήθη [22], που επιτρέπουν έναν μικρό προκαθορισμένο αριθμό στόχων, και συνολικές δυναμικές για προσομοίωση πυκνών πληθών [69].

Προσομοιώσεις πλήθους βασισμένες σε πράκτορες

Σε αντίθεση με τις συνεχείς μεθόδους, οι μέθοδοι προσομοίωσης που βασίζονται σε πράκτορες παρέχουν πραγματική ετερογένεια κατά την αναπαράσταση της κίνησης και της τροχιάς κάθε ατόμου. Σε τέτοιες προσομοιώσεις, κάθε άνθρωπος που ανήκει σε ένα πλήθος αναπαριστάται από έναν πράκτορα. Από την στιγμή που η κίνηση κάθε πράκτορα υπολογίζεται ξεχωριστά, είναι δυνατή η προσομοίωση πληθών που αποτελούνται από άτομα με ποικίλες προσωπικότητες και χαρακτηριστικά. Μια από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις, βασισμένη σε πράκτορες, προτάθηκε από τον Reynolds στον αλγόριθμο των εικονικών πουλιών [37], στον οποίο είναι δυνατή η παραγωγή συμπεριφορών διεύθυνσης, με τις οποίες προσεγγίζεται η κίνηση ενός σμήνους πουλιών, η συμπεριφορά που εμφανίζουν όταν τρέφονται και άλλες παρόμοιες συμπεριφορές που συνδέονται με τις κινήσεις των ζώων. Ο αλγόριθμος αυτός έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό σε παιχνίδια και στην παραγωγή ειδικών εφέ σε ταινίες.

Υπάρχει σημαντική βιβλιογραφία πάνω στην ρομποτική και παρόμοιους επιστημονικούς τομείς για τον υπολογισμό της κίνησης και της τροχιάς πολλαπλών πρακτόρων που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Το πρόβλημα του σχεδιασμού κίνησης, είναι γνωστό, ότι έχει εκθετικό βαθμό πολυπλοκότητας όσον αφορά τον αριθμό των πρακτόρων που χρησιμοποιούνται ή τους βαθμούς ελευθερίας [70]. Σε γενικό επίπεδο, ο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

σχεδιασμός κίνησης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο προσεγγίσεις. Οι **συγκεντρωτικές** προσεγγίσεις [70], [71], λαμβάνουν υπόψη το σύνολο των ρομπότ ή πρακτόρων και τους συμπεριφέρονται σαν ένα σύνθετο σύστημα. Σε αυτές τις μεθόδους, οι χώροι διαμόρφωσης του κάθε ρομπότ συνδυάζονται (χρησιμοποιώντας Cartesian product) σε έναν σύνθετο χώρο, και ο αλγόριθμος που προκύπτει επιχειρεί να βρει λύση σε αυτόν τον συνδυασμένο χώρο διαμόρφωσης. Αντίθετα, οι αποσυνδεδεμένοι σχεδιαστές (decoupled planners) ενεργούν με έναν κατανεμημένο τρόπο, και ο συντονισμός μεταξύ τους γίνεται συχνά με την εξερεύνηση ενός χώρου συντονισμού, ο οποίος αντιπροσωπεύει τις παραμέτρους κατά μήκος κάθε διαδρομής ή υπολογίζονται κάποιοι είδους τοπικοί κανόνες. Οι αποσυνδεδεμένες προσεγγίσεις [72], [73] είναι αρκετά πιο γρήγορες από τις συγκεντρωτικές μεθόδους, αλλά δεν μπορούν να εγγυηθούν θεωρητική πληρότητα. Κάποιες από τις τεχνικές από τον σχεδιασμό κίνησης ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή συμπεριφορών ομάδων [74], [75], και πλοήγηση σε πραγματικό χρόνο, μεγάλου αριθμού πρακτόρων ανάμεσα σε εμπόδια [76], [77].

Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές για έλεγχο μεγάλου αριθμού πρακτόρων βασίζονται σε αποσυγκεντρωτικές μεθόδους. Αυτές αποτελούν πρόκληση, ιδιαίτερα σε καταστάσεις που υπάρχουν πυκνά πλήθη με μερικές εκατοντάδες ή χιλιάδες πράκτορες. Κάθε πράκτορας ουσιαστικά πρέπει να κινηθεί σε ένα άγνωστο δυναμικό περιβάλλον, ενώ δεν έχει πρότερη γνώση για το πώς θα κινηθούν οι άλλες πράκτορες ή τα δυναμικά εμπόδια στο μέλλον. Η καθιερωμένη προσέγγιση σε αυτού του είδους τα προβλήματα είναι να επιτραπεί σε κάθε πράκτορα να διανύσει έναν κύκλο ανίχνευσης και ενεργειών. Σε κάθε τέτοιο κύκλο, ο πράκτορας παρατηρεί τον χώρο γύρω του, αποκτά πληροφορίες για τις θέσεις και τις ταχύτητες άλλων πρακτόρων και εμποδίων που βρίσκονται στο συνθετικό περιβάλλον, και υπολογίζει ένα τοπικό μονοπάτι προς έναν στόχο αποφεύγοντας τις συγκρούσεις. Αν αυτός ο κύκλος εκτελείται με υψηλή συχνότητα, ο πράκτορας μπορεί να αντιδράσει έγκαιρα σε διάφορες αλλαγές που γίνονται γύρω του. Ο υπολογισμός της κίνησης ενός πράκτορα διαχωρίζεται σε δύο τμήματα: την καθολική και την τοπική πλοήγηση. Η καθολική πλοήγηση έχει σαν στόχο τον υπολογισμό μια διαδρομής, χωρίς συγκρούσεις, προς μια θέση – στόχο λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα στατικά εμπόδια, ενώ οι τεχνικές τοπικής πλοήγησης χρησιμοποιούνται για να αποφευχθούν συγκρούσεις με άλλους πράκτορες και δυναμικά εμπόδια και να κατευθυνθεί κάθε πράκτορας προς την θέση – στόχο [32].

Μοντέλα κοινωνικών δυνάμεων

Τα μοντέλα κοινωνικών δυνάμεων είναι μια μικροσκοπική προσέγγιση για την προσομοίωση κίνησης ατόμων. Λαμβάνοντας υπόψη "εικονικές" κοινωνικές δυνάμεις ανάλογες με τις πραγματικές δυνάμεις όπως η απωστική αλληλεπίδραση, οι δυνάμεις τριβής και κάποιες διακυμάνσεις, δίνεται η δυνατότητα να λυθούν οι εξισώσεις του Newton που αφορούν την κίνηση των ατόμων. Αυτό το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς στην προσομοίωση σεναρίων μετακίνησης πραγματικών ατόμων.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

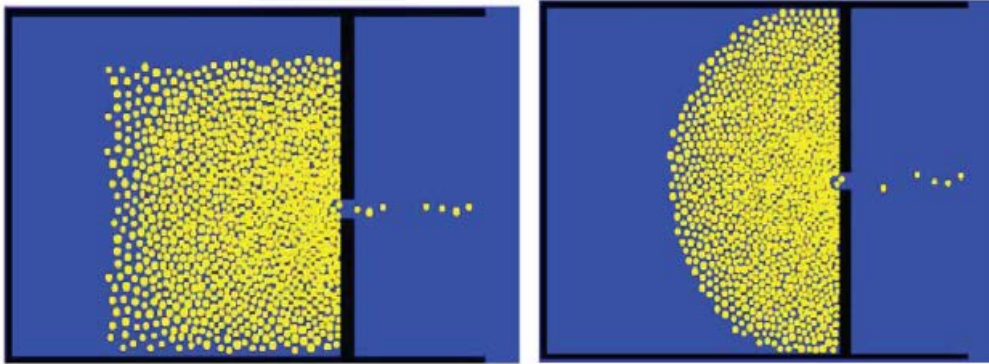
Σχετικά με άλλα μοντέλα, τα μοντέλα κοινωνικών δυνάμεων περιγράφουν τη συμπεριφορά των ατόμων πιο ρεαλιστικά. Ωστόσο, σχεδιάζονται ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο απλά. Κάθε άτομο αντιπροσωπεύεται στο επίπεδο μετακίνησης από έναν κύκλο με ξεχωριστή διάμετρο και το μοντέλο περιγράφει συνεχώς τις συντεταγμένες, την ταχύτητα και τις αλληλεπιδράσεις του με τα άλλα αντικείμενα του χώρου. Κάθε παράμετρος δύναμης έχει μια φυσική ερμηνεία, είναι μοναδική για κάθε άτομο και συχνά επιλέγεται τυχαία μέσα από κάποια εμπειρικά δεδομένα. Οι κοινωνικές δυνάμεις διαμορφώνουν την συμπεριφορά του ανθρώπινου πλήθους μέσω μια μίξης κοινωνικο - ψυχολογικών και φυσικών παραγόντων. Το πιο γνωστό εμπειρικά παραγόμενο μοντέλο κοινωνικών δυνάμεων είναι το μοντέλο του Helbing et al. [40].

Στο εν λόγω μοντέλο άτομα με διαφορετική μάζα το καθένα κινούνται με μια συγκεκριμένη επιθυμητή ταχύτητα προς μια καθορισμένη κατεύθυνση και φροντίζουν να προσαρμόζουν τη στιγμιαία ταχύτητά τους μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Συγχρόνως, τα άτομα προσπαθούν να κρατήσουν μια απόσταση από τα άλλα άτομα και από τους τοίχους, χρησιμοποιώντας κάποιες δυνάμεις αλληλεπίδρασης. Αυτό το μοντέλο περιγράφει την ψυχολογική τάση δύο ατόμων που προσπαθούν να μείνουν το ένα μακριά από το άλλο μέσω μιας απωστικής αλληλεπίδρασης. Τα άτομα έρχονται σε επαφή εάν η απόσταση διαχωρισμού τους είναι μικρότερη από το άθροισμα των ακτινών τους. Εάν αυτό συμβεί, τότε υιοθετούνται δύο πρόσθετες δυνάμεις, οι οποίες είναι αναγκαίες για την κατανόηση των ιδιαίτερων αντιδράσεων στα πανικόβλητα πλήθη: μια "σωματική δύναμη" που αντιδρά ενάντια στη συμπίεση των σωμάτων των ατόμων και μια "δύναμη ολισθαίνουσας τριβής" που εμποδίζει τη σχετική εφαπτόμενη κίνηση, όταν δύο άτομα έρχονται κοντά το ένα στο άλλο. Η αλληλεπίδραση με τους τοίχους αντιμετωπίζεται ανάλογα.

Το μοντέλο κοινωνικών δυνάμεων του Helbing και των συνεργατών του χρησιμοποιεί απωστικές και ελκτικές δυνάμεις για να προσομοιώσει επιτυχώς την αλληλεπίδραση μεταξύ των ατόμων και των εμποδίων, το οποίο επιφέρει μια ρεαλιστική συμπεριφορά ώθησης των ατόμων καθώς και μεταβλητά ποσοστά ροής [40]. Το συγκεκριμένο μοντέλο βαθμονομήθηκε λαμβάνοντας υπόψη πραγματικά δεδομένα. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι τα άτομα εμφανίζονται στην προσομοίωση να "τρέμουν" εξαιτίας των πολυάριθμων δυνάμεων πρόσκρουσης όσο αναφορά τα υψηλής πυκνότητας πλήθη, το οποίο δεν αντιστοιχεί στη φυσική ανθρώπινη συμπεριφορά. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται μια ακολουθία εικόνων από την προσομοίωση του προαναφερθέντος μοντέλου.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 8. Προσομοίωση του μοντέλου του Helbing για 10.000 άτομα.

Επίσης έχουν γίνει αρκετές μελέτες και εφαρμογές που χρησιμοποιούν προσεγγίσεις προσομοίωσης σωματιδίων για χαμηλής πυκνότητας πλήθη. Οι Brogan και Hodgins [38] χρησιμοποίησαν συστήματα σωματιδίων και δυναμικά για να αποτυπώσουν την κίνηση για ιδιαίτερης δομής ομάδων ατόμων. Ο Musse επέκτεινε το μοντέλο κοινωνικών δυνάμεων με την εισαγωγή του ατομικισμού [44].

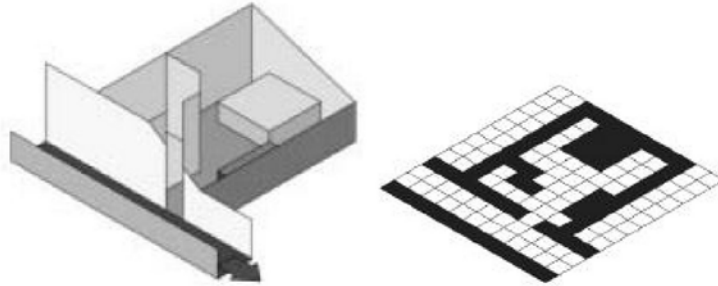
Κυψελιδωτά αυτόματα (Κ.Α.)

Τα Κ.Α. [80], [81] είναι μια προσέγγιση τεχνητής νοημοσύνης για μοντελοποίηση προσομοιώσεων, που ορίζεται από μαθηματικές εξιδανικεύσεις των φυσικών συστημάτων, όπου ο χώρος και ο χρόνος είναι διακριτά μεγέθη και οι φυσικές ποσότητες λαμβάνουν ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών τιμών. Ένα Κ.Α. αποτελείται από ένα ομοιόμορφο πλέγμα (π.χ. πίνακας 2 διαστάσεων), με μία ή περισσότερες διακριτές μεταβλητές σε κάθε χώρο (κελί) (Σχήμα 9). Οι τοίχοι και άλλα προεγκατεστημένα εμπόδια απεικονίζονται με μαύρο χρώμα, ενώ ο ελεύθερος χώρος που μπορεί να καταληφθεί από ανθρώπους απεικονίζεται με άσπρο χρώμα.

Η κατάσταση ενός Κ.Α. καθορίζεται απόλυτα από τις τιμές των μεταβλητών σε κάθε κελί, ενώ εξελίσσεται σε διακριτά χρονικά βήματα, με την τιμή της κατάστασης κάθε κελιού να επηρεάζεται από τις τιμές των καταστάσεων των γειτονικών κελιών. Οι καταστάσεις σε κάθε κελί ανανεώνονται ταυτόχρονα, βασιζόμενες στις τιμές που είχαν οι καταστάσεις της γειτονιάς τους στο προηγούμενο χρονικό βήμα και σύμφωνα με ένα σύνολο τοπικών κανόνων [82]. Οι κανόνες αυτοί περιγράφουν τη συμπεριφορά των Κ.Α. κατά την λήψη αποφάσεων. Κάθε Κ.Α. αξιολογεί τις δυνατότητές του για κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Η καθολική συμπεριφορά που προκύπτει είναι αποτέλεσμα των αλληλοεπιδράσεων των τοπικών κανόνων, καθώς κάθε άτομο ελέγχει τα διαθέσιμα κελιά στη γειτονιά του.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 9. 3D περιβάλλον και το αντίστοιχο του πλέγμα κυψελίδων

Τα Κ.Α. παρέχουν γενικά ένα πλαίσιο για διακριτά μοντέλα με τοπικές ομοιογενείς αλληλοεπιδράσεις. Χαρακτηρίζονται από τις θεμελιώδεις ιδιότητες (L, S, N, f) που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Η υιοθέτηση ενός ομοιόμορφου πλέγματος και μιας ενιαίας γειτονιάς είναι συμβατή με γεωμετρίες όπως αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, καθώς το σύνολο των καταστάσεων S, περιλαμβάνει πληροφορίες για την διαθεσιμότητα ενός κελιού.

Πίνακας 2. Ορισμός Κ.Α.

| | |
|--|---|
| L | Αποτελείται από ένα πλέγμα διακριτών κυττάρων |
| $t \rightarrow t + 1$ | Η εξέλιξη γίνεται σε διακριτά χρονικά βήματα |
| S | Σύνολο πεπερασμένων καταστάσεων |
| $F: S^n \rightarrow S$ | Κάθε κελί εξελίσσεται σύμφωνα με τον ίδιο κανόνα, ο οποίος εξαρτάται μόνο από την κατάσταση του κελιού και από ένα πεπερασμένο αριθμό γειτονικών κελιών |
| $N: \forall c \in N, \forall r \in L: r + c \in L$ | Η σχέση σε μια γειτονιά είναι τοπική και ομοιόμορφη |

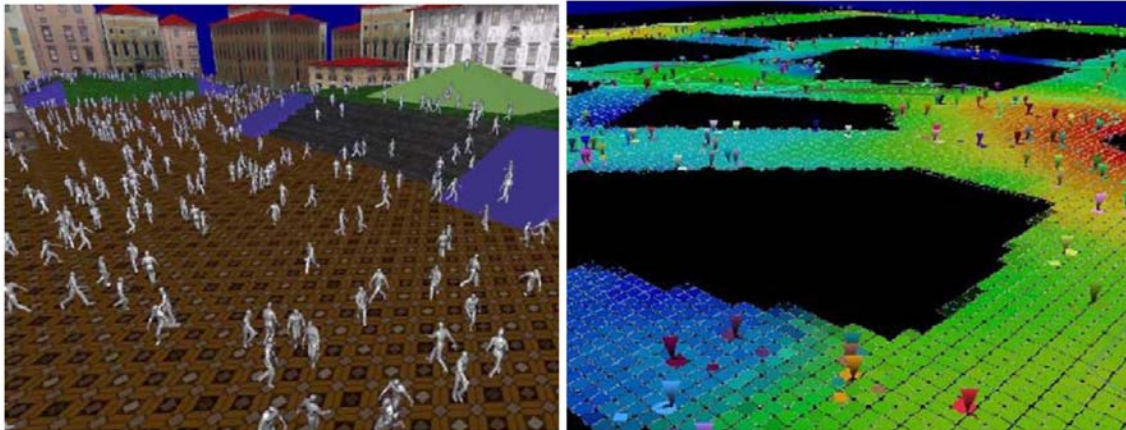
Τα Κ.Α. [83], [81], [84], [85], [134], [135], [136] παρόλο που είναι γρήγορα και απλά στην εφαρμογή τους, δεν επιτρέπουν την επαφή μεταξύ πρακτόρων. Ο χώρος του εδάφους είναι διακριτός, και τα άτομα μπορούν να κινηθούν μόνο στα παρακείμενα ελεύθερα κελιά. Αυτή η προσέγγιση «σκακιέρας», παρέχει ρεαλιστικά αποτελέσματα για πλήθη χαμηλής πυκνότητας, αλλά μη ρεαλιστικά όταν οι άνθρωποι οδηγούνται σε διακριτά κελιά σε καταστάσεις υψηλής πυκνότητας. Πιο ρεαλιστικές και μεγαλύτερες διαδρομές στο πλέγμα μπορούν να επιτευχθούν με τον προϋπολογισμό διαδρομών προς τους στόχους και την αποθήκευσή τους στο πλέγμα [86].

Στο Σχήμα 10 απεικονίζεται σε μορφή Κ.Α. και σε 2D πλέγμα μια προσομοίωση πλήθους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σε επόμενο κεφάλαιο γίνεται εκτενέστερη και αναλυτικότερη περιγραφή των Κ.Α., καθώς πάνω σε αυτά βασίζεται το προτεινόμενο μοντέλο αυτής της διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 10. Προσομοίωση πλήθους: (αριστερά) Κ.Α. και (δεξιά) αντίστοιχη 2D δομή πλέγματος [83]

Μοντέλα προσομοίωσης βασισμένα σε κανόνες

Τα βασισμένα σε κανόνες μοντέλα [22], [37] επιτυγχάνουν ρεαλιστικότερη αποτύπωση της ανθρώπινης κινήσεως για πολυπληθή ή συνωστισμένα πλήθη, αλλά συχνά δεν είναι ικανά να διαχειριστούν την επαφή μεταξύ των ατόμων και επομένως αποτυγχάνουν να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά απόθησης. Αυτά τα μοντέλα συνήθως υιοθετούν μια συντηρητική προσέγγιση ώστε να αποφευχθεί η επαφή μεταξύ των ατόμων και όταν οι πυκνότητες είναι υψηλές, εφαρμόζουν κανόνες "αναμονής" ώστε να επιβάλλουν την απαιτούμενη συμπεριφορά του πλήθους χωρίς την ανάγκη να υπολογιστεί η πιθανή αντίκρουση σύγκρουσης. Γνωστικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί, σε συνδυασμό με τα βασισμένα σε κανόνες μοντέλα για να επιτευχθούν ρεαλιστικότερες συμπεριφορές όσον αφορά την προσομοίωση ατόμων [25]. Διαφορετικοί κανόνες συμπεριφοράς μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλα πλήθη, μικρές ομάδες, ή ακόμα και σε μεμονωμένα άτομα ώστε να επιτευχθεί μια πιο πιστευτή γενική συμπεριφορά του πλήθους [87].

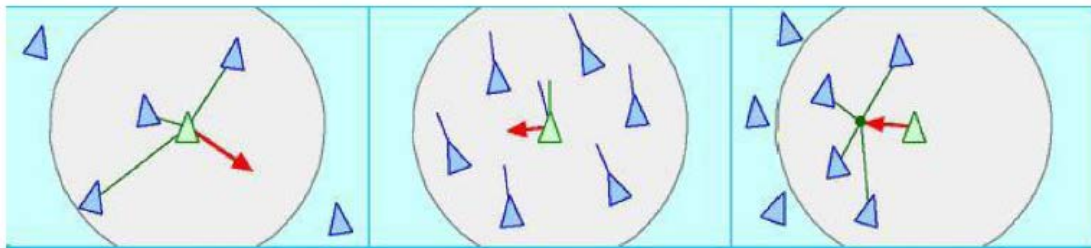
Το πιο γνωστό σύνολο τοπικών κανόνων ώστε να προσομοιωθεί μια αρκετά αληθοφανής και ταυτόχρονα σύνθετη συμπεριφορά είναι το μοντέλο του Reynolds. Είναι μια επεξεργασία ενός συστήματος σωματιδίων, με τις προσομοιωμένες οντότητες να αποτυπώνονται ως προσανατολισμένα σωματίδια με συγκεκριμένους κανόνες ελέγχου. Το μοντέλο αυτό περιεγράφηκε εκτενέστερα σε προηγούμενες παραγράφους.

Το βασικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της συνολικής πολυπληθούς συμπεριφοράς διέπεται από τρεις απλούς κανόνες (Σχήμα 11), που περιγράφουν πως μια μεμονωμένη οντότητα αλλάζει



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
κατεύθυνση κίνησης βασισμένη στις θέσεις και στις ταχύτητες των υπόλοιπων οντοτήτων που βρίσκονται κοντά του:

- Διαχωρισμός: καθοδήγηση ώστε να αποφεύγει τον συνωστισμό με γειτονικές του οντότητες.
- Ευθυγράμμιση: καθοδήγηση ώστε να κινηθεί προς το ενδιάμεσο της πορείας των γειτονικών του οντοτήτων.
- Συνοχή: καθοδήγηση ώστε να κινηθεί προς τη μέση θέση των γειτονικών του οντοτήτων.



Διαχωρισμός

Ευθυγράμμιση

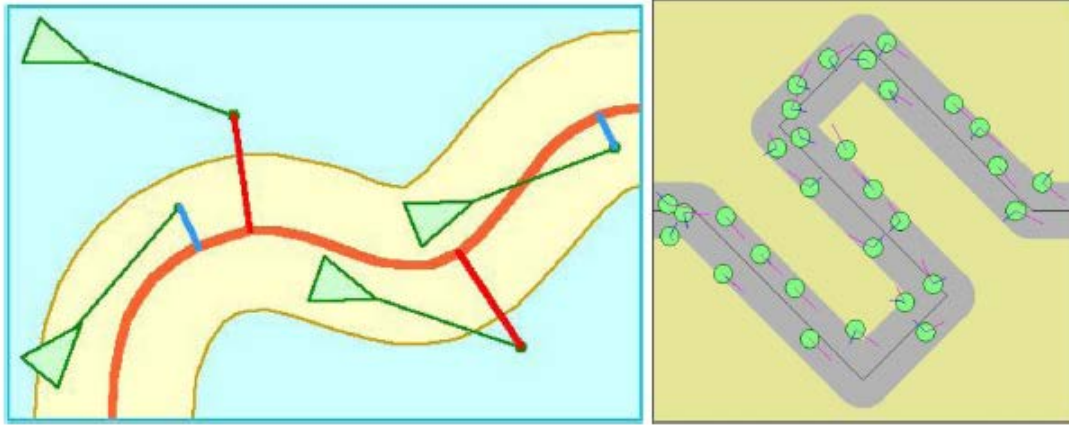
Συνοχή

Σχήμα 11. Οι κανόνες που ισχύουν για το μοντέλο του Reynolds. [37]

Κάθε οντότητα έχει πρόσβαση σε ολόκληρη τη γεωμετρία του περιβάλλοντος, αλλά η κίνηση μέσα στο πλήθος απαιτεί μόνο τις αντιδράσεις μέσα σε μια συγκεκριμένη γειτονιά που καθορίζεται από μια απόσταση (από το κέντρο κάθε οντότητας) και μια γωνία (από την κατεύθυνση κίνησης κάθε οντότητας). Αυτή η γειτονιά μπορεί να θεωρηθεί ως μια περιορισμένη περιοχή αντίληψης. Κάθε οντότητα καταφέρνει να αποφεύγει όχι μόνο τη σύγκρουση με άλλες οντότητες αλλά και με τα εμπόδια που βρίσκονται στο περιβάλλον.

Εκτός από τους τρεις βασικούς κανόνες που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της κίνησης μέσα στο πλήθος, ο Reynolds [37] εισήγαγε ένα γενικότερο πλάνο συμπεριφορών καθοδήγησης πάνω στην υπάρχουσα κίνηση των οντοτήτων μέσα σε αυτό το πλαίσιο. Οι συμπεριφορές καθοδήγησης ενισχύουν τις ήδη προϋπάρχουσες συμπεριφορές στο αρχικό μοντέλο οντοτήτων ώστε να εφαρμοστούν σε σύνθετα αυτόνομα συστήματα. Κάθε ένας από αυτούς τους νέους κανόνες καθορίζει μόνο μια συγκεκριμένη αντίδραση στο προσομοιωμένο περιβάλλον του αυτόνομου συστήματος (Σχήμα 12).

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 12. Παράδειγμα πορείας βάσει των συμπεριφορών καθοδήγησης του Reynolds [37].

Απλές συμπεριφορές που αφορούν μεμονωμένες οντότητες και ζευγάρια οντοτήτων:

- Αναζήτηση και απομάκρυνση
- Κίνηση και διαφυγή
- Περιπλάνηση
- Αφιξη
- Αποφυγή εμποδίων
- Συνοχή
- Κίνηση κατά μήκος τοίχου
- Διατήρηση πορείας
- Ροή περιοχής ακολουθώντας συμπεριφορές καθοδήγησης

Συνδυασμένες συμπεριφορές που αφορούν ομάδες ατόμων:

- Κίνηση βάση πορείας του πλήθους
- Κίνηση με βάση τον αρχηγό
- Αποφυγή σύγκρουσης
- Αναμονή



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Μακροσκοπικά μοντέλα

Τα μακροσκοπικά μοντέλα δεν εστιάζουν τόσο στις ιδιαίτερες συμπεριφορές των μεμονωμένων ατόμων αλλά σε μια γενική αντιμετώπιση του πλήθους ως ροή ατόμων. Τέτοια μοντέλα είναι πολύ σημαντικά στον υπολογισμό και στην πρόβλεψη των αναγκών που αφορούν την κυκλοφορία οχημάτων καθώς και στην εύρεση της δυναμικότητας για μεγάλης κλίμακας κατασκευές όπως τα στάδια ή τα εμπορικά κέντρα. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν, εν συντομία, κάποια μακροσκοπικά μοντέλα που έχουν συχνή εφαρμογή.

Μοντέλα παλινδρόμησης

Τα μοντέλα παλινδρόμησης χρησιμοποιούν στατιστικά καθιερωμένες σχέσεις που αφορούν τις μεταβλητές της ροής, για να προβλέψουν διαδικασίες ροής ατόμων κάτω από συγκεκριμένες περιστάσεις. Τα χαρακτηριστικά αυτής της ροής εξαρτώνται από την υποδομή του χώρου (όπως σκαλοπάτια, διάδρομοι, κλπ.) [88].

Μοντέλα επιλογής πορείας

Τα μοντέλα επιλογής πορείας περιγράφουν την αναζήτηση διαδρομής των ατόμων βασισμένα στην έννοια της πρακτικότητας. Τα άτομα επιλέγουν τους προορισμούς με σκοπό να μεγιστοποιήσουν την ωφελιμότητα του ταξιδιού τους (άνεση, χρόνος ταξιδιού, κλπ.) [89].

Μοντέλα αναμονής

Τα μοντέλα αναμονής χρησιμοποιούν τα μοντέλα αλυσίδας του Markov [90] για να περιγράψουν πώς τα άτομα κινούνται από έναν κόμβο ενός δικτύου σε έναν άλλον. Οι κόμβοι είναι συνήθως δωμάτια και επομένως οι συνδέσεις είναι συνήθως πύλες ή πόρτες. Τα μοντέλα αλυσίδας του Markov καθορίζονται από ένα σύνολο καταστάσεων σε συνεργασία με τις πιθανότητες μετάβασης. Σε κάθε χρονικό βήμα, η επόμενη κατάσταση επιλέγεται είτε μέσω δειγματοληψίας από τη διανομή των πιθανοτήτων μετάβασης, είτε προσδιορίζοντας την πιθανότερη κατάσταση. Μόνο οι μεταβάσεις που προκαλούν αλλαγή καταστάσεως λαμβάνονται υπόψη.

Μοντέλα κίνησης αερίων

Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν μια αναλογία βασισμένη στη δυναμική ρευστών ή αερίων για να περιγράψουν πώς η πυκνότητα και η ταχύτητα του πλήθους αλλάζουν κατά τη διάρκεια του χρόνου, χρησιμοποιώντας εξισώσεις μερικών παραγώγων [91], [79].

Πρόβλεψη Διάδοσης Φωτιάς

Η φωτιά είναι η διαδικασία μετατροπής ενός στερεού, εύφλεκτου, υλικού σε αέριο μέσω της χημικής αντίδρασης της καύσης. Υποστηρίζεται ότι οι πρώτοι άνθρωποι που χρησιμοποίησαν την φωτιά με



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης ελεγχόμενο τρόπο έζησαν περίπου 9 εκατομμύρια χρόνια πριν, και ότι είχε καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού στην σύγχρονή του μορφή. Ωστόσο, κατά την διάρκεια των χρόνων, ένα από τα πιο συχνά αίτια περιβαλλοντικής καταστροφής είναι οι πυρκαγιές, που εκδηλώνονται τόσο λόγω φυσικής όσο και ανθρώπινης δραστηριότητας, καθώς αποτελούνε κίνδυνο για τις ανθρώπινες ζωές, την χλωρίδα και την πανίδα των οικοσυστημάτων. Το φαινόμενο αυτό, οδήγησε στην δημιουργία πληθώρας μηχανισμών, από ειδικές ομάδες μέχρι νέα υλικά, με σκοπό τον έλεγχο, τον περιορισμό και την πρόληψη των πυρκαγιών, ώστε να μειωθούν οι αρνητικές συνέπειες που προκαλούν.

Ένα σημαντικό εργαλείο σε αυτήν την προσπάθεια, που εξυπηρετεί τόσο στις δασικές όσο στις εσωτερικές φωτιές, είναι η ικανότητα για πρόβλεψη της διάδοσης της φωτιάς για την καλύτερη διαχείριση δασικών περιοχών, την υποστήριξη της πυρόσβεσης, και την κατάλληλη διαμόρφωση εσωτερικών χώρων. Η πρόβλεψη της διάδοσης της φωτιάς γίνεται με την αναπαραγωγή του φαινομένου μέσω ειδικών μοντέλων προσομοίωσης, τα οποία απαιτούν την επεξεργασία αρκετών μεταβλητών όπως η ταχύτητα του ανέμου, η κλίση του εδάφους, η κατανομή της καύσιμης ύλης, η υγρασία και άλλες, με αποτέλεσμα να φέρουν υψηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα.

Μοντέλα προσομοίωσης διάδοσης φωτιάς

Περιγραφή του Μοντέλου του Rothermel

Μία από τις πρώτες απόπειρες για την μοντελοποίηση των πυρκαγιών έγινε το 1972 από τον Richard C. Rothermel ο οποίος πρότεινε για πρώτη φορά μια μαθηματική περιγραφή του τρόπου διάδοσης της φωτιάς με χρήση διαφορικών εξισώσεων. Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσομοιώνει μια φωτιά που έχει σταθεροποιηθεί σε μια εν μέρη σταθερή κατάσταση διάδοσης (quasi-steady spread condition). Οι περισσότερες πυρκαγιές ξεκινούν από ένα συγκεκριμένο σημείο και διαδίδονται ακτινικά προς τα έξω, υποθέτοντας ελλειπτικό σχήμα με τον κύριο άξονα να βρίσκεται στην κατεύθυνση που η διάδοση είναι πιο ευνοϊκή. Όταν η φωτιά γίνει αρκετά μεγάλη ώστε κάθε σημείο τις φωτιάς να διαδίδεται ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις της αντίθετης πλευράς τότε η φωτιά θεωρείται ότι έχει σταθεροποιηθεί σε ένα γραμμικό μέτωπο που συμπεριφέρεται σαν αντιδραστικό κύμα (reaction wave) η εξέλιξη του οποίου είναι σταθερή στον χρόνο για ομοιόμορφη κατανομή καύσιμης ύλης (fuel).

Το μοντέλο του Rothermel χαρακτηρίζεται πλήρες υπό την έννοια ότι όλες οι παράμετροι μπορούν να προσδιοριστούν από τα χαρακτηριστικά των υλικών στο σημείο ενδιαφέροντος, χωρίς να απαιτούνται εκ των προτέρων πληροφορίες για αυτά. Ωστόσο, δεν εγγυάται ότι η πληροφορία που απαιτείται είναι άμεσα διαθέσιμη ή μπορεί να εξαχθεί εύκολα. Οι παράμετροι εισόδου του μοντέλου συμπεριλαμβάνουν την



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης ποσότητα καυσίμου (fuel loading), το βάθος καυσίμου (fuel depth), την αναλογία του εμβαδού επιφάνειας-όγκου του σωματιδίου του καυσίμου, την ενεργειακή περιεκτικότητα του σωματιδίου του καυσίμου (fuel particle heat content), την περιεκτικότητα σε υγρασία και μεταλλικά στοιχεία του καυσίμου και την περιεκτικότητα σε υγρασία στην οποία συμβαίνει η ανάφλεξη. Οι περιβαλλοντικές παράμετροι εισόδου είναι η μέση ταχύτητα του αέρα και η υψομετρική κλίση του εδάφους. Η αρχική θεώρηση του μοντέλου αφορά ανόργανη καύσιμη ύλη, όπως νεκρή βλάστηση, απορρίμματα ή και γρασίδι, σε συνεχές στρώμα που συνορεύει με το έδαφος, ωστόσο έχει βρεθεί ότι μπορεί να παράγει χρήσιμα αποτελέσματα και για υλικά από πευκοβελόνες μέχρι υπολείμματα υλοτομίας καθώς και για οικοσυστήματα που αποτελούνται από θάμνους.

Ο Ρυθμός Διάδοσης της Φωτιάς

Μια σειρά πειραμάτων σε συνδυασμό με την θεωρητική βάση που εδραιώθηκε από τον W.H. Frandsen, ο οποίος εφάρμοσε την αρχή διατήρησης της ενέργειας σε μοναδιαίο όγκο καύσιμης ύλης μπροστά από μια πορευόμενη φωτιά σε ομογενές στρώμα καυσίμου (fuel bed), οδήγησαν στην δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου που περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις.

$$R = \frac{I_{xig} + \int_{-\infty}^0 \left(\frac{\theta I_z}{\theta z} \right)_{z_c} dx}{\rho_{be} \cdot Q_{ig}} \quad (6)$$

όπου:

R = Ο σταθεροποιημένος ρυθμός διάδοσης ($ft./min$).

I_{xig} = Η οριζόντια ροή θερμότητας (heat flux) που απορροφάται από μοναδιαίο όγκο καύσιμης ύλης την στιγμή της ανάφλεξης ($B. t. u./ft.^2 \cdot min$).

ρ_{be} = Η ενεργή συνολική πυκνότητα (effective bulk density), η ποσότητα καύσιμης ύλης ανά μοναδιαίο όγκο του στρώματος καυσίμου, που υψώνεται σε θερμοκρασία ανάφλεξης μπροστά από την πορευόμενη φωτιά ($lb./ft^3$).

Q_{ig} = Η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την ανάφλεξη μοναδιαίας μάζας ($B. t. u./lb.$).

$\left(\frac{\theta I_z}{\theta z} \right)_{z_c}$ = Η κλίση της κάθετης έντασης σε ένα επίπεδο σταθερού βάθους, z_c , του στρώματος καυσίμου ($B. t. u./ft.^3 \cdot min$).



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η οριζόντια και κάθετη συνιστώσα είναι η x και z , αντίστοιχα.

Η εξίσωση (6) δείχνει ουσιαστικά ότι ο ρυθμός διάδοσης κατά την σταθεροποιημένη κατάσταση (quasi-steady state) είναι μια αναλογία της ροής θερμότητας που λαμβάνεται από την πηγή, στον αριθμητή, και της θερμότητας που απαιτείται για ανάφλεξη από την εκάστοτε καύσιμη ύλη, στον παρονομαστή. Λόγω των άγνωστων μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας που επηρεάζουν την ροή θερμότητας η εξίσωση δεν μπορεί να λυθεί αναλυτικά, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την εξέταση κάθε όρου και τον καθορισμό πειραματικών και αναλυτικών μεθόδων για την αξιολόγηση τους. Για να συμβεί αυτό απαιτείται ο ορισμός νέων όρων που θα οδηγήσουν σε μια προσεγγιστική λύση της εξίσωσης (6).

Η απαιτούμενη Θερμότητα Ανάφλεξης

Η απαιτούμενη θερμότητα για ανάφλεξη εξαρτάται από την θερμοκρασία ανάφλεξης, την περιεκτικότητα σε υγρασία του καυσίμου και την ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για την διαδικασία ανάφλεξης.

Η ενέργεια ανά μοναδιαία μάζα που απαιτείται για την ανάφλεξη είναι η θερμότητα προ-ανάφλεξης, και δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{ig} = f(M_f, T_{ig}), \quad (B. t. u/lb.) \quad (7)$$

όπου:

M_f = Η αναλογία της υγρασίας του καυσίμου προς το καθαρό βάρος του.

T_{ig} = Η θερμοκρασία ανάφλεξης.

Η ποσότητα καυσίμου που συμμετέχει στην διαδικασία ανάφλεξης είναι η ενεργή συνολική πυκνότητα ρ_{be} . Για την καλύτερη ανάλυση του μοντέλου, ορίζεται ένας ενεργός θερμικός αριθμός, ε , ως η αναλογία της ενεργής συνολικής πυκνότητας με την πραγματική συνολική πυκνότητα.

$$\varepsilon = \frac{\rho_{be}}{\rho_b} \quad (8)$$

Η συνάρτηση (8) ορίζει ένα καθαρό αριθμό που θα είναι κοντά στην μονάδα για καθαρή καύσιμη ύλη και θα μειώνεται προς το μηδέν καθώς το μέγεθος του καυσίμου μεγαλώνει, συνεπώς:



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$$\rho_{be} = f(\text{συνολική πυκνότητα, μέγεθος καυσίμου}) \quad (9)$$

Η Διαδιδόμενη Ροή

Η διαδιδόμενη ροή θερμότητας (propagating heat flux), I_p , είναι ο αριθμητής της δεξιάς πλευράς της εξίσωσης (6) και έχει μονάδες θερμικής ενέργειας ανά μοναδιαία επιφάνεια, ανά μοναδιαίο χρόνο.

$$I_p = I_{xig} + \int_{-\infty}^0 \left(\frac{\theta I_z}{\theta z} \right)_{z_c} dx, \quad (B.t.u./ft^2 \cdot min) \quad (10)$$

Η παράμετρος I_p αποτελείται από δύο όρους, από την οριζόντια ροή και από την κλίση της κάθετης ροής που ολοκληρώνεται από το μείον άπειρο μέχρι το σημείο του μετώπου της φωτιάς. Αυτά τα είδη ροής μπορούν να χαρακτηριστούν όπως φαίνεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**3. Η θεώρηση του σχήματος δείχνει ότι η κάθετη ροή είναι πιο σημαντική για τις περιπτώσεις (β) και (γ) λόγω του ότι η φλόγα γέρνει πάνω από την εκάστοτε καύσιμη ύλη, αυξάνοντας την θερμική ακτινοβολία και πιο σημαντικά, προκαλώντας απευθείας επαφή με την φλόγα και μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής (convective heat transfer).

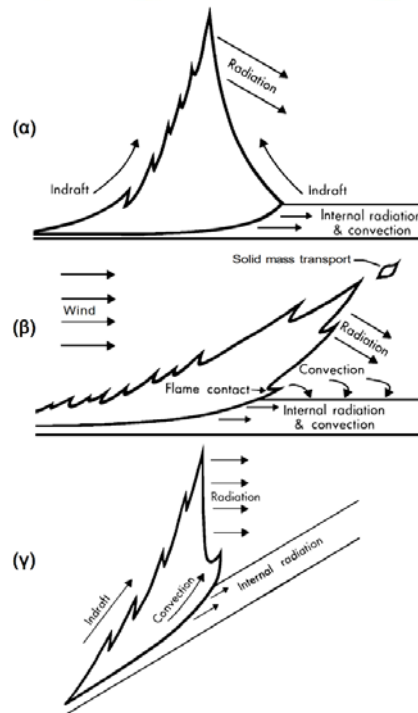
Λαμβάνεται η υπόθεση ότι η κάθετη ροή είναι μικρή για φωτιές χωρίς άνεμο και θεωρείται ότι $I_p = (I_p)_o$. Στο μοντέλο, η παράμετρος $(I_p)_o$ είναι η βασική συνιστώσα της θερμικής ροής στην οποία όλες οι επιδράσεις του ανέμου και της υψομετρικής κλίσης συμπεριλαμβάνονται.

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (8) και (10) στην εξίσωση (6) και διατηρώντας την παραπάνω υπόθεση για φωτιά χωρίς άνεμο, θεωρώντας $I_p = (I_p)_o$ και $R = R_o$, τότε:

$$(I_p)_o = R_o \cdot \rho_b \cdot Q_{ig}, \quad (B.t.u./ft^2 \cdot min) \quad (11)$$

Η εξίσωση (11) επιτρέπει την αξιολόγηση της παραμέτρου $(I_p)_o$ πειραματικά με διαδιδόμενες φωτιές σε απουσία ανέμου μετρώντας το R_o για ένα μεγάλο εύρος καταστάσεων καυστικής ύλης. Σημειώνεται ότι η διαδιδόμενη ροή συμβαίνει στο μέτωπο τις φωτιάς συνεπώς, το $(I_p)_o$ αναμένεται να είναι στενά συνδεδεμένο με την ένταση της φωτιάς στο μέτωπο.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 13. Σχήματα από το μοντέλο του Rothermel **Η πηγή που καθορίστηκε δεν είναι έγκυρη.** Η διαδιδόμενη ροή θερμότητας σχηματικά, για (α) διάδοση φωτιάς στο επίπεδο χωρίς άνεμο, (β) διάδοση φωτιάς με άνεμο και (γ) διάδοση φωτιάς με υψομετρική κλίση.

Η Ένταση της Αντίδρασης

Ο ρυθμός με τον οποίο απελευθερώνεται ενέργεια από το μέτωπο της φωτιάς οφείλεται στην καύση αερίων της οργανικής ύλης των καυστικών υλικών. Επομένως, ο ρυθμός της μεταβολής της οργανικής ύλης από στερεά σε αέρια μορφή είναι μια καλή προσέγγιση του ακόλουθου ρυθμού απελευθέρωσης της ενέργειας της φωτιάς. Ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμικής ενέργειας ανά μοναδιαία επιφάνεια του μετώπου της φωτιάς ονομάζεται ένταση της αντίδρασης και ορίζεται ως:

$$I_R = -\frac{dw}{dt} \cdot h, \quad (B.t.u./ft.^2 \cdot min) \quad (12)$$

όπου:

$\frac{dw}{dt}$ = Ο ρυθμός απώλειας μάζας ανά μοναδιαίο εμβαδό στο μέτωπο της φωτιάς



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
($lb./ft.^2 \cdot min$).

h = Η θερμική ενεργειακή περιεκτικότητα της καύσιμης ύλης ($B. t. u./lb$).

Η ένταση της αντίδρασης είναι συνάρτηση παραμέτρων καυσίμου όπως το μέγεθος σωματιδίου, η συνολική πυκνότητα, η υγρασία και η χημική σύνθεση.

Η ένταση της αντίδρασης είναι η πηγή της διαδιδόμενης ροής σε απουσία ανέμου (I_p)_o. Μια σημαντική ιδέα στην οποία βασίζεται το μοντέλο είναι ότι οι παράμετροι (I_p)_o και I_R μπορούν να αξιολογηθούν ανεξάρτητα και να συσχετιστούν. Γνωρίζοντας την συσχέτιση, η (I_p)_o μπορεί να καθοριστεί από την ένταση της αντίδρασης, η οποία με την σειρά της εξαρτάται από τις παραμέτρους της καύσιμης ύλης που εξήχθησαν από το στρώμα καυσίμου.

$$(I_p)_o = f(I_R) \quad (13)$$

Η διατήρηση αυτής της ιδέας θα βοηθήσει στην κατανόηση της ανάπτυξης του μοντέλου.

Επίδραση του Ανέμου και της Υψομετρικής Κλίσης

Ο άνεμος και η κλίση μεταβάλλουν την διαδιδόμενη ροή θερμότητας εκθέτοντας την εκάστοτε καύσιμη ύλη σε επιπλέον θερμική συναγωγή (thermal convection) και θερμική ακτινοβολία.

Έστω οι παράμετροι φ_w και φ_s αναπαριστούν την επιπλέον διαδιδόμενη ροή που παράγεται από τον άνεμο και την κλίση αντίστοιχα. Αυτές οι παράμετροι αποτελούν συντελεστές, που αναπαρίστανται από ένα καθαρό αριθμό, και εξαρτώνται από τον άνεμο την κλίση και της παραμέτρους της καύσιμης ύλης. Οι τιμές τους λαμβάνονται από πειραματικά δεδομένα. Η συνολική διαδιδόμενη ροή δίνεται από τη έκφραση:

$$I_p = (I_p)_o \cdot (1 + \varphi_w + \varphi_s) \quad (14)$$

Προσέγγιση του Εξίσωσης του Ρυθμού Διάδοσης

Λαμβάνοντας υπόψιν τις προσεγγιστικές σχέσεις η εξίσωση (6) γίνεται:

$$R = \frac{(I_p)_o \cdot (1 + \varphi_w + \varphi_s)}{\rho_b \cdot \varepsilon \cdot Q_{ig}} \quad (15)$$



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στο μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω δίνεται η βασική θεώρηση των παραμέτρων που απαιτούνται την περιγραφή της συμπεριφοράς της φωτιάς που διαδίδεται σε ένα επιφανειακό στρώμα καύσιμης ύλης. Αυτές οι παράμετροι προσδιορίζονται μέσω κατάλληλων τύπων, διαγραμμάτων ή πινάκων που, προέκυψαν έπειτα από πειραματικές διαδικασίες, σύμφωνα με τις εκάστοτε συνθήκες που πρόκειται να μοντελοποιηθούν. Επιπλέον, είναι εφικτό διάφοροι τύποι καύσιμης ύλης να ομαδοποιηθούν σε κατηγορίες βάση κοινών χαρακτηριστικών. Καύσιμη ύλη με ετερογενή σύνθεση ή ασυνεχή μοτίβα υποστηρίζεται, ωστόσο, είναι δυσκολότερο να μοντελοποιηθεί.

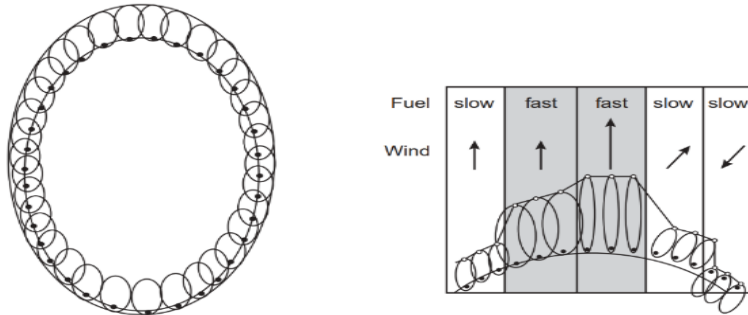
Διανυσματικά Μοντέλα

Οι εξισώσεις του Rothermel έθεσαν μια αρχική θεωρητική βάση για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς της φωτιάς, κάνοντας εφικτή την προσομοίωση του φαινομένου. Επιπλέον, ως προσπάθεια για την πλήρη περιγραφή των πυρκαγιών, περεταίρω ερευνητικό έργο ακολούθησε για την μοντελοποίηση της διάδοσης και σε διαφορετικού τύπου σενάρια όπως διάδοση μέσω των κορυφών των δέντρων (crown fire) και εστίες φλόγας που δημιουργούνται μέσω παρασυρόμενης καύσιμης ύλη από τον αέρα (spotting). Οι περιγραφές αυτές ενσωματώθηκαν μεταγενέστερα σε αρκετά μοντέλα για την πρόβλεψη της διάδοσής, σε συνδυασμό με ένα μηχανισμό που επιτρέπει την βαθμιαία μεταβολή του μετώπου της φωτιάς. Συνολικά, οι δυο πιο συνηθισμένες προσεγγίσεις αφορούνε μοντέλα που βασίζονται στην αρχή του Huygen, που αναφέρονται και ως διανυσματικά μοντέλα, και στα Κ.Α. αντίστοιχα.

Η διανυσματική προσέγγιση, προτάθηκε αρχικά από τους Sanderlin και Sunderson το 1975 και εφαρμόστηκε μετέπειτα σε άλλα μοντέλα με τα πιο γνωστά ανάμεσά τους το FARSITE του Finney και πιο πρόσφατα το Prometheus του Tymstra και άλλων. Αυτή η προσέγγιση, αποτελείται συνηθέστερα από μια τεχνική επαναληπτικής λογικής που βασίζεται στην αρχή του Huygens (Huygens' wavelet principle) η οποία θεωρεί μια κυματοειδής διάδοση. Σύμφωνα με αυτήν την τεχνική κάθε σημείο της περιμέτρου της φωτιάς θεωρείται ως δυνητική πηγή ανάφλεξης, τα χαρακτηριστικά της οποίας βασίζονται στην τοπική καυστική ύλη, την κατεύθυνση του ανέμου και τις ιδιότητες του εδάφους, όπως ορίζεται από το εκάστοτε μοντέλο φωτιάς. Τα νέα μέτωπα φωτιάς που εκδηλώνονται στην περίμετρο θεωρείται ότι αναφλέγονται ταυτόχρονα, δεν αλληλοεπιδρούν και επεκτείνονται τοπικά, επαναληπτικά, ανά χρονικό βήμα. Έπειτα, κάθε νέα φωτιά αποκτά συγκεκριμένο σχήμα και μέγεθος και η περιβάλλουσα κάθε ατομικής φωτιάς γίνεται η νέα περίμετρος. Ένα παράδειγμα αυτής της συμπεριφοράς φαίνεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.14**.

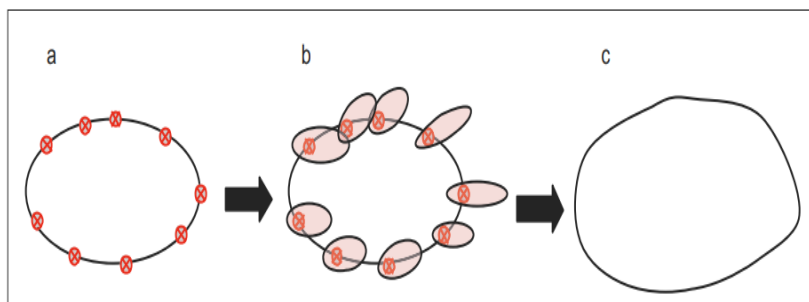


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 14. Σχήμα από την περιγραφή του μοντέλου FARSITE, απεικόνιση της αρχής του Huygen για ελλειψοειδή κυματίδια. Αριστερά φαίνεται η εξέλιξη για ομογενείς συνθήκες όπου το σχήμα και το μέγεθος της έλλειψης είναι σταθερό και δεξιά φαίνεται η εξάρτηση του σχήματος από την τοπική καύσιμη ύλη και την κατεύθυνση του ανέμου.

Ουσιαστικά, τα διανυσματικά μοντέλα, όπως για παράδειγμα το FARSITE, θεωρούνε ένα συνεχές διανυσματικό χώρο στον οποίο ορίζονται σημεία ανάφλεξης σε συγκεκριμένες συντεταγμένες. Το μέτωπο φωτιάς χαρακτηρίζεται ως ένα σύνολο από τέτοια σημεία τα οποία ενώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα ή περισσότερα πολύγωνα, ανάλογα με τις εστίες φωτιάς. Κατά την εξέλιξη, ανά χρονικό βήμα, αυτό το πολύγωνο επεκτείνεται, σύμφωνα με τη αρχή του Huygen, αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των σημείων τα οποία συμμετέχουν στους υπολογισμούς της διάδοσης. Για να συμβεί αυτό, σε κάθε σημείο απαιτείται η πληροφορία (1) του του προσανατολισμού του σημείου, (2) της κατεύθυνσης της μέγιστης διάδοσης της φωτιάς και (3) οι διαστάσεις της έλλειψης που θα παραχθεί. Το σχήμα και η κατεύθυνση της έλλειψης καθορίζεται από τον άνεμο και την υψομετρική κλίση του σημείου, το μέγεθός της από τον ρυθμό διάδοσης και το μήκος της από το χρονικό βήμα. Η διαδικασία αυτήν συνοψίζεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**15.



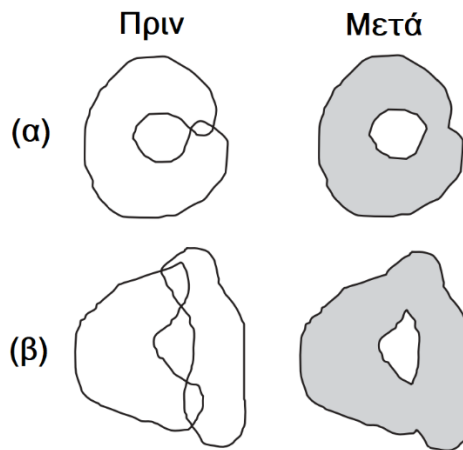


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σχήμα 15. Σχήμα από την περιγραφή του μοντέλου *Prometheus* Η πηγή που καθορίστηκε δεν είναι έγκυρη..

(α) Τα αρχικά σημεία ανάφλεξης σε χρόνο t , (β) η προσαρμοσμένη έλλειψη κάθε σημείου μετά από χρόνο Δt , (γ) το νέο μέτωπο φωτιάς μετά από χρόνο $t+\Delta t$.

Μια από τις κύριες διεργασίες, που συχνά προκαλεί επιπλοκές, όμως είναι απαραίτητη ώστε να είναι επιτυχής η προσομοίωση, είναι η από-εμπλοκή τεμνόμενων μετώπων φωτιάς. Η διανυσματική τεχνική δεν αναγνωρίζει εγγενώς τις καμένες από της άκαυτες περιοχές, το οποίο είναι σημαντικό ζήτημα για περιπτώσεις μη ομογενούς εδάφους, καύσιμης ύλης και ανέμου. Αν η προσομοίωση συνεχίσει χωρίς την αναγνώριση των καμένων περιοχών τότε είναι πιθανό το μέτωπο που θα δημιουργηθεί να έχει περίπλοκους βρόχους και περιοχές που τέμνονται μεταξύ τους (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**15). Για να διατηρηθεί το νόημα του μετώπου της φωτιάς, αυτού του είδους οι επικαλύψεις (crossovers) πρέπει να αφαιρεθούν, το οποίο είναι εφικτό μόνο χρησιμοποιώντας κατάλληλους αλγορίθμους. Σε όμοια πλαίσια κινείται και η συγχώνευση διαφορετικών μετώπων φωτιάς. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι, ωστόσο ανεξάρτητα με το ποια εφαρμόζεται, η αφαίρεση των επικαλύψεων είναι μια χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί υψηλή υπολογιστική ισχύ.



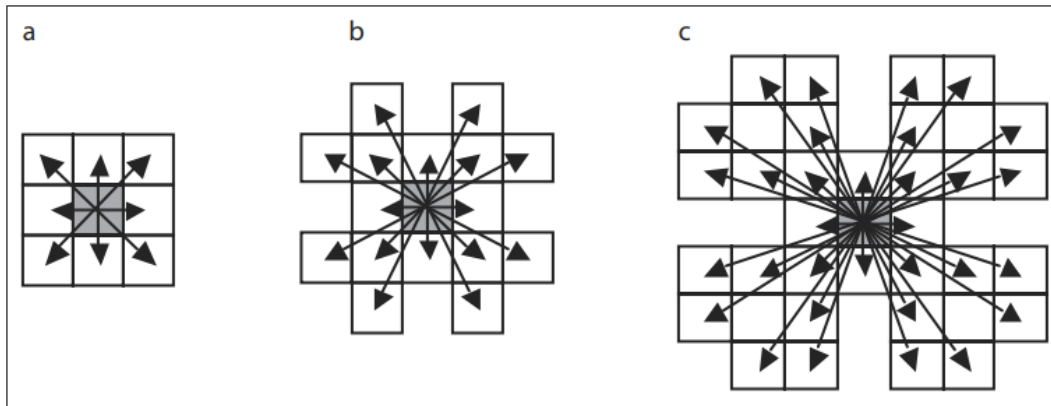
Σχήμα 16. Σχήματα από την περιγραφή του μοντέλου *FARSITE* Η πηγή που καθορίστηκε δεν είναι έγκυρη..

παραδείγματα μετώπου πριν και μετά την διαδικασία αφαίρεσης των επικαλύψεων. (α) επικάλυψη του ίδιου του μετώπου, (β) επικάλυψη δυο διαφορετικών μετώπων και συγχώνευση σε ένα.

Είναι εμφανές, ότι η διαδικασία φέρει μια σχετικά υψηλή πολυπλοκότητα η οποία αυξάνεται κατά την διάρκεια της εξέλιξης του μοντέλου, σύμφωνα με το μέγεθός της φωτιάς που προσομοιώνεται, αφού μεγαλώνει ο αριθμός των σημείων που περιγράφουν ένα μέτωπο. Ένα από τα πλεονεκτήματα, ωστόσο, των διανυσματικών μεθόδων είναι ότι η διάδοση της φωτιάς μπορεί να έχει εξίσου οποιαδήποτε κατεύθυνση στο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
δισδιάστατο επίπεδο, σε αντίθεση με την χρήση Κ.Α. όπου η κατευθύνσεις περιορίζονται σε αυτές που επιτρέπει η εκάστοτε γειτονιά που χρησιμοποιείται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 17.



Σχήμα 17. Σχήμα από την περιγραφή του μοντέλου Prometheus Η πηγή που καθορίστηκε δεν είναι έγκυρη..
Πιθανές κατευθύνσεις διάδοσης σε Κ.Α. με διαφορετικό τύπο γειτονιάς, χρησιμοποιώντας (α) 8 (β) 16, (γ) 32
γειτονικές κυψελίδες.

Συνολικά, οι διανυσματικές μέθοδοι έχουν αποδειχθεί χρήσιμες για την πρόβλεψη της διάδοσης της φωτιάς κυρίως για σενάρια που αφορούν ένα δισδιάστατο επίπεδο, όπως για παράδειγμα πυρκαγιές δασών. Ωστόσο, η διάδοση της φωτιάς φέρει μια εν γένει υψηλή πολυπλοκότητα στον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα επί μέρους συστατικά στοιχεία με αποτέλεσμα αυτήν η πολυπλοκότητα να μεταφέρεται στα εκάστοτε διανυσματικά μοντέλα. Αυτό συχνά οδηγεί σε συστήματα προσομοίωσης με υψηλό υπολογιστικό κόστος, δυσχεραίνοντας την απόδοση λόγω αυξημένης απαίτησης για υπολογιστικούς πόρους, αυξημένων χρόνων αναμονής αποτελέσματος και δυσκολότερου τρόπου χειρισμού και συντήρησης του συστήματος. Υπάρχουν περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα έκτακτα συμβάντα, που απαιτούν μια γρήγορη προσεγγιστική πρόβλεψη για την έγκαιρη αντιμετώπιση του ζητήματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ταχύτητα εκτέλεσης και το υπολογιστικό κόστος του μοντέλου είναι κρίσιμης σημασίας.

Μοντέλα Βασισμένα σε Κ.Α.

Μια εναλλακτική προσέγγιση κατάλληλη για την μοντελοποίηση τοπικών αλληλεπιδράσεων που έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να ανταπεξέλθει στην μοντελοποίηση πολύπλοκων φυσικών φαινομένων όπως αυτό της διάδοσης της φωτιάς είναι η χρήση Κυψελιδωτών Αυτόματων. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των Κ.Α. είναι ότι ως διακριτά συστήματα μπορούν να προσομοιωθούν με ακρίβεια από ψηφιακούς υπολογιστές ενώ η έμφυτή τους παραλληλία επιτρέπει την εκμετάλλευση της αρχιτεκτονικής ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος είτε αυτό εφαρμόζεται σε υπολογιστές κοινόχρηστης μνήμης, Μονάδες Επεξεργασίας Γραφικών



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (GPUs) ή απευθείας σε υλικό, με εφαρμογή, για παράδειγμα, σε συστοιχία επιτόπια προγραμματιζόμενων πυλών (Field Programmable Gate Array, FPGA). Επιπλέον, το γεγονός ότι ο χώρος μοντελοποιείται από την ίδια την διάταξη κάνει πιο εύχρηστη την χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και την ενσωμάτωση τέτοιου είδους δεδομένων για την βέλτιστη αποτύπωση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, σε σύγκριση με τις διανυσματικές προσεγγίσεις.

Μια από τις πρώτες απόπειρες χρήσης Κ.Α. για την μοντελοποίηση της διάδοσης της φωτιάς έγινε από τους Ιωάννης Karafyllidis και Adonios Thanailakis το 1997 η οποία υποστηρίζει ομογενές και ανομοιογενές δασικές περιοχές και μπορεί με ευκολία να εφαρμοστεί για διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες και τοπολογίες εδάφους. Το πρόβλημα που κλήθηκαν να λύσουν ορίζεται ως εξής: Δεδομένου ενός βαθμωτού πεδίου ταχυτήτων $R(x, y)$, το οποίο αποτελεί την κατανομή του ρυθμού διάδοσης της φωτιάς σε κάθε σημείο μιας δασικής περιοχής, το μέτωπο της φωτιάς για μια χρονική στιγμή t_1 , την κατεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου και το ύψος και σχήμα του εδάφους, να προσδιοριστεί το μέτωπο της φωτιάς για μια χρονική στιγμή $t_2 > t_1$. Κατά την προσέγγισή τους, μια δασική έκταση χωρίζεται σε τετραγωνικά κελία και μοντελοποιείται από ένα δισδιάστατο πίνακα, όπου κάθε κελί αποτελεί μια κυψελίδα του Κ.Α. Η γειτονιά που χρησιμοποιείται είναι η γειτονιά Moore (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) και η εσωτερική κατάσταση κάθε κυψελίδας ορίζεται ως εξής:

$$S_{i,j}^t = \frac{A_b}{A_t} \quad (16)$$

όπου:

$S_{i,j}^t$ = Η κατάσταση της κυψελίδας στην θέση (i, j) κατά την χρονική στιγμή t .

A_b = Η επιφάνεια της κυψελίδας που έχει καεί πλήρως (m^2).

A_t = Η συνολική επιφάνεια της κυψελίδας (m^2).

Η κατάσταση μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή που ανήκει στο σύνολο $[0,1]$ και αν τεθεί σε μεγαλύτερες τιμές τότε θα λαμβάνει την τιμή 1. Σε κάθε κυψελίδα αντιστοιχείται ένας ρυθμός διάδοσης φωτιάς R , ο οποίος είναι η τιμή της συνάρτησης $R(x, y)$, που δηλώνει ουσιαστικά τον χρόνο που απαιτείται για να καεί πλήρως η κυψελίδα στην θέση (i, j) .



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ο κανόνας ανανέωσης βασίζεται σε όλες τις κυψελίδες της γειτονιάς, συμπεριλαμβάνοντας και την κυψελίδα αναφοράς. Αν μια κυψελίδα στην θέση (i, j) βρίσκεται στην κατάσταση 0 και μόνο μια πλευρική κυψελίδα έχει καεί πλήρως, τότε αυτή θα καεί μετά από χρόνο t_a που δίνεται από την σχέση:

$$t_a = \frac{a}{R_{i,j}} \quad (17)$$

όπου a (m) είναι το μήκος πλευράς της κυψελίδας και R (m/s) ο ρυθμός διάδοσης της φωτιάς. Στην περίπτωση που μόνο μια γωνιακή κυψελίδα έχει καεί πλήρως, ο αντίστοιχος χρόνος t_a θα είναι:

$$t_a = \frac{\sqrt{2}a}{R_{i,j}} = \sqrt{2}t_a \quad (18)$$

Αν το βήμα της προσομοίωσης, που είναι κοινό για όλες της κυψελίδες, τεθεί ίσο με t_a τότε στην πρώτη περίπτωση μετά από ένα χρονικό βήμα η κυψελίδα θα έχει καεί πλήρως ενώ στην δεύτερη θα έχει καεί κατά 83% σύμφωνα με τις σχέσεις (16) και (18).

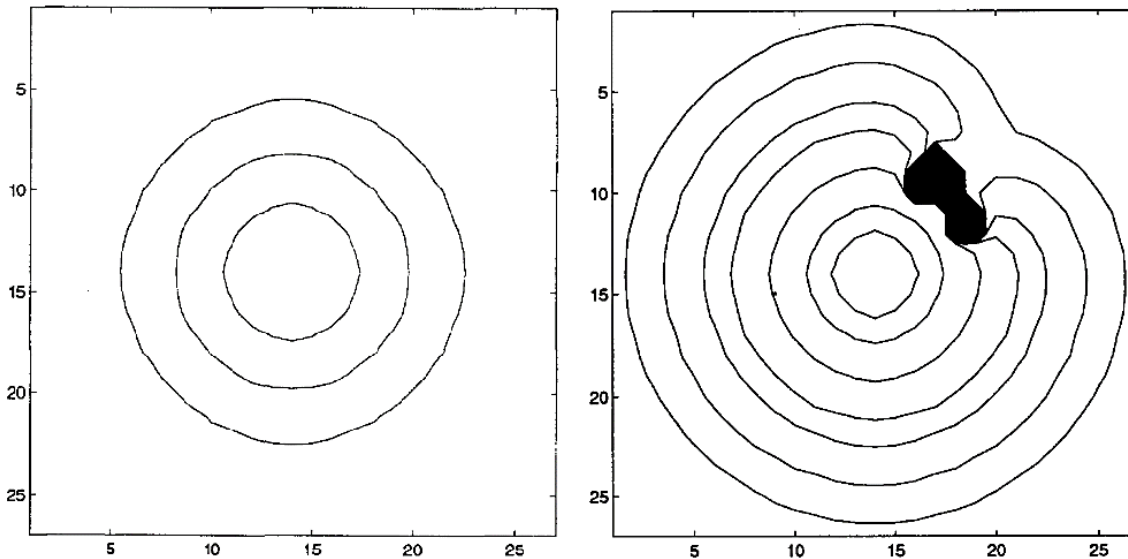
$$S_{i,j}^{t+1} = \frac{a^2 - ((\sqrt{2} - 1)^2 \cdot a^2)}{a^2} = 2 \cdot (\sqrt{2} - 1) \cong 0.83 \quad (19)$$

Έτσι, η βασική θεώρηση του κανόνα ανανέωσης είναι η εξής:

$$S_{i,j}^{t+1} = S_{i,j}^t + (S_{i-1,j}^t + S_{i,j-1}^t + S_{i+1,j}^t + S_{i,j+1}^t) + 0.83 \cdot (S_{i-1,j-1}^t + S_{i-1,j+1}^t + S_{i+1,j-1}^t + S_{i+1,j+1}^t) \quad (20)$$

Για ομοιόμορφο ρυθμό διάδοσης $R(x, y)$ η εφαρμογή της παραπάνω σχέσης παράγει κυκλικά μέτωπα φωτιάς όπως ακριβώς θα αναμενόταν και για το ίδιο το φυσικό φαινόμενο, όπως φαίνεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..** Οι επιπλέον επιδράσεις του ανέμου και της υψομετρικής κλίσης μπορούν με απλό τρόπο να προσαρμοστούν στην παραπάνω θεώρηση, εφαρμόζοντας τους κατάλληλους συντελεστές για καθεμία κυψελίδα της γειτονιάς. Για παράδειγμα, ένας άνεμος από τα δυτικά προς τα ανατολικά μπορεί να μοντελοποιηθεί έχοντας μεγαλύτερο βάρος στις δυτικές κυψελίδες της γειτονιάς και μικρότερο στις ανατολικές (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**). Όμοια, για την υψομετρική διαφορά μπορεί να εφαρμοστεί ένας συντελεστής ανάλογος με την υψομετρική διαφορά της κυψελίδας αναφοράς και της γειτονικής κυψελίδας που εξετάζεται, ώστε μια κυψελίδα να επηρεάζεται

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης περισσότερο από κυψελίδες που βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο, κάνοντας έτσι την διάδοση φωτιάς ταχύτερη προς την κατεύθυνση υψηλότερου υψομέτρου. Ο συνολικός κανόνας ανανέωσης, θεωρώντας ότι η αρίθμηση των κυψελίδων ξεκινάει από την πάνω αριστερή γωνία του πίνακα, ορίζεται ως εξής:



Σχήμα 18. Γραφήματα/αποτελέσματα προσομοίωσης διάδοσης φωτιάς ***H*** πηγή που καθορίστηκε δεν είναι έγκυρη.. Διαδοχικά μέτωπα φωτιάς για ομογενές περιβάλλον χωρίς άνεμο, στα αριστερά, και παρόμοια με επιπλέον μια περιοχή που θεωρείται μη εύφλεκτη, στα δεξιά. Οι μη εύφλεκτες περιοχές θεωρείται ότι έχουν ρυθμό διάδοσης ίσο με το μηδέν.

$$\begin{aligned}
 S_{i,j}^{t+1} = & S_{i,j}^t + (n \cdot H_{i-1,j} \cdot S_{i-1,j}^t + w \cdot H_{i,j-1} \cdot S_{i,j-1}^t \\
 & + s \cdot H_{i+1,j} \cdot S_{i+1,j}^t + e \cdot H_{i,j+1} \cdot S_{i,j+1}^t) \\
 & + 0.83 \cdot (nw \cdot H_{i-1,j-1} \cdot S_{i-1,j-1}^t + ne \cdot H_{i-1,j+1} \cdot S_{i-1,j+1}^t \\
 & + sw \cdot H_{i+1,j-1} \cdot S_{i+1,j-1}^t + se \cdot H_{i+1,j+1} \cdot S_{i+1,j+1}^t)
 \end{aligned} \tag{21}$$

όπου:

$H_{k,l} = f(h_{i,j} - h_{k,l})$, συνάρτηση της διαφοράς του υψομέτρου μεταξύ της κυψελίδας αναφοράς στην θέση (i, j) και της γειτονικής κυψελίδας στην θέση (k, l) .

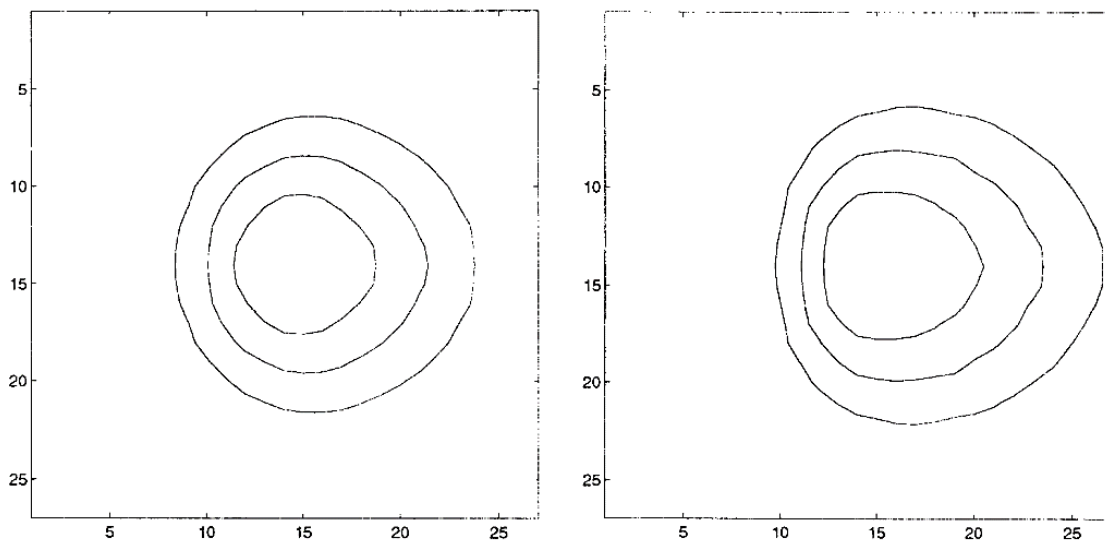


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$h(x, y)$ = Ένας πίνακας που περιέχει την πληροφορία για το υψόμετρο κάθε κυψελίδα.

n, w, s, e = Συντελεστές για την κατεύθυνση του ανέμου των πλευρικών κυψελίδων.

nw, ne, sw, se = Συντελεστές για την κατεύθυνση του ανέμου των γωνιακών κυψελίδων.



Σχήμα 19. Γραφήματα/αποτελέσματα προσομοίωσης διάδοσης φωτιάς **Η πηγή που καθορίστηκε δεν είναι έγκυρη.** Διαδοχικά μέτωπα φωτιάς για ομογενές περιβάλλον με την επιπλέον επίδραση του ανέμου, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, για ήπιο άνεμο στα αριστερά, και πιο δυνατό στα δεξιά.

Το μοντέλο αυτό αξιολογήθηκε σε σενάρια υποθετικών δασικών περιοχών και έδειξε να συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με τον τρόπο διάδοσης της φωτιάς σε πραγματικά σενάρια, θέτοντας έτσι μια αρχική θεωρητική βάση για την ανάπτυξη περαιτέρω αλγορίθμων.

Το 2001 οι S. Bejzak και J. Hearne παρουσίασαν ένα μοντέλο για την πρόβλεψη της διάδοσης φωτιάς σε περιβάλλον σαβάνας, εμπνευσμένο από το μοντέλο του Rothermel και την πρόταση του I. Karafyllidis που παρουσιάστηκε. Στην θεώρησή τους, ο ρυθμός διάδοσης που συζητήθηκε παραπάνω εξάγεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης όπως ορίστηκαν από τις εξισώσεις του Rothermel και προσαρμόζεται ενσωματώνοντας τους παράγοντες ανέμου και υψομετρικής κλίσης. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψιν το γεγονός ότι σε ένα πραγματικό ετερογενές περιβάλλον δεν είναι εφικτή η διάδοση φωτιάς μεταξύ όλων των καύσιμων υλών. Για παράδειγμα, είναι πιθανό η ένταση της φωτιάς που εξελίσσεται σε ένα λιβάδι να μην είναι αρκετή ώστε να διαδοθεί σε μια δασική περιοχή.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
Στο μοντέλο τους, η κατάσταση μιας κυψελίδας για μια χρονική στιγμή t ορίζεται ως μια συνάρτηση των θερμικών χαρακτηριστικών του κελιού την συγκεκριμένη χρονική στιγμή ως εξής:

$$S_{i,j}^t = f\left(\frac{H_t}{H_0}, t\right) \quad (22)$$

όπου το H_t είναι η συνολική θερμότητα που έλαβε από την φωτιά κατά την χρονική στιγμή t , και H_0 είναι η συνολική θερμότητα που απαιτείται για την ανάφλεξη μιας άκαυτης κυψελίδας. Η κατάσταση μιας κυψελίδας παίρνει τιμές που ανήκουν στο σύνολο $[0,1]$ και θεωρείται ότι συμβαίνει ανάφλεξη όταν $H_t = H_0$, όπου η κατάσταση παίρνει την τιμή 1. Επίσης, ορίζεται ένας δείκτης που εκφράζει την ικανότητα διάδοσης φωτιάς από μια καύσιμη ύλη σε μια άλλη. Σε αυτήν την περίπτωση, η φωτιά θα διαδοθεί αν η θερμότητα που λαμβάνει η άκαυτη ύλη μπροστά από το μέτωπο είναι ικανή να της προκαλέσει ανάφλεξη.

$$CI = \frac{(H_c)_\alpha}{(H_0)_\beta} \quad (23)$$

$$\eta_f = \begin{cases} 1, & CI \geq 1 \\ 0, & CI < 1 \end{cases} \quad (24)$$

όπου το $(H_c)_\alpha$ αναπαριστά την θερμότητα που παράγεται από το υλικό α που φτάνει την άκαυτη ύλη και το $(H_0)_\beta$ αναπαριστά την συνολική θερμότητα που απαιτείται για να αναφλεγεί το υλικό β . Με αυτήν την θεώρηση, δημιουργείται ένας συντελεστής η_f ο οποίος επιτρέπει την διάδοση της φωτιάς μεταξύ δυο υλικών αν ο δείκτης CI είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας ή την αποτρέπει αντίθετα. Συνολικά, η γενική σχέση που περιγράφει τους συντελεστές διάδοσης της φωτιάς από μια κυψελίδα (i, j) προς μια γειτονική κυψελίδα (k, l) εκφράζεται ως εξής:

$$\tilde{R}_{i,j} = R_0 \cdot \exp\left(0.0693 \cdot (\theta_s)_{k,l} + (\beta \cdot \theta_f)_{k,l}\right) \cdot (\eta_f)_{k,l} \quad (25)$$

όπου:

$\tilde{R}_{i,j}$ Ένα διάνυσμα 8 θέσεων που προσδιορίζει τον ρυθμό διάδοσης της φωτιάς από την κυψελίδα (i, j) προς κάθε μια από τις γειτονικές κυψελίδες (k, l) , με γειτονιά Moore.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$R_0 = 0$ ο ρυθμός διάδοσης της φωτιάς της κυψελίδας (i, j) για ομοιόμορφη καύσιμη ύλη και απουσία ανέμου και υψομετρικής κλίσης, όπως εξάγεται από τις εξισώσεις Rothermel.

$(\theta_s)_{k,l}$ = Η γωνία της κλίσης λόγω διαφοράς υψομέτρου σε μοίρες.

$(\theta_f)_{k,l}$ = Η γωνία της φλόγας που επηρεάζεται από την παρουσία ανέμου και υπολογίζεται από το επίπεδο προς την κατεύθυνση διάδοσης της φωτιάς, σε μοίρες.

β = Ρυθμιστικός παράγοντας για την επίδραση της γωνίας της φλόγας.

$(\eta_f)_{k,l}$ = Συντελεστής σύμφωνα με την Σχέση (24), για την διάδοση της φωτιάς από την κυψελίδα (i, j) στην (k, l) .

Βάση της παραπάνω θεώρησης, ο κανόνας ανανέωσης θα είναι μια συνάρτηση της κατάστασης της κυψελίδας και του ρυθμού διάδοσης των γειτονικών κυψελίδων ως εξής:

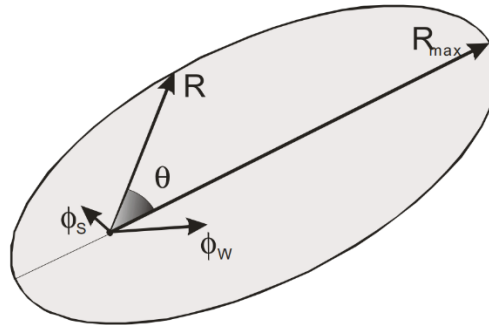
$$S_{i,j}^{t+1} = f(S_{i,j}^t, R_{i-1,j-1}^t, R_{i-1,j}^t, R_{i-1,j+1}^t, R_{i,j-1}^t, R_{i,j+1}^t, R_{i+1,j-1}^t, R_{i+1,j}^t, R_{i+1,j+1}^t) \quad (26)$$

όπου οι κυψελίδες που δεν βρίσκονται υπό καύση ή έχουνε καεί πλήρως έχουνε ρυθμό διάδοσης $R_{k,l}^t = 0$ και συνεπώς δεν έχουνε επιρροή στην κατάσταση της κυψελίδας (i, j) , ενώ για τις υπόλοιπες ο ρυθμός διάδοσης υπολογίζεται για την εκάστοτε κατεύθυνση σύμφωνα με την Σχέση (25).

Ενώ όλες οι παραπάνω μέθοδοι υποθέτουν κυψελίδες τετραγωνικού σχήματος, το 2004 ο G. Trunfio παρουσίασε ένα μοντέλο που δημιουργήθηκε έχοντας ως βάση κυψελίδες εξαγωνικού σχήματος, αποφεύγοντας έτσι ορισμένες ασυμμετρίες που προκαλούνταν από το τετραγωνικό σχήμα σε συνδυασμό με την κυκλικής μορφής διάδοση της φωτιάς (στην βασική περίπτωση). Η πρόταση του αφορά τον υπολογισμό ενός μέγιστου ρυθμού διάδοσης για κάθε κυψελίδα, που συμφωνεί με τις εξισώσεις του Rothermel, και την προσαρμογή του, ανάλογα με την κατεύθυνση της κλίσης του εδάφους και του ανέμου, θεωρώντας σχήμα έλλειψης όπως απεικονίζεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** 20. Συνοπτικά, ο μηχανισμός διάδοσης της φωτιάς δηλώνει ότι κάθε κυψελίδα υπό καύση παράγει μια έλλειψη με κέντρο την κυψελίδα αναφοράς, η οποία προσαρμόζεται όπως αναφέρθηκε, και στη συνέχεια αν μια γειτονική κυψελίδα που είναι ικανή για καύση βρίσκεται μέσα στην έλλειψη τότε αυτή θα καεί στα επόμενα βήματα.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 20. Εικόνα από την δημοσίευση του Trunfio. R_{max} είναι η μέγιστη τιμή του ρυθμού διάδοσης, ϕ_s είναι ο συντελεστής της υψομετρικής κλίσης, ϕ_w ο συντελεστής του ανέμου και R το μέτρο και η κατεύθυνση του τελικού ρυθμού διάδοσης της φωτιάς ο οποίος εξαρτάται και από την ταχύτητα του ανέμου.

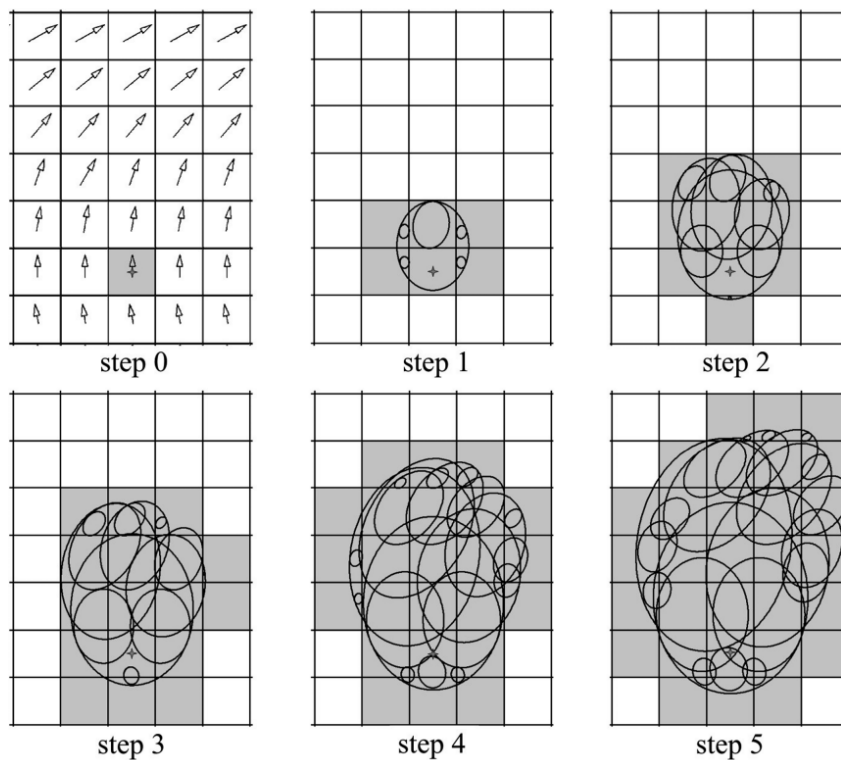
Το μοντέλο καλύπτει ένα μεγάλο εύρος χαρακτηριστικών που επιδρούν στην διάδοση της φωτιάς, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία ενός υλικού καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αυτά μεταβάλλονται κατά την διάρκεια της ημέρας, ανάλογα την εποχή στην οποία προσομοιώνεται η εξέλιξη του μοντέλου. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψιν οι καιρικές συνθήκες και η ηλιοφάνεια κατά την εξέλιξη όπως επίσης και οι παρεμβάσεις πυροσβεστικών σωμάτων, παρέχοντας έτσι μια πιο δυναμική προσέγγιση στο πρόβλημα που είναι ικανή να παράγει αξιοσημείωτα αποτελέσματα.

Σε όμοια πλαίσια αλλά με αναθεωρημένη λογική, ο G. Trunfio και άλλοι παρουσίασαν το 2011 ένα καινοτόμο αλγόριθμο, βασισμένο στο μοντέλο της έλλειψης, για την προσομοίωση της διάδοσης της φωτιάς, επιχειρώντας να ξεπεράσουν μερικούς περιορισμούς που εισάγουν τα μοντέλα που βασίζονται σε Κ.Α. Συγκεκριμένα, η βασική ιδέα είναι να επιτρέπονται κατευθύνσεις διάδοσης που δεν περιορίζονται στις μερικές γωνίες που επιβάλλονται από το πλέγμα κυψελίδων, το σχήμα τους και το μέγεθος της γειτονιάς. Αυτό το πετυχαίνουν χαλαρώνοντας την υπόθεση της ανάφλεξης από σημείο σε σημείο, η οποία χαρακτηρίζει την πλειοψηφία των μοντέλων που αφορούν Κ.Α. Αντίθετα, στην μέθοδο που παρουσίασαν η πηγή της φωτιάς κάθε υπό καύση κυψελίδα δεν καταλαμβάνει μια προκαθορισμένη θέση και επομένως έχει μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).

Το Κ.Α. στο οποίο εφαρμόστηκε η ιδέα τους αποτελείται από τετραγωνικές κυψελίδες και μπορεί να παράγει υψηλά επίπεδα ακρίβειας ακόμη και με μικρή γειτονιά, ωστόσο για περεταίρω βελτίωση μπορεί να αξιοποιήσει και γειτονιά μεγαλύτερου μεγέθους. Οι δοκιμές για την απόδοση έγιναν για ομοιογενές και ετερογενές περιβάλλον σε σύγκριση με την απόδοση μιας διαφορετικής μεθόδου που βασίζεται στα Κ.Α. αλλά και με το διανυσματικό μοντέλο FARSITE. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μοντέλο παρέχει καλύτερη



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης απόδοση από το αντίστοιχο μοντέλο Κ.Α. με σχετικά μικρό υπολογιστικό κόστος, ενώ παράγει καμένες εκτάσεις πρακτικά ισοδύναμες με το διανυσματικό μοντέλο χρησιμοποιώντας σημαντικά λιγότερους υπολογιστικούς πόρους. Επίσης, η επιπλέον επιτάχυνση της εκτέλεσης είναι εφικτή μέσω της εφαρμογής Γενικού Σκοπού Υπολογισμών με χρήση Μονάδων Επεξεργασίας Γραφικών (GPGPU).



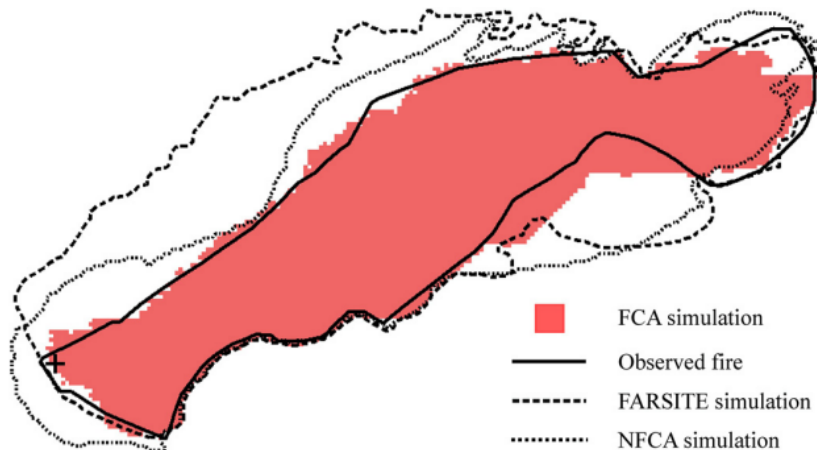
Σχήμα 21. Σχήμα από δημοσίευση του Trunfio. Η εξέλιξη του μοντέλου για ετερογενείς συνθήκες. Στο σχήμα με την ετικέτα 'step 0' δίνεται η ένταση και η κατεύθυνση του ανέμου για κάθε κυψελίδα, που θεωρείται σταθερή στον χρόνο. Έπειτα οι σκούρες κυψελίδες αναπαριστούν την καμένη περιοχή.

Το 2017 ο V. Ntinis και άλλοι παρουσίασαν ένα μοντέλο που βασίζεται σε δισδιάστατα Κ.Α. με την επιπλέον χρήση ασαφής λογικής για την έκβαση του κανόνα ανανέωσης. Η ιδέα τους βασίζεται στο γεγονός ότι η πρόβλεψη της διάδοσης φωτιάς αναπόφευκτα θα επιτυγχάνεται ως ένα βαθμό σε σύγκριση με το πραγματικό φαινόμενο, λόγω διάφορων σφαλμάτων. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται στο γεγονός ότι η θεωρητική βάση που χρησιμοποιείται είναι εξ ορισμού προσεγγιστική, η τμηματοποίηση του χώρου και του χρόνου εισάγει αναπόφευκτα σφάλματα και οι είσοδοι των μοντέλων προσομοίωσης, συχνά μπορεί να παρουσιάζουν ανακρίβειες ή ασάφειες. Η ενσωματωμένη ασάφεια του μοντέλου επιτρέπει να γίνονται λιγότερες υποθέσεις στις παραμέτρους της φωτιάς και του περιβάλλοντος και έχει στόχο την αποτύπωση της κύριας διαδικασίας,



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης αγνοώντας τους ακριβείς μηχανισμούς του φαινομένου, οι οποίοι καλύπτονται από τον αντίστοιχο ασαφή μηχανισμό.

Τα αποτελέσματα που παρείχε το μοντέλο είναι αρκετά ευνοϊκά, συγκρινόμενα με το πραγματικό φαινόμενο αλλά και με τα αποτελέσματα άλλων μοντέλων για τον ίδιο σκοπό, όπως φαίνεται σε στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..** Εν μέρη αυτή η ακρίβεια είναι εφικτή μέσω ενός γενετικού αλγορίθμου που αξιοποιεί γνώση από πραγματικές πυρκαγιές, ώστε να προσαρμόσει κατάλληλα τους παράγοντες της εκάστοτε εκτέλεσης, για την μεγιστοποίηση της ακρίβειας. Επιπλέον, για να επιτευχθεί πρόβλεψη σε πραγματικό χρόνο, πρότειναν την παράλληλη υλοποίηση του μοντέλου τόσο σε λογισμικό όσο και σε υλικό για την βέλτιστη δυνατή απόδοση, πετυχαίνοντας εξαιρετικά χαμηλούς χρόνους εκτέλεσης.



Σχήμα 22. Σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου FCA με άλλα μοντέλα και με το πραγματικό φαινόμενο.

3.3. Πειραματική μελέτη και αποτελέσματα

Προτεινόμενο μοντέλο Κ.Α. εκκένωσης χώρων

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται εκτενής περιγραφή και ανάλυση του προτεινόμενου μοντέλου. Το μοντέλο αυτό αποσκοπεί στη μελέτη και την κατανόηση της κίνησης και της συμπεριφοράς του πλήθους κατά τη διάρκεια εκκένωσης χώρων. Ο στόχος είναι να γίνει αναφορά και αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των καινοτομιών του, καθώς επίσης και των δυνατοτήτων που παρέχει στον χρήστη. Παρατίθενται όλες οι βασικές αρχές του μοντέλου σε επίπεδο Κ.Α., καθώς επίσης, τεχνικές και αλγόριθμοι πάνω στους οποίους βασίζεται η λειτουργία του. Το κείμενο συνοδεύεται από αντιπροσωπευτικές εικόνες, ενώ παράλληλα γίνεται



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης συσχετισμός με ρεαλιστικές καταστάσεις για την ευκολότερη κατανόηση των περιγραφόμενων. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα προσομοίωσης όπου απεικονίζονται ποικίλες περιπτώσεις κτιρίων και ατόμων που συμμετέχουν στις εκκενώσεις τους.

Το προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται στα Κ.Α., υιοθετώντας τις αρχές λειτουργίας τους και παράλληλα επεκτείνει το εύρος και τις δυνατότητές του πέρα από αυτές. Το μοντέλο αυτό έχει πρόσθετα - διευρυμένα χαρακτηριστικά από αυτά των κλασικών Κ.Α. και υποστηρίζει μεγαλύτερο εύρος ενεργειών, όπως την αλληλοεπίδραση των ατόμων που συμμετέχουν στις προσομοιώσεις. Υποστηρίζει ένα ετερογενές μοντέλο υπολογισμών, καθώς τα άτομα είναι πλήρως διακριτά και έχουν τη δική τους ταυτότητα. Πιο συγκεκριμένα δύναται ο κάθε άνθρωπος να έχει τους δικούς του στόχους, να υπολογίζει ανεξάρτητα τη διαδρομή που θα ακολουθήσει, ενώ επίσης, συνοδεύεται από μια πληθώρα χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων. Κατά την υλοποίηση του μοντέλου ακολουθήθηκε μια ρεαλιστική προσέγγιση των κινήσεων και συμπεριφορών των ατόμων που παίρνουν μέρος στις προσομοιώσεις. Κατά συνέπεια απεικονίστηκαν άνθρωποι που έχουν τη δυνατότητα να δρουν αυτόνομα ή ακόμα και να επηρεάζονται από άλλους ανθρώπους και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Έχουν δική τους προσωπικότητα και αντίληψη του χώρου, μπορεί να ανήκουν σε μια ομάδα ατόμων, να συνδέονται με άλλους ανθρώπους με ισχυρούς ή ασθενείς δεσμούς και να λαμβάνουν αποφάσεις με τον δικό τους ξεχωριστό τρόπο. Ακόμα σε κάθε χρονική στιγμή αντιλαμβάνονται πλήρως τις συνθήκες που επικρατούν στον χώρο γύρω τους και αλληλοεπιδρούν με αυτές. Το μοντέλο παρέχει από πολλές απόψεις δυνατότητα τυχαιότητας σε κάθε πείραμα, με κυρίαρχη αυτή της σειράς με την οποία οι άνθρωποι λαμβάνουν αποφάσεις και εκτελούν ενέργειες κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Παράλληλα, το μοντέλο χαρακτηρίζεται από ποικίλες καινοτομίες, με δεσπόζουσα αυτή του δυναμικού πλέγματος ή αλλιώς της δυναμικής μεταβολής του μεγέθους των κυψελίδων κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων βάσει των συνθηκών που επικρατούν στο χώρο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκκένωσης. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα σχεδιασμού και υλοποίησης πολυμορφικών χώρων για την διεξαγωγή πειραμάτων, και πολλές άλλες δυνατότητες που παρουσιάζονται εκτενέστερα και αναλυτικότερα στις παραγράφους που ακολουθούν.

Περιγραφή μοντέλου

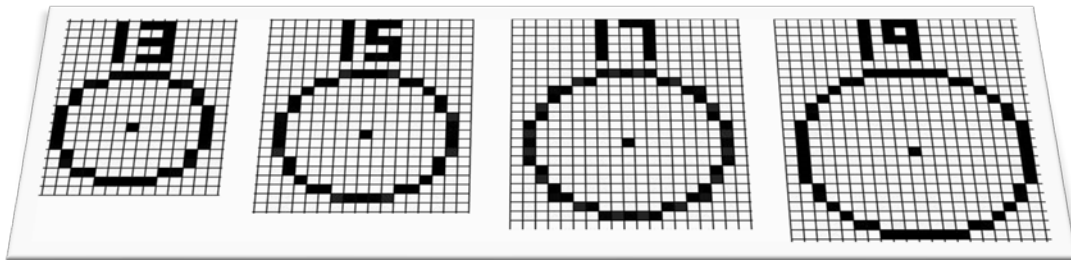
Οι κυψελίδες που χρησιμοποιούνται στο περιγραφόμενο μοντέλο φέρουν διακριτά χαρακτηριστικά που τις καθιστούν κατά κάποιον τρόπο διαφορετικές μεταξύ τους. Η κάθε μια από αυτές χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες ιδιότητες. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες εμφανίζονται σε όλες τις κυψελίδες, με διαφορετικές τιμές και μεγέθη, ενώ άλλα είναι τέτοια, που εμφανίζονται αποκλειστικά και μόνο σε συγκεκριμένες.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Γεωμετρικό σχήμα – μεγέθη των Κ.Α.

Δύο από τα χαρακτηριστικά που μοιράζονται οι κυψελίδες είναι το γεωμετρικό σχήμα και το μέγεθος. Το γεωμετρικό σχήμα είναι ένας κατά προσέγγιση κύκλος ενώ τα μεγέθη ποικίλουν. Αριθμούνται σε πέντε, τέσσερα βασικά και ένα ακόμα επιπλέον. Αρχικά, οι κυψελίδες μπορούν να έχουν μόνο ένα από τα τέσσερα βασικά μεγέθη, τα οποία διακρίνονται σε κύκλους με ακτίνες των 6, 7, 8 και 9 pixels κατά την απεικόνισή τους. Το επιπλέον μέγεθος είναι ένας κύκλος ακτίνας 5 pixels και χρησιμοποιείται μόνο κατά τη συμπίεση. Η κυψελίδα με ακτίνα 9 pixels θεωρούμε ότι καταλαμβάνει στο χώρο εμβαδό μεγέθους $0,4 \times 0,4 \text{ m}^2$. Αξίζει να σημειωθεί πως το μέγεθος των κυψελίδων δεν είναι στατικό αλλά μεταβάλλεται δυναμικά στο χώρο σε συνθήκες συμπίεσης.



Σχήμα 23. Τα τέσσερα βασικά μεγέθη κυψελίδων κατά την απεικόνισή τους, συνοδευόμενα με το μήκος της διαμέτρου τους

Κατάσταση των Κ.Α. και του πλέγματος

Το βασικότερο στοιχείο που χαρακτηρίζει μια κυψελίδα ή ένα κομμάτι του πλέγματος είναι η κατάστασή τους. Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται μία κυψελίδα δηλώνει τι υπάρχει στο συγκεκριμένο σημείο, όπως κάποιο εμπόδιο, άνθρωπος, κολώνα, τοίχος, έξοδος ή απλά ελεύθερος χώρος. Η κατάσταση κάθε κυψελίδας είναι συγκεκριμένη για κάθε χρονική στιγμή t , και είναι δυνατό να αλλάζει μετά από κάθε χρονικό βήμα, στις χρονικές στιγμές $t+1$, $t+2$, ..., $t+n$. Στο παρόν μοντέλο, χρησιμοποιούνται ξεχωριστές και μοναδικές καταστάσεις που αντιπροσωπεύουν: τον ελεύθερο χώρο, τους τοίχους, τις κολώνες, τα κεκλιμένα επίπεδα και τους ανθρώπους. Κάθε κυψελίδα αντιπροσωπεύει ένα στοιχείο του Κ.Α. πλέγματος, και μπορεί να περιλαμβάνει π.χ. έναν άνθρωπο ή κάποιο εμπόδιο.

Όλες οι καταστάσεις αντιπροσωπεύουν αποκλειστικά την ύπαρξη των προαναφερθέντων στοιχείων που τοποθετούνται στο πλέγμα εκτός από αυτή των ανθρώπων, η οποία πέραν του ότι δηλώνει ότι ένα συγκεκριμένο κομμάτι του πλέγματος καταλαμβάνεται από άνθρωπο, καταδεικνύει και την ταυτότητα του



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε ένα σύνολο γνωστών καταστάσεων οι οποίες μόλις παρατηρηθούν στο πλέγμα δηλώνουν την ύπαρξη ανθρώπου. Ο αριθμός των καταστάσεων που ανήκουν στο σύνολο αυτό είναι ίσος με τον επιθυμητό αριθμό ανθρώπων. Έτσι, μας παρέχεται η δυνατότητα να γνωρίζουμε κάθε χρονική στιγμή t , που βρίσκεται ο κάθε άνθρωπος στην αντίστοιχη κυψελίδα, καθώς επίσης, και να προσδώσουμε στις κυψελίδες αυτές διάφορες ιδιότητες. Απόρροια της χρήσης αυτής της μεθόδου είναι κάθε κυψελίδα να γνωρίζει ποιες κυψελίδες βρίσκονται στα όρια της ή κοντά της, και να αλληλοεπιδρά με αυτές λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητές τους. Αυτό είναι ακόμα ένα στοιχείο που συμβάλει στη ρεαλιστικότητα του μοντέλου, αφού κάθε κυψελίδα έχει την αίσθηση του γύρω χώρου της, και κατά συνέπεια κάθε άνθρωπος που αναπαρίσταται από την αντίστοιχη κυψελίδα στην προσομοίωση αντιλαμβάνεται τα γεγονότα που εκτυλίσσονται γύρω του.

Ενώ οι υπόλοιπες καταστάσεις είναι μη μεταβλητές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης η κατάσταση που αντιπροσωπεύει ανθρώπους προφανώς δύναται να αλλάξει. Έτσι στην περίπτωση όπου ένας άνθρωπος εξέλθει του κτιρίου, η αντίστοιχη κυψελίδα λαμβάνει τη μηδενική κατάσταση, δηλαδή την κατάσταση που δηλώνει ελεύθερο χώρο. Επίσης, όταν ένας άνθρωπος τεθεί σε ακινησία λόγω τραυματισμού ή θανάτου η αντίστοιχη κυψελίδα λαμβάνει μια διαφορετική κατάσταση που δηλώνει το γεγονός αυτό.

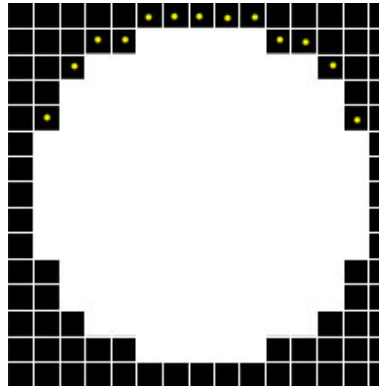
Γειτονιά των Κ.Α.

Η γειτονιά είναι παρόμοια με αυτή του Moore. Απεικονιστικά αποτελείται από οχτώ ομάδες pixel οι οποίες βρίσκονται κοντά στα όρια της κυψελίδας. Παρόμοια με τη γειτονιά του Moore, οι ομάδες αυτές βρίσκονται σε σχέση με την κυψελίδα, αριστερά, πάνω, δεξιά, κάτω, καθώς επίσης και στις διαγώνιες κατευθύνσεις, αριστερά – πάνω, δεξιά – πάνω, αριστερά – κάτω, δεξιά – κάτω. Όταν αναφερόμαστε σε μια ομάδα, αναφερόμαστε ουσιαστικά σε όλα τα pixels που την αποτελούν.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα στο οποίο απεικονίζεται η πάνω γειτονιά μιας κυψελίδας (Σχήμα 21). Η γειτονιά απεικονίζεται από τα μαρκαρισμένα με κίτρινο χρώμα pixel.

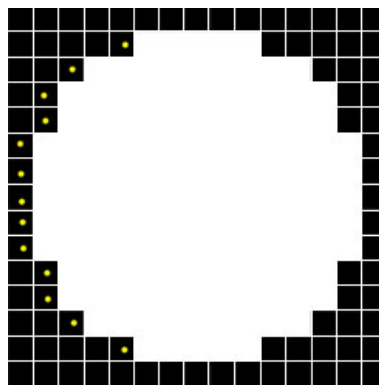


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



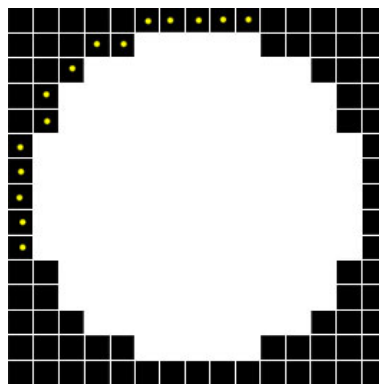
Σχήμα 24. Η πάνω γειτονιά μιας κυψελίδας μαρκαρισμένη με κίτρινο χρώμα

Οι γειτονιές που βρίσκονται αριστερά, δεξιά και κάτω είναι παρόμοιες με την εικονιζόμενη. Παραδείγματος χάριν η αριστερή γειτονιά θα είναι ως εξής (Σχήμα 25):



Σχήμα 25. Η αριστερή γειτονιά της κυψελίδας μαρκαρισμένη με κίτρινο χρώμα

Επίσης, οι διαγώνιες γειτονιές έχουν παρόμοια δομή μεταξύ τους (Σχήμα 26).



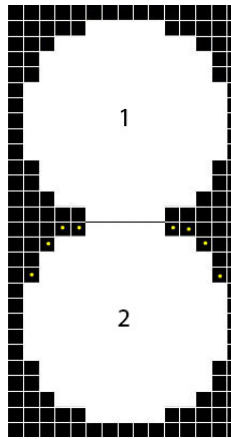
Σχήμα 26. Η αριστερά – πάνω γειτονιά της κυψελίδας μαρκαρισμένη με κίτρινο χρώμα



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

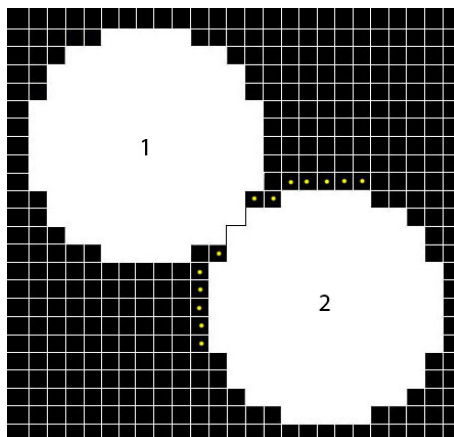
Σε κάθε χρονικό βήμα η κυψελίδα είναι δυνατό να αλληλοεπιδράσει με μια από τις οχτώ γειτονικές κυψελίδες, ή με ένα συνδυασμό αυτών, ή με όλες. Σε κάθε περίπτωση που αλληλοεπιδρά με μια γειτονιά, ελέγχεται η κατάσταση της τελευταίας. Όταν γίνεται έλεγχος για τον προσδιορισμό της κατάστασης μιας γειτονιάς, ουσιαστικά ελέγχονται όλα τα pixels που ανήκουν στη συγκεκριμένη ομάδα.

Μια κυψελίδα λοιπόν, για να ανήκει σε μια συγκεκριμένη γειτονιά μιας άλλης, θα πρέπει κάποιο μέρος της να βρίσκεται σε μέρος του πλέγματος, όπου ορίζεται η γειτονιά της επιθυμητής κυψελίδας. Στο Σχήμα 27 βλέπουμε δύο κυψελίδες, με την κυψελίδα “1” να βρίσκεται στην πάνω γειτονιά της “2”.



Σχήμα 27. Απεικόνιση δύο γειτονικών κυψελίδων, με την “1” να βρίσκεται στην πάνω γειτονιά της “2”

Ενώ στο Σχήμα 28 απεικονίζονται δύο γειτονικές κυψελίδες, με την “1” να βρίσκεται στην πάνω – αριστερά γειτονιά της “2”.

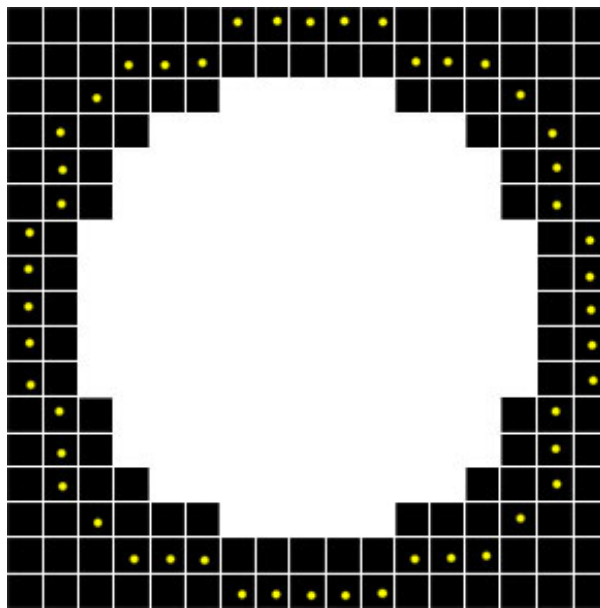


Σχήμα 28. Απεικόνιση δύο γειτονικών κυψελίδων, με την “1” να βρίσκεται στην πάνω - αριστερά γειτονιά της “2”



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Επιπρόσθετα των προαναφερθέντων βασικών γειτονιών, υπάρχουν και οι διευρυμένες όπως φαίνεται στο Σχήμα 29. Με τη χρήση διευρυμένης γειτονιάς η κυψελίδα αποκτά πιο ακριβή αίσθηση του χώρου καθώς αντιλαμβάνεται τις καταστάσεις που επικρατούν και πιο μακριά από τα όρια της. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, αυτό συμβάλει στη ρεαλιστικότητα και την ακρίβειά του, αφού στις κυψελίδες τοποθετούνται βάσει των αντιστοιχών καταστάσεων άτομα. Αυτό το είδος γειτονιάς χρησιμοποιείται για να προσομοιωθεί το οπτικό πεδίο που έχει ένας άνθρωπος, το οποίο εκτείνεται αρκετά πιο μακριά από την γύρω περιοχή του. Πιο συγκεκριμένα, στο περιγραφόμενο μοντέλο, ένας άνθρωπος μπορεί να αποφύγει ένα εμπόδιο πριν έρθει σε επαφή μαζί του. Εμπόδιο μπορεί να αποτελεί δυνητικά ένας άλλος άνθρωπος (δυναμικό εμπόδιο) ή μια κολώνα (στατικό εμπόδιο). Ακολούθως, ο άνθρωπος που αναπαρίσταται από τη κυψελίδα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει πέρα από τα όρια του εάν υπάρχει ελεύθερος διαθέσιμος χώρος για να κινηθεί, υιοθετεί στόχους που βρίσκονται μακριά από τα όρια του, όπως μια έξοδος ή ένας άλλος άνθρωπος που ακολουθεί, και έχει την εποπτεία άλλων ατόμων με τα οποία μπορεί να συνδέεται ποικιλοτρόπως, παραδείγματος χάριν όπως συνδέονται ένας γονέας με το παιδί του.



Σχήμα 29. Μια διευρυμένη γειτονιά μιας κυψελίδας μαρκαρισμένη με κίτρινο χρώμα

Ιδιότητες των Κ.Α. του μοντέλου

Οι διαφορετικές και διακριτές καταστάσεις των κυψελίδων που αντιπροσωπεύουν ανθρώπους μας παρέχουν τη δυνατότητα να προσδώσουμε σε αυτές ορισμένες ιδιότητες και να δημιουργήσουμε ρεαλιστικά μοντέλα ανθρώπων.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ο κάθε άνθρωπος, ο οποίος αντιστοιχίζεται στη συγκεκριμένη κυψελίδα που έχει τις δικές της συντεταγμένες στο χώρο, μπορεί να τοποθετηθεί αρχικά αλλά και να κινηθεί στη συνέχεια υιοθετώντας καινούριες συντεταγμένες, οπουδήποτε στο πλέγμα υπάρχει ελεύθερος διαθέσιμος χώρος. Επίσης, έχει τη δική του ταχύτητα με την οποία κινείται, και διαφέρει μεταξύ των υπολοίπων ανθρώπων ευρισκόμενων στις άλλες κυψελίδες. Ακόμα, ο κάθε άνθρωπος έχει το δικό του βάρος, ασκεί διαφορετικό μέγεθος δύναμης προς την κατεύθυνση που είναι προσανατολισμένος, δέχεται δυνάμεις από όλες τις κατευθύνσεις και χαρακτηρίζεται από μια συνισταμένη δύναμη που δέχεται, η οποία έχει μέτρο και διεύθυνση. Σημειώνεται ότι ο άνθρωπος μπορεί να ασκήσει δύναμη προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η δύναμη που ασκείται, μεταδίδεται από τον έναν άνθρωπο στον επόμενο εφόσον βρίσκονται σε επαφή, υφιστάμενη μια εξασθένηση ανάλογη των συνθηκών υπό των οποίων μεταδίδεται. Παράλληλα, ένας άνθρωπος είναι δυνατό να τραυματιστεί ή να πεθάνει και αντιδρά ποικιλοτρόπως σε μια κατάσταση συμφόρησης. Ακόμα, μπορεί να έχει διαφορετική έκταση στο πλέγμα, κάτι που επιτυγχάνεται με τα τέσσερα αρχικά μεγέθη κυψελίδων που αναφέρθηκαν νωρίτερα, να συμπιεστεί κατά τη διάρκεια συμφόρησης και να χάσει μέρος του χώρου που καταλαμβάνει, είναι δυνατόν να έχει δικό του πεδίο και κατεύθυνση όρασης, να αποφύγει εμπόδια και άλλους ανθρώπους και υπολογίζει την απόσταση που τον χωρίζει από τον στόχο του, είτε αυτός είναι μια έξοδος είτε ένας άλλος άνθρωπος. Επιπρόσθετα, ο κάθε άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί κινούμενους στόχους και να «συνδέεται» με άλλους ανθρώπους. Δεδομένου ότι μια έξοδος έχει κάποιο εύρος, κάθε άτομο υιοθετεί συγκεκριμένες συντεταγμένες μέσα από το εύρος της εξόδου σαν στόχο, ανάλογα με το οπτικό πεδίο που έχει, τον ελεύθερο διαθέσιμο χώρο που υπάρχει και την γωνία με την οποία κινείται προς τον στόχο του. Ακόμα, υπολογίζει τις πιθανές διαθέσιμες επιλογές που υπάρχουν από άποψη εξόδων, και υπολογίζοντας την απόστασή του από αυτές καθώς και τις συνθήκες που επικρατούν γύρω του επιλέγει προς τα πού θα κινηθεί. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να κινείται με οποιαδήποτε γωνία στο χώρο σε σχέση με το στόχο του, να γνωρίζει πόσα χρονικά βήματα έχει παραμείνει σε ακινησία, με ποιους ανθρώπους βρίσκεται σε επαφή και αν είναι σε επαφή με τοίχο. Σε κάθε χρονική στιγμή t της προσομοίωσης, γνωρίζουμε για κάθε κυψελίδα ποιες από αυτές τις ιδιότητες φέρει.

Είναι φανερό πως μια κυψελίδα είναι δυνατό να χαρακτηρίζεται από έναν μεγάλο αριθμό ιδιοτήτων. Έτσι, μια κυψελίδα μπορεί να παραμετροποιηθεί ώστε να αναπαριστά το φύλο του ανθρώπου, έναν άντρα ή μια γυναίκα, να αντιπροσωπεύει έναν γονιό ή το παιδί του, φίλους ή ανθρώπους που συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο είδος σχέσης, άτομα με ειδικές ανάγκες και ανθρώπους που σε καταστάσεις συμφόρησης επηρεάζονται σημαντικά από ψυχολογικούς παράγοντες. Επιπλέον, είναι εφικτό να αναπαρασταθούν άνθρωποι με διαφορετική ηλικία, φυσική κατάσταση, ταχύτητα αντίδρασης και λήψης αποφάσεων.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανόνες Μοντέλου

Στο περιγραφόμενο μοντέλο συναντάται ένας αριθμός διαφορετικών τύπων κανόνων, οι οποίοι αφορούν την κίνηση των ανθρώπων, την αλληλοεπίδραση μεταξύ τους, την αποφυγή εμποδίων, τον προσδιορισμό των στόχων, το είδος συμπίεσης που υφίστανται, τα είδη συμφόρησης, τις μεθόδους αποσυμφόρησης και αρκετά ακόμα που θα αναλυθούν αμέσως παρακάτω. Οι κανόνες αυτοί είναι απαραίτητοι και αναπόσπαστο κομμάτι του μοντέλου, αφού εξασφαλίζουν τον τρόπο λειτουργίας του, την ομαλή λειτουργία του, την δυνατότητα παραμετροποίησης του και προσομοίωσης πραγματικών καταστάσεων και συνθηκών.

Κανόνες κίνησης

Το πλέγμα που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του μοντέλου αποτελείται από pixels, τα οποία έχουν τετράγωνο σχήμα. Ουσιαστικά, είναι ισοδύναμο με ένα δυσδιάστατο πίνακα, τα κελιά του οποίου είναι τα pixels, και μπορούν να έχουν μια συγκεκριμένη τιμή κάθε χρονική στιγμή. Η τετραγωνική γεωμετρική διάταξη του πλέγματος επιτρέπει σε έναν άνθρωπο ευρισκόμενο σε μία κυψελίδα να κινηθεί μόνο σε 8 κατευθύνσεις, αριστερά, πάνω, δεξιά, κάτω, και στις διαγώνιες αριστερά – πάνω, δεξιά – πάνω, αριστερά – κάτω και δεξιά – κάτω, ή να παραμείνει ακίνητος.

Πριν από κάθε κίνηση του ανθρώπου γίνεται έλεγχος της γειτονιάς, στην κατεύθυνση της οποίας σκοπεύει να κινηθεί. Ελέγχεται η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή t όλα τα pixel που ανήκουν σε αυτή τη γειτονιά. Σε περίπτωση που όλα αυτά τα pixels βρίσκονται σε κατάσταση, η οποία δηλώνει ελεύθερο χώρο, ο άνθρωπος κινείται προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Από την άλλη, αν ένα από αυτά τα pixels δεν βρίσκεται σε κατάσταση που αναπαριστά τον ελεύθερο χώρο, ο άνθρωπος δεν μπορεί να κινηθεί προς αυτήν την περιοχή.

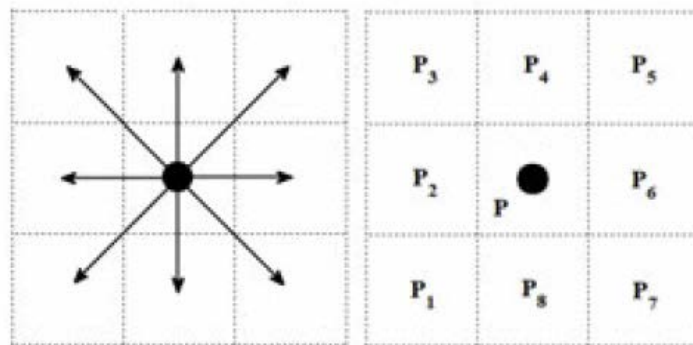
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι κυψελίδες που αναπαριστούν ανθρώπους έχουν μια έκταση μεγαλύτερη του ενός pixel στο πλέγμα απεικόνισης του μοντέλου. Για το λόγο αυτό, όταν αναφερόμαστε στη θέση ή την κίνηση ενός ανθρώπου, αναφερόμαστε στο κέντρο μάζας της κυψελίδας που τον αναπαριστά, που είναι το κεντρικό pixel της εκάστοτε καταλαμβανόμενης κυψελίδας. Σε κάθε χρονική στιγμή t , υπολογίζεται η απόσταση του ανθρώπου από τον στόχο του, καθώς επίσης και οι αποστάσεις που θα έχει από τον στόχο αν κινηθεί σε μια από τις οχτώ διαθέσιμες κατευθύνσεις. Αρχικά, οι αποστάσεις αυτές ταξινομούνται με κριτήριο το μικρότερο μήκος, και στη συνέχεια επιλέγεται η κίνηση η οποία είναι διαθέσιμη, δηλαδή επιλέγεται η κίνηση προς την πρώτη γειτονιά που είναι ελεύθερη. Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή καμία κίνηση που να οδηγεί τον άνθρωπο σε μικρότερη απόσταση από τον στόχο του, τότε μένει ακίνητος.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Μια από τις καταστάσεις που μπορούν να αντιπροσωπεύονται σε μία κυψελίδα όπου βρίσκεται ένας άνθρωπος είναι η ταχύτητα κίνησης u_0 σε m/s . Η ταχύτητα δηλώνει πόσες φορές έχει τη δυνατότητα να κινηθεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα Δt . Όταν ένας άνθρωπος έχει μεγαλύτερη ταχύτητα από έναν άλλο διανύει μεγαλύτερο μήκος σε χρόνο Δt , που σημαίνει πως έχει διανύσει μεγαλύτερο αριθμό pixel στο πλέγμα. Στο παρόν μοντέλο, το διάστημα που διανύει ένας άνθρωπος ανάγεται σε ρεαλιστικά μήκη ως εξής: με δεδομένο ότι μια κυψελίδα με ακτίνα 9 pixel καταλαμβάνει εμβαδό $0,4 \times 0,4 m^2$, ένα pixel καταλαμβάνει $0,021 \times 0,021 m^2$, ($\frac{\text{διάμετρος σε } m}{\text{διάμετρος σε pixels}} = \frac{0,4}{19} \approx 0,021$). Για κάθε κίνηση που κάνει και διανύει ένα pixel του πλέγματος θεωρείται πως έχει διανύσει 0,021 m.

Στο Σχήμα 30 απεικονίζονται οι οχτώ βασικές κινήσεις που μπορεί να κάνει ένας άνθρωπος που αντιπροσωπεύεται από μια απλουστευμένη κυψελίδα του ενός pixel.



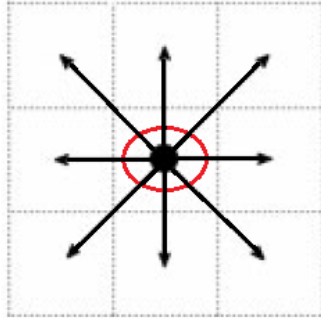
Σχήμα 30. Οι οχτώ δυνατές κινήσεις ενός ανθρώπου που αναπαρίσταται από μια απλουστευμένη κυψελίδα του ενός pixel, όπου P η θέση της αρχικής κυψελίδας που τον αναπαριστά τη χρονική στιγμή t , και $P_1 \dots P_8$ οι δυνατές θέσεις των γειτονικών κυψελίδων που μπορούν να αντιπροσωπεύσουν τον άνθρωπο τη χρονική στιγμή $t+1$

Κανόνες κίνησης με σταθερή γωνία

Η γεωμετρική φύση του πλέγματος που χρησιμοποιείται είναι τετραγωνική. Απότοκος αυτού του γεγονότος είναι ο περιορισμός τόσο των κατευθύνσεων κίνησης όσο και των γωνιών υπό τις οποίες μπορεί να κινηθεί ένας άνθρωπος που αναπαρίσταται από μια κυψελίδα. Όπως είναι διαθέσιμες μόνο οχτώ κατευθύνσεις κινήσεων, έτσι και οι διαθέσιμες γωνίες είναι οχτώ.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

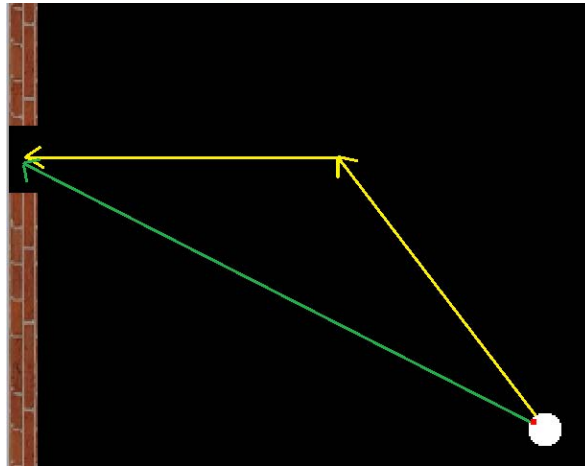


Σχήμα 31. Οι οχτώ διαθέσιμες γωνίες κίνησης σημειωμένες με τόξα κόκκινου χρώματος

Στο συγκεκριμένο μοντέλο όμως οι κυψελίδες αναπαριστούν ανθρώπους, οι οποίοι κινούνται στον χώρο με οποιαδήποτε γωνία από $0^\circ - 360^\circ$ μοίρες και είναι αφύσικο να κινούνται μόνο υπό τις παραπάνω οχτώ γωνίες. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό έρχεται να δώσει ο αλγόριθμος που ακολουθεί. Μόλις υιοθετηθεί ένας στόχος από έναν άνθρωπο αμέσως υπολογίζεται η γωνία με την οποία θα κινούταν προς τον στόχο αυτό. Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος κάθε γειτονιάς, απορρίπτονται οι μη διαθέσιμες κινήσεις και συλλέγονται αυτές που οδηγούν τον άνθρωπο στη κυψελίδα τη χρονική στιγμή $t+1$ που έχει μικρότερη απόσταση από τον στόχο του σε σχέση με αυτή που έχει τη χρονική στιγμή t . Με το πέρας αυτών των διαδικασιών, επιλέγεται η κίνηση η οποία οδηγεί τον άνθρωπο σε τέτοια θέση ώστε η καινούρια γωνία του με τον στόχο να έχει την μικρότερη απόκλιση από την γωνία που υπολογίστηκε στην αρχή. Κρατώντας αμετάβλητη και γνωστή την γωνία που υπολογίστηκε αρχικά, ο άνθρωπος κινείται σύμφωνα με τον παραπάνω κανόνα μέχρι να προσεγγίσει τον στόχο του ή να βρεθεί σε κατάσταση συμφόρησης. Η γωνία αυτή στην πραγματικότητα σχηματίζει μια νοητή ευθεία γραμμή που συνδέει την κυψελίδα, που αναπαριστά τον άνθρωπο, με τον στόχο της και την οποία γραμμή ένας άνθρωπος θα ακολουθούσε σε πραγματικές συνθήκες. Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει ο άνθρωπος στον προορισμό του λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις κινήσεις που τον κατευθύνουν σε μικρότερη απόσταση από αυτόν, είναι ίδιος με αυτόν που απαιτείται λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο την μικρότερη απόσταση από το στόχο αλλά και την ελάχιστη απόκλιση από την αρχική γωνία που υπολογίστηκε.

Στο Σχήμα 32 απεικονίζονται σε επίπεδο γραφικών οι δύο περιπτώσεις κίνησης. Με κίτρινο χρώμα έχει σχεδιαστεί η πορεία που θα ακολουθούσε ο άνθρωπος έχοντας ως μοναδικό γνώμονα την μικρότερη απόσταση από τον προορισμό του. Με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η πορεία του προς την έξοδο με γνώμονα όχι μόνο την απόσταση του από αυτήν αλλά και την γωνία υπό την οποία είναι επιθυμητό να κινηθεί.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 32. Γραφική αναπαράσταση των περιπτώσεων κίνησης του ανθρώπου. α) Με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται η πορεία του λαμβάνοντας υπόψη τη μικρότερη απόσταση από τον στόχο του. β) Με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η πορεία του λαμβάνοντας υπόψη και τη γωνία υπό την οποία είναι επιθυμητό να κινηθεί

Η πορεία που απεικονίζεται με το κίτρινο χρώμα ήταν αναμενόμενη. Όταν ο στόχος βρίσκεται σε απόσταση και σε γωνία διαφορετική από αυτή των 0° ή των 180° σε σχέση με τον άνθρωπο και την οπτική του γωνία, η κίνηση που κατευθύνει τον άνθρωπο πιο κοντά στον προορισμό του είναι πάντα η διαγώνια. Έτσι, σε κάθε χρονική στιγμή ο άνθρωπος επιλέγει να κινηθεί διαγώνια μέχρι να φτάσει στο σημείο που η γωνία του σε σχέση με τον στόχο του είναι 0° . Στη συνέχεια διανύει την απόσταση που τον χωρίζει από τον προορισμό του.

Στο Σχήμα 34 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου που υπολογίζει και υλοποιεί την κίνηση υπό σταθερή γωνία.

Η κίνηση υπό σταθερή γωνία προς ένα στόχο αποτελεί ένα ακόμα στοιχείο που ενισχύει τη ρεαλιστικότητα του μοντέλου αυτού. Ο σκοπός της ανάπτυξης αυτών των τεχνικών και αλγορίθμων είναι να προσομοιωθούν καταστάσεις που προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματικότητα, και συμπεριφορές που πλησιάζουν αυτές των ανθρώπων σε περιπτώσεις εκκένωσης χώρων.

Κανόνες παράκαμψης άλλων ανθρώπων

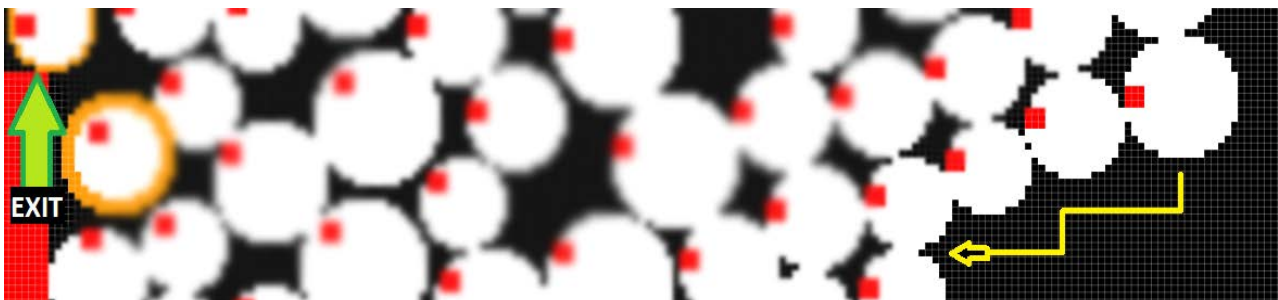
Σε πραγματικές καταστάσεις συμφόρησης οι άνθρωποι αντιδρούν ποικιλοτρόπως και διαφορετικά μεταξύ τους. Κάποια άτομα αναπτύσσουν ταχύτητα προς την έξοδο, άλλα μπορεί να ακινητοποιηθούν λόγω ψυχολογικών παραγόντων ενώ άλλα να μην έχουν τη δυνατότητα ή τη φυσική κατάσταση να κινηθούν



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης γρήγορα. Έτσι, αναπόφευκτα ορισμένα άτομα αποτελούν εμπόδιο για κάποια άλλα που αναγκάζονται να τα παρακάμψουν.

Και σε αυτήν την περίπτωση το μοντέλο προσεγγίζει όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερα τις παραπάνω καταστάσεις. Οι κυψελίδες που αντιπροσωπεύουν ανθρώπους καταλαμβάνουν έναν αριθμό pixels στο πλέγμα απεικόνισης του μοντέλου και έχουν συγκεκριμένη έκταση, με αποτέλεσμα κάποιος άνθρωπος που αναπαρίσταται από άλλη κυψελίδα που βρίσκεται πίσω τους ή δίπλα τους να μη μπορεί να προσεγγίσει το στόχο του αφού καμία από τις κινήσεις που τον οδηγούν προς αυτόν δεν είναι διαθέσιμες. Όταν ένα άτομο βρεθεί σε μια κατάσταση σαν και αυτή, όπου εμποδίζεται η κίνηση του, ελέγχει δεξιά και αριστερά, από την κυψελίδα που αναπαριστά τον μπροστινό άνθρωπο και αποτελεί εμπόδιο, μέχρι εκεί που εκτείνεται το οπτικό του πεδίο. Εάν υπάρχει ελεύθερος χώρος στο πλέγμα κοντά στην κυψελίδα που αναπαριστά τον μπροστινό άνθρωπο που αποτελεί εμπόδιο, και ο χώρος αυτός μπορεί να οδηγήσει τον κινούμενο άνθρωπο πιο κοντά στον στόχο του, τότε προσπερνάει τον αδρανοποιημένο. Κατά την εκτέλεση αυτής της διαδικασίας ο κινούμενος άνθρωπος υιοθετεί προσωρινά καινούριο στόχο, ο οποίος τον οδηγεί στην παράκαμψη του αδρανοποιημένου. Μόλις προσπεράσει τον ακίνητο άνθρωπο και φτάσει στον προσωρινό του στόχο ξαναποκτά τον αρχικό του. Με αυτόν τον τρόπο προσεγγίζει τον προορισμό του.

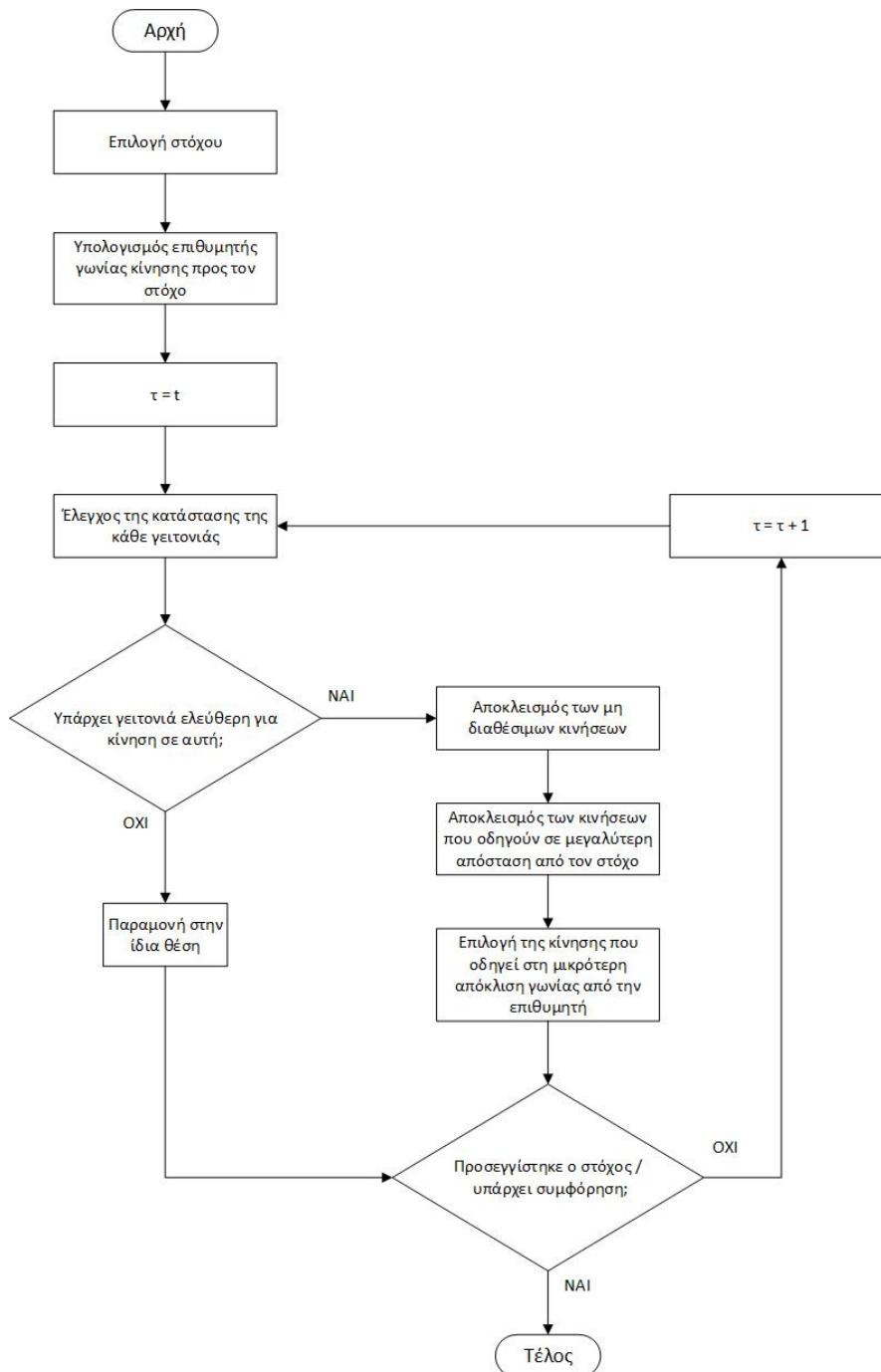
Στο Σχήμα 33 απεικονίζεται η διαδικασία παράκαμψης άλλων ανθρώπων. Ο τελικός στόχος της κατεύθυνσης του ανθρώπου έχει σημειωθεί με την ετικέτα 'EXIT' και ο άνθρωπος που εκτελεί τη διαδικασία είναι η τελευταίος. Η διαδρομή που έχει μαρκαριστεί με κίτρινο χρώμα είναι αυτή που ακολουθείται για να προσπεράσει ο άνθρωπος τους υπόλοιπους συνωστισμένους που βρίσκονται μπροστά του.



Σχήμα 33. Διαδικασία παράκαμψης ανθρώπων που αντιμετωπίζονται ως εμπόδιο

Είναι αρκετά πιθανό ένα άνθρωπος να βρει ελεύθερο χώρο και από τη δεξιά και από την αριστερή πλευρά αυτού που τον εμποδίζει. Στην περίπτωση αυτή επιλέγει προς ποια μεριά θα κινηθεί με πιθανότητα 50%, έτσι ώστε να αποφευχθεί η μονόπλευρη παράκαμψη και συγκέντρωση των ανθρώπων.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
Τέλος, ένας άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να παρακάμψει έναν άλλον όχι μόνο με κατεύθυνση παράλληλη προς την έξοδο αλλά και κάθετη. Αυτό σημαίνει πως στην παραπάνω εικόνα ο άνθρωπος θα προσπερνούσε αυτόν που βρίσκεται από πάνω του και όχι αυτόν που βρίσκεται μπροστά του.



Σχήμα 34. Διάγραμμα ροής αλγορίθμου κίνησης υπό σταθερή γωνία



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανόνες παράκαμψης κολώνας – Ενιαίου Εμποδίου

Στα κτίρια είναι αρκετά πιθανή η ύπαρξη φυσικών ή τεχνητών στατικών εμποδίων. Η κολώνα είναι ένα από τα πιο συχνά εμφανιζόμενα εμπόδια. Στο μοντέλο που περιγράφεται, οι άνθρωποι αποδιδόμενοι ως καταστάσεις των κυψελίδων του Κ.Α. προσεγγίζουν σχεδόν τις πραγματικές αντιδράσεις ανθρώπων κατά τη διαδικασία παράκαμψης μιας κολώνας.

Πιο συγκεκριμένα ο άνθρωπος έχει οπτικό πεδίο που του παρέχει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται τη δομή του χώρου σε ένα εύρος που εκτείνεται πέρα από τα όρια του. Έτσι, όταν εμφανιστεί στο οπτικό του πεδίο μια κολώνα, υιοθετεί έναν καινούριο στόχο που τον κατευθύνει να παρακάμψει την κολώνα. Αν η γύρω περιοχή είναι ελεύθερη και ο κινούμενος άνθρωπος δεν περιορίζεται από άλλους γύρω του, μπορεί να αποφύγει την κολώνα χωρίς να έρθει σε επαφή μαζί της. Στην περίπτωση όμως που ο άνθρωπος λόγω συμφόρησης δέχεται πίεση και «οδηγείται» ακούσια από τους άλλους προς την κολώνα και δεν υπάρχει διαθέσιμος ελεύθερος χώρος να κινηθεί, αναπόφευκτα θα έρθει σε επαφή με την κολώνα, ενώ παράλληλα θα προσπαθεί να την αποφύγει. Μόλις παρακάμψει την κολώνα με οποιονδήποτε δυνατό τρόπο, ξαναποκτά τον αρχικό του στόχο.

Όσον αφορά τους κανόνες παράκαμψης της κολώνας υπάρχει μια εξαίρεση κατά την οποία ο άνθρωπος δεν υιοθετεί καινούριο στόχο για να την παρακάμψει. Η περίπτωση αυτή αφορά τους ανθρώπους που ακολουθούν άλλους – περίπτωση «ομαδοποίησης» ή κοινωνικών ή οικογενειακών δεσμών. Στην πραγματικότητα πάλι αποφεύγουν την κολώνα, όμως με έμμεσο στόχο τον προπορευόμενο άνθρωπο που ακολουθούν, ο οποίος αναλαμβάνει την παράκαμψη του εμποδίου.

Κανόνες που αφορούν τους ανθρώπους που βρίσκονται στις γειτονικές κυψελίδες

Ένας άνθρωπος μπορεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή t να γνωρίζει με ποιους άλλους ανθρώπους βρίσκεται σε επαφή. Αυτό επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της κατάστασης της γειτονιάς, στην οποία είναι επιθυμητό να γίνει γνωστό εάν υπάρχει εφραπτόμενη γειτονική κυψελίδα που αναπαριστά κάποιο άλλο άτομο. Με δεδομένο ότι η κάθε κυψελίδα έχει το αναγνωριστικό της, είναι πολύ εύκολο να γνωρίζουμε ποιες κυψελίδες και κατ' επέκταση ποιοι άνθρωποι βρίσκονται σε επαφή. Αυτό αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό, αφού σε καταστάσεις συμφόρησης οι άνθρωποι επηρεάζονται άμεσα από τις συνθήκες που επικρατούν στον γύρω χώρο τους και από τους ανθρώπους με τους οποίους είναι σε επαφή. Είναι τόσο μικρές έως και ανύπαρκτες οι αποστάσεις μεταξύ τους, που η αντίδραση των ανθρώπων συνδέεται άρρηκτα με τις συμπεριφορές των διπλανών τους, ενώ επίσης πολλά είναι και τα στοιχεία που τους επηρεάζουν, όπως είναι η δύναμη και η πίεση που δέχονται.

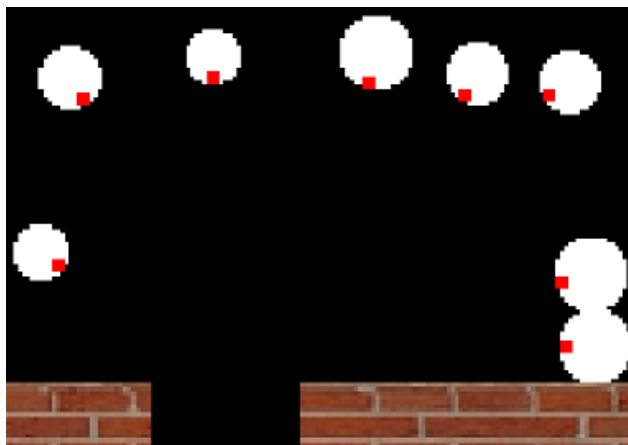


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανόνες πεδίου και κατεύθυνσης όρασης

Κατά τη διάρκεια εκκένωσης χώρων, για έναν άνθρωπο παίζει πολύ μεγάλο ρόλο και το διαθέσιμο οπτικό του πεδίου. Η επιλογή της κατεύθυνσης κίνησης ή εξόδου μπορεί να γίνει ενστικτωδώς μόνο μέσα από το εύρος του οπτικού πεδίου του ανθρώπου χωρίς να εξετάσει τον χώρο γύρω του. Ακόμα, είναι πολύ πιθανό να ακολουθήσει μια ομάδα ανθρώπων η οποία βρίσκεται μέσα στο οπτικό του πεδίο, ενώ μεγάλο ρόλο παίζουν και τα εμπόδια που παρουσιάζονται μπροστά του.

Η κατεύθυνση της όρασης του ανθρώπου στο προτεινόμενο μοντέλο απεικονίζεται με ένα τετράγωνο κόκκινου χρώματος, το οποίο βρίσκεται συνέχεια στα όρια της κυψελίδας. Όταν ο άνθρωπος είναι σε κίνηση, οι δυνατές κατευθύνσεις βάσει της όρασής του, είναι όσες και των κινήσεων, δηλαδή οχτώ. Η κατεύθυνση της όρασης σε αυτήν την περίπτωση είναι όμοια με την κατεύθυνση κίνησης με μια εξαίρεση. Στην περίπτωση που ο άνθρωπος κινείται υπό σταθερή γωνία προς τον στόχο του, η κατεύθυνση της όρασής του εξαρτάται από την τοποθεσία του. Αν γινόταν χρήση μόνο των οχτώ βασικών, η όραση θα φαινόταν σαν να τρεμοπαίζει, αφού ο άνθρωπος κατά τη διάρκεια αυτού του είδους κίνησης εναλλάσσει τις κατευθύνσεις του μεταξύ της οριζόντιας προς τον στόχο και της διαγώνιας. Εκτός των οχτώ βασικών κατευθύνσεων υπάρχουν πολλές ακόμα που συμπληρώνουν το εύρος των γωνιών από 0° έως 360° μοίρες. Ο αριθμός τους είναι ανάλογος του μεγέθους της κυψελίδας. Όσο μεγαλύτερη είναι η κυψελίδα που αναπαριστά τον άνθρωπο τόσο περισσότερες δυνατές γωνίες όρασης είναι διαθέσιμες. Οι επιπλέον αυτές κατευθύνσεις χρησιμοποιούνται σε δύο περιπτώσεις. Η μια αναφέρθηκε ήδη και είναι η κατεύθυνση υπό σταθερή γωνία, και η άλλη είναι η περίπτωση όπου ο άνθρωπος κατά τη διαδικασία εκκένωσης παραμένει στάσιμος. Στην δεύτερη περίπτωση η κατεύθυνση όρασης υποδεικνύει τον στόχο του ανθρώπου. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, η γωνία της κατεύθυνσης της όρασης είναι αυτή με την μικρότερη απόκλιση από τη γωνία του στόχου.



Σχήμα 35. Κατευθύνσεις όρασης διάφορων ανθρώπων με στόχο την έξοδο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανόνες δυνάμεων

Κατά την εκκένωση χώρων είναι αρκετά πιθανό να σημειωθεί συμφόρηση. Ένας κυρίαρχος και σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξή της είναι οι δυνάμεις που ασκούνται στα άτομα που συμμετέχουν σε αυτή. Όταν ένας άνθρωπος είναι ακίνητος κατά μια χρονική στιγμή t , ασκεί δύναμη, ανάλογη της φυσικής του κατάστασης και ενέργειας, στους συνανθρώπους του που βρίσκονται στο οπτικό του πεδίο και είναι προφανώς σε επαφή μαζί του. Η ένταση της δύναμης εξαρτάται επίσης από το μέγεθος του ανθρώπου, συνήθως η δύναμη που ασκεί είναι ανάλογη του μεγέθους του, ενώ παράλληλα έχει την ίδια κατεύθυνση με αυτή του οπτικού του πεδίου. Αν σε αυτή την κατεύθυνση υπάρχουν παραπάνω από ένας άνθρωποι με τους οποίους είναι σε επαφή τότε η δύναμη ασκείται εξασθενημένη και μοιράζεται σε αυτούς.

Το εκάστοτε άτομο στο προτεινόμενο μοντέλο, έχει τη δυνατότητα να ασκεί δύναμη προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ακόμα, σε κάθε χρονική στιγμή t είναι γνωστή η συνισταμένη των δυνάμεων που δέχεται ο κάθε άνθρωπος και των παραγόμενων πιέσεων. Κατά τη διάρκεια συμφόρησης αρκετοί άνθρωποι παραμένουν ακίνητοι δεχόμενοι δύναμη/πίεση από τους συνανθρώπους τους που είναι σε επαφή μαζί τους. Το αθροιστικό μέγεθός της μεγιστοποιείται δίπλα στην έξοδο και κοντά στους τοίχους.

Κανόνες τραυματισμών – θανάτων

Ένα φαινόμενο που κάνει συχνά την εμφάνισή του σε συνθήκες συμφόρησης και πανικού είναι οι πιθανοί τραυματισμοί καθώς και σε κάποιες περιπτώσεις οι προκύπτοντες θάνατοι.

Στο προτεινόμενο μοντέλο, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, είναι γνωστό για όλους τους ανθρώπους αν τη χρονική στιγμή t , βρίσκονται σε επαφή με τοίχο ή εμπόδιο. Ένας άνθρωπος που βρίσκεται σε επαφή με τοίχο και σε ακινησία για αρκετά χρονικά βήματα, και δέχεται μια συγκεκριμένη ένταση δύναμης που ξεπερνάει το όριο αντοχής ενός ανθρώπου, πεθαίνει ή τραυματίζεται και αποτελεί εμπόδιο για όλους τους υπόλοιπους που βρίσκονται ή κινούνται προς το σημείο όπου συνέβη το ατύχημα.

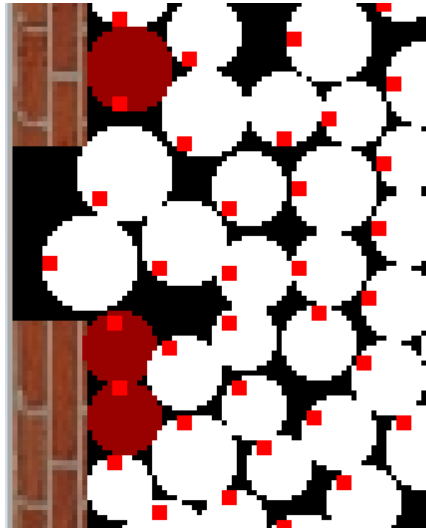
Οι τραυματισμένοι ή νεκροί, απεικονίζονται ως ακινητοποιημένοι στις αντίστοιχες κυψελίδες που συμβολίζονται με σκούρο κόκκινο χρώμα.

Κανόνες συμπίεσης

Οι άνθρωποι έχουν ανάγκη την ύπαρξη ελεύθερου χώρου γύρω τους για λόγους ασφάλειας, για να κινούνται με ευκολία, να μη πανικοβάλλονται και να δρουν με τη λογική. Σε καταστάσεις συμφόρησης προφανώς δεν υπάρχει αυτός ο ελεύθερος χώρος, καθώς οι αποστάσεις μεταξύ των ανθρώπων μικραίνουν σε μεγάλο βαθμό και οι συνθήκες δεν είναι ιδανικές. Έτσι, τα άτομα όχι μόνο χάνουν τον επιπλέον χώρο τους, αλλά σε



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιπτώσεις οξείας συμφόρησης συμπίεζονται σε μεγάλο βαθμό μέχρι να εκτονωθεί η κατάσταση και να προσεγγίσουν την έξοδο.



Σχήμα 36. Τρεις νεκροί άνθρωποι, απεικονισμένοι με σκούρο κόκκινο χρώμα, που αποτελούν ταυτόχρονα εμπόδιο για τους υπόλοιπους

Με αυτά τα δεδομένα είναι φανερό πως μια κυψελίδα που αντιπροσωπεύει ένα ανθρώπινο όν, δεν είναι φυσιολογικό να διατηρεί την έκταση της, δηλαδή το μέγεθός της αμετάβλητο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης σε καταστάσεις συμφόρησης. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού εδώ του μοντέλου είναι το δυναμικά μεταβαλλόμενο μέγεθος των κυψελίδων του Κ.Α. πλέγματος. Κάθε κυψελίδα και κατά επέκταση ο άνθρωπος που αντιστοιχεί στην εν λόγω κυψελίδα, έχει τη δυνατότητα να συμπίεζεται μέχρι έναν βαθμό και να προσομοιώνει την πραγματική απώλεια χώρου που υφίσταται ένας άνθρωπος ή ακόμα και την συμπίεση που υφίσταται το σώμα του.

Παράλληλα, το περιγραφόμενο μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα για δύο είδη συμπίεσης, κλιμακωτής ή άμεσης. Κατά την κλιμακωτή συμπίεση ένας άνθρωπος και κατ' επέκταση μια κυψελίδα μπορεί να συμπιεστεί στο μικρότερο μέγεθός της σε διάφορες χρονικές στιγμές, χωρίς να είναι απαραίτητα η μία μετά την άλλη, ενώ κατά την άμεση λαμβάνει τη μικρότερή της μορφή άμεσα σε ένα μόνο χρονικό βήμα. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης της έντασης της συμφόρησης.

Στην προσομοίωση το μέρος της κυψελίδας που έχει υποστεί συμπίεση απεικονίζεται με πορτοκαλί χρώμα που αναβοσβήνει.

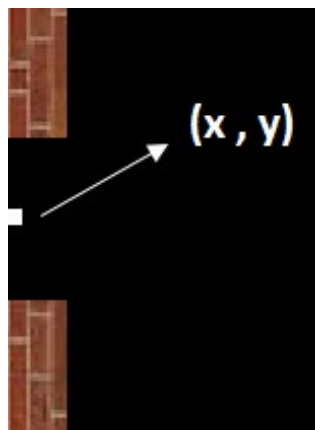


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανόνες επιλογής εξόδων

Είναι απαραίτητο πριν την εκκίνηση της προσομοίωσης να τοποθετηθούν οι άνθρωποι στις αρχικές τους θέσεις και να επιλέξουν μια έξοδο. Μόλις λάβουν τις αρχικές τους συντεταγμένες υπολογίζονται οι αποστάσεις τους από όλες τις διαθέσιμες εξόδους του χώρου. Επιλέγεται η έξοδος με την μικρότερη απόσταση από τον εκάστοτε εξεταζόμενο άνθρωπο εξαιρουμένης της περίπτωσης που ο άνθρωπος ακολουθεί κάποιον άλλον, όπου επιλέγει έμμεσα την έξοδο του ανθρώπου που ακολουθεί. Μέχρι να προσεγγίσουν την έξοδο οι άνθρωποι έχουν σαν στόχο τις κεντρικές της συντεταγμένες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 34. Μόλις πλησιάσουν, υιοθετούν συγκεκριμένες συντεταγμένες σαν στόχο, μέσα από το εύρος της εξόδου. Οι συντεταγμένες αυτές επιλέγονται με κριτήριο την απόστασή τους από την κυψελίδα, τη θέση και τη γωνία της κυψελίδας σε σχέση με την έξοδο, το οπτικό πεδίο του ανθρώπου που αναπαριστά η κυψελίδα και τις συντεταγμένες που ανήκουν σε αυτό, καθώς επίσης και τη διαθεσιμότητα ελεύθερου χώρου για να προσεγγίσει το επιθυμητό σημείο.

Όταν ο άνθρωπος φτάσει στον στόχο του, αν η έξοδος αυτή είναι τελική και οδηγεί έξω από το κτίριο, θεωρούμε πως έχει διασωθεί και αφαιρείται από το πλέγμα. Σε περίπτωση όμως που η έξοδος είναι ενδιάμεση και ακολουθούν και άλλες μέχρι την απόδραση από το κτίριο, υπολογίζονται οι αποστάσεις από όλες τις διαθέσιμες εξόδους του συγκεκριμένου χώρου και επιλέγεται η έξοδος με την μικρότερη απόσταση από τον προς εξέταση άνθρωπο. Και σε αυτή την περίπτωση εξαιρούνται οι άνθρωποι που ακολουθούν άλλους.



Σχήμα 37. Οι κεντρικές συντεταγμένες (x, y) της εικονιζόμενης εξόδου συμβολίζονται με το άσπρο τετράγωνο που βρίσκεται στο κέντρο της



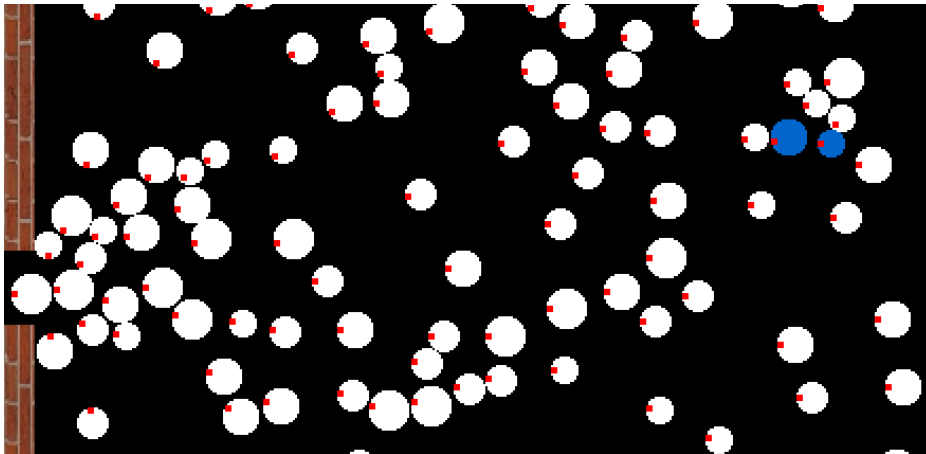
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανόνες ομαδοποίησης (grouping)

Κάθε άνθρωπος αντιδρά και αντιμετωπίζει διαφορετικά μια κρίσιμη κατάσταση. Κάποιοι επιλέγουν να πράξουν σύμφωνα με τη δική τους κρίση ενώ άλλοι επηρεάζονται από τον περίγυρό τους. Πολλοί είναι αυτοί που σε καταστάσεις εκκένωσης χώρων επιλέγουν να ακολουθήσουν το πλήθος ή κάποιο άλλο άτομο επιδεικνύοντας όπως έχει παρατηρηθεί στους έμβιους οργανισμούς και ιδιαίτερα σε πολλά από τα θηλαστικά, αγελαία συμπεριφορά.

Με παρόμοιο τρόπο στο μοντέλο αυτό είναι πιθανό οι άνθρωποι να μην επιλέξουν σαν στόχο μια έξοδο, αλλά έναν άλλο κινούμενο άνθρωπο που βρίσκεται κοντά τους. Έτσι, υπάρχει περίπτωση ο άνθρωπος να κινηθεί προς μια έξοδο που δεν έχει την μικρότερη απόσταση από αυτόν. Ο ένας άνθρωπος ακολουθεί τον άλλον μέχρι να προσεγγίσουν την έξοδο ή να βρεθούν σε συμφόρηση. Η κατεύθυνση του πεδίου όρασης του ανθρώπου όσο ακολουθεί έναν άλλον, υποδεικνύει τη θέση του ανθρώπου που ακολουθεί.

Στην προσομοίωση, τόσο ο άνθρωπος που προπορεύεται όσο και αυτός που τον ακολουθεί απεικονίζονται με μπλε χρώμα (Σχήμα 38). Είναι απεικονισμένοι με το χρώμα αυτό μέχρι να φτάσουν στην έξοδο ή να βρεθούν σε συμφόρηση. Όταν σταματήσει να ακολουθεί τον προπορευόμενο, τότε το μπλε χρώμα αφαιρείται από αυτούς.



Σχήμα 38. Ομαδοποίηση (Grouping), τόσο ο προπορευόμενος άνθρωπος όσο και αυτός που τον ακολουθεί είναι μαρκαρισμένοι με μπλε χρώμα

Κανόνες γονέα – παιδιού

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την αντίδραση και τη συμπεριφορά ενός ατόμου σε μια κρίσιμη κατάσταση, όπως είναι η εκκένωση χώρων, είναι η σχέση που το συνδέει με άλλα άτομα που βρίσκεται μαζί. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι άνθρωποι δεν έχουν μοναδικό στόχο την προσέγγιση της εξόδου,



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά προσπαθούν να πορευτούν προς αυτήν μαζί με τα υπόλοιπα άτομα που συνδέονται. Μια τέτοια περίπτωση είναι ένας γονέας με το παιδί του.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο δύο κυψελίδες είναι δυνατό να αντιπροσωπεύουν τον γονέα και το παιδί. Η κυψελίδα που αναπαριστά τον γονέα μπορεί να έχει μέγεθος με ακτίνα 8 ή 9 pixels, ενώ αυτή που αναπαριστά το παιδί έχει μέγεθος με ακτίνα 6 pixels. Αρχικά, ο γονιός και το παιδί τοποθετούνται στο πλέγμα σε θέσεις που απέχουν ελάχιστα μεταξύ τους. Μόλις ξεκινήσουν να κινούνται το παιδί ακολουθεί τον γονέα έως ότου προσεγγίσουν την έξοδο ή βρεθούν σε συμφόρηση. Αν βρεθούν σε κατάσταση συμφόρησης το παιδί μπορεί να συνεχίσει να ακολουθεί τον γονέα, όμως είναι επίσης δυνατό, αν βρεθεί ελεύθερος χώρος στο πλέγμα που να το οδηγεί πιο κοντά στην έξοδο να κινηθεί προς αυτόν. Στην περίπτωση αυτή ο γονέας πλέον ακολουθεί το παιδί. Η εναλλαγή των ρόλων αυτών των ατόμων, του προπορευόμενου και αυτού που ακολουθεί, είναι δυνατό να εκτελείται μέχρι να προσεγγίσουν την έξοδο ή να χαθούν στο πλήθος. Όταν η απόσταση που χωρίζει τον γονιό από το παιδί ξεπεράσει ένα καθορισμένο όριο, τότε θεωρείται πως έχουν χαθεί και πλέον κινούνται ο καθένας αυτόνομα. Αν και μόνο αν, η απόσταση μεταξύ τους γίνει μικρότερη του προαναφερθέντος ορίου, τότε υιοθετούν ξανά τους αρχικούς τους ρόλους και λειτουργούν σαν ομάδα.

Στην προσομοίωση τόσο ο γονιός όσο και το παιδί απεικονίζονται με γαλάζιο χρώμα.

Κανόνες φίλων

Μια ακόμη περίπτωση κυψελίδων που συνδέονται μεταξύ τους είναι αυτή που αναπαριστούν φίλους, ή αλλιώς ανθρώπους που πορεύονται σε ένα χώρο μαζί. Αρχικά, τα άτομα αυτά τοποθετούνται στο πλέγμα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Το μέγεθός των κυψελίδων που τα αναπαριστούν μπορεί να έχει ακτίνα 7, 8 ή 9 pixels. Στην κατηγορία των φίλων υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση τα άτομα συμπεριφέρονται όμοια με αυτά που αναπαριστούν γονέα και παιδί όπως ακριβώς αναλύθηκε πιο πάνω, επιχειρώντας κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης να κινούνται μαζί και να παραμείνουν κοντά το ένα στο άλλο. Στην δεύτερη περίπτωση τα άτομα κινούνται αρχικά μαζί, όμως αν βρεθούν σε κατάσταση συμφόρησης χωρίζονται και δρουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο με μοναδικό σκοπό να προσεγγίσουν την έξοδο και όχι να ξαναβρεθούν.

Στην προσομοίωση και στις δύο περιπτώσεις οι φίλοι απεικονίζονται με γκρι χρώμα. Στη δεύτερη περίπτωση, όταν τα άτομα βρεθούν σε συμφόρηση και σταματήσουν να εξαρτώνται το ένα από το άλλο, χάνουν το γκρι χρώμα.



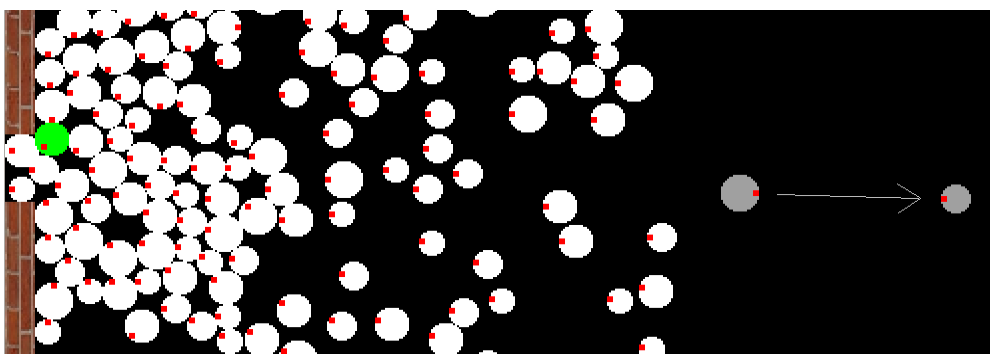
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Κανόνες myth of panic

Σε καταστάσεις εκκένωσης χώρων είναι πιθανό κάποια άτομα να αδυνατούν να κινηθούν λόγω ψυχολογικών παραγόντων ή εξαιτίας κάπου τραυματισμού. Έχει παρατηρηθεί ότι ακόμα και αν υπάρχει κίνδυνος και πανικός, κάποιοι άνθρωποι σπεύδουν να βοηθήσουν τους ανήμπορους. Έτσι, παρατηρείται κίνηση κόντρα σε αυτή του πλήθους με σκοπό την προσέγγιση των ανθρώπων που χρίζουν βοήθειας.

Στην προσομοίωση η περίπτωση αυτή κατατάσσεται στην κατηγορία που μόλις περιεγράφηκε, των φίλων. Αρχικά, οι δύο άνθρωποι που αναπαριστούν τους φίλους τοποθετούνται στο πλέγμα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Στη συνέχεια ο ένας από τους δύο κινείται κανονικά προς τον στόχο του ενώ ο άλλος παραμένει ακίνητος. Μόλις η μεταξύ τους απόσταση ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο ή βρεθεί ο κινούμενος άνθρωπος σε κατάσταση συμφόρησης και αντιληφθεί ότι ο άλλος παραμένει ακίνητος σπεύδει προς αυτόν. Όταν τον πλησιάσει αρκετά οι δύο άνθρωποι κινούνται πλέον μαζί προς την έξοδο και έχουν συμπεριφορά όμοια με αυτή των φίλων πρώτης περίπτωσης, όπου επιδιώκουν να προσεγγίσουν τον στόχο τους μαζί. Αν ο κινούμενος άνθρωπος δεν καταφέρει να κατευθυνθεί προς τον άλλο λόγω έλλειψης ελεύθερου χώρου, τότε ο ακίνητος άνθρωπος μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κατευθύνεται προς την έξοδο μόνος του. Και σε αυτήν την περίπτωση αν η μεταξύ τους απόσταση γίνει μικρότερη από ένα καθορισμένο όριο προσπαθούν να κινηθούν μαζί προς τον στόχο τους.

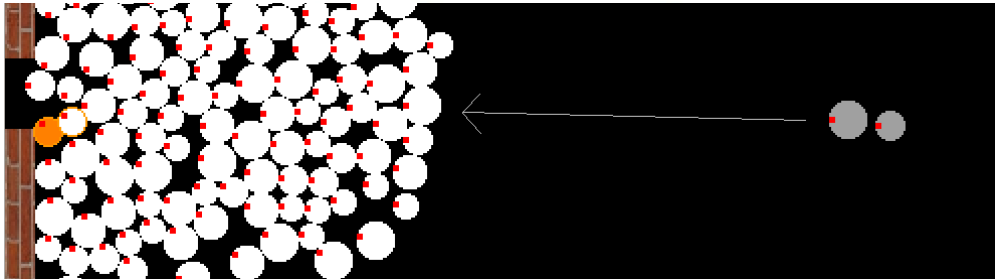
Οι άνθρωποι αυτοί απεικονίζονται στην προσομοίωση με γκρι χρώμα. Ακολουθούν δύο εικόνες (Σχήμα 39(α),(β)) σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, όπου στην πρώτη απεικονίζεται η προσπάθεια του κινούμενου ανθρώπου να προσεγγίσει τον ακίνητο, ενώ στην δεύτερη κινούνται μαζί προς την έξοδο.



(α)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(β)

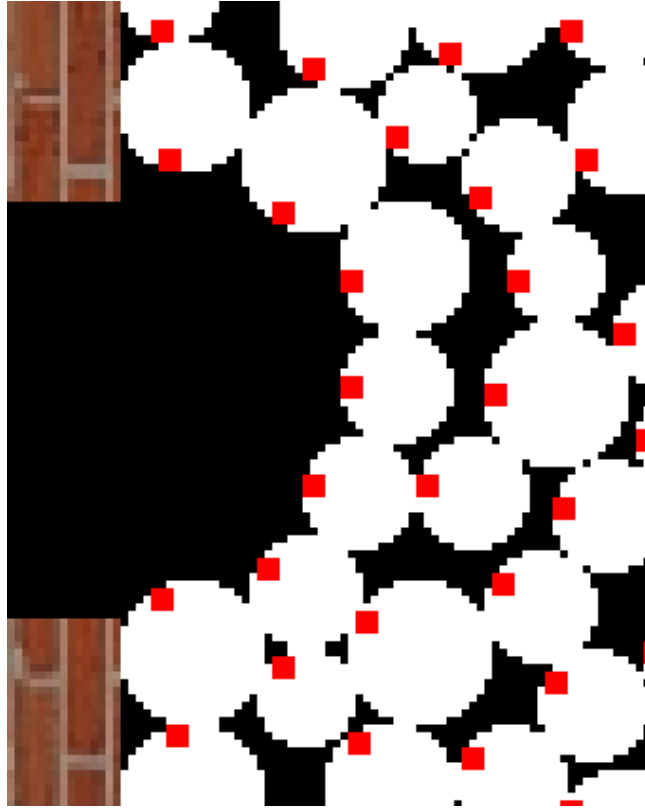
Σχήμα 39. Στο (α) απεικονίζεται η προσέγγιση της ακίνητης κυψελίδας. Στο (β) απεικονίζεται η κίνηση και των δύο κυψελίδων προς την έξοδο

Κανόνες αποσυμφόρησης

Το τελευταίο στάδιο μιας εκκένωσης χώρου είναι η διαφυγή μέσω της εξόδου, όπου η πυκνότητα πλήθους συνήθως παίρνει τις μεγαλύτερες της τιμές. Η κρισιμότητα της κατάστασης οξύνεται, καθώς παίζει σημαντικό ρόλο να υπάρχει μια μόνιμη ροή ανθρώπων μέσω της εξόδου. Στο σημείο αυτό οι άνθρωποι συμπιέζονται σε μεγάλο βαθμό, παραγκωνίζονται στην προσπάθεια διεκδίκησης καλύτερης θέσης προς την έξοδο και οι συνισταμένες των δυνάμεων που παρατηρούνται είναι ισχυρές.

Η φύση των Κ.Α., η έκταση που καταλαμβάνουν στο περιγραφόμενο μοντέλο και το προσεγγιστικό τους γεωμετρικό σχήμα μπορεί να οδηγήσουν σε ένα αδιέξοδο όπου κανένας άνθρωπος που αναπαρίσταται από μια κυψελίδα δεν μπορεί να κινηθεί προς την έξοδο. Μια κατάσταση αυτού του τύπου είναι η παρακάτω εικονιζόμενη (Σχήμα 40).

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 40. Λεπτομερής απεικόνιση συμμόρφησης σε επίπεδο Κυψελιδωτών Αυτόματων

Η κατάσταση αυτή προσομοιώνει τη ρεαλιστική περίπτωση όπου η συμμόρφηση είναι τέτοια που δεν είναι δυνατό για κανέναν να κινηθεί υπό φυσιολογικές συνθήκες, χωρίς να συμπιεστεί ή χωρίς να έρθει σε επαφή με τα γύρω άτομα παραγκωνίζοντάς τα.

Όπως είναι φανερό, σε επίπεδο κυψελίδων, οι παρακείμενες άνθρωποι που βρίσκονται σε επαφή εμποδίζουν ο ένας τον άλλον να κινηθεί. Σε αυτό το σημείο είναι εμφανές ποσό νευραλγική είναι η χρήση των δυναμικά μεταβαλλόμενων μεγεθών των κυψελίδων. Χρησιμοποιούνται πέντε διαφορετικές τεχνικές αποσυμμόρφησης, ο οποίες κάνουν χρήση του πλεονεκτήματος να μεταβάλλεται το μέγεθος της κυψελίδας. Οι τεχνικές αυτές αναλύονται παρακάτω συνοδευόμενες από εικόνες:

- 1) Όταν ένα άνθρωπος που αναπαρίσταται από μια κυψελίδα βρίσκεται μέσα σε συμμόρφηση και στο οπτικό του πεδίο υπάρχει ελεύθερος χώρος το εμβαδό του οποίου είναι μεγαλύτερο από ένα προκαθορισμένο όριο (Σχήμα 38), αν ο άνθρωπος αυτός δεν βρίσκεται στο τελικό στάδιο συμπίεσης και εμποδίζεται από άλλους, τότε σπρώχνει τον έναν από τους άλλους και ταυτόχρονα ο ίδιος και κατ' επέκταση η κυψελίδα που τον αντιπροσωπεύει συμπιέζονται. Αν όμως ο άνθρωπος είναι



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
απόλυτα συμπίεσμένος, σπρώχνει τον έναν, ενώ παράλληλα όσοι τον εμποδίζουν συμπιέζονται. Η
διαδικασία αυτή αφορά την περίπτωση που έχουμε κλιμακωτή συμπίεση.

Αν έχουμε άμεση συμπίεση, ο άνθρωπος μετατοπίζει κάποιους από αυτούς που τον εμποδίζουν, και
συμπιέζονται όλοι όσοι συμμετέχουν σε αυτήν την τεχνική.

Στην προσομοίωση ο άνθρωπος που έχει πρωταγωνιστικό ρόλο απεικονίζεται με πράσινο χρώμα για ένα
σύνημο χρονικό διάστημα.



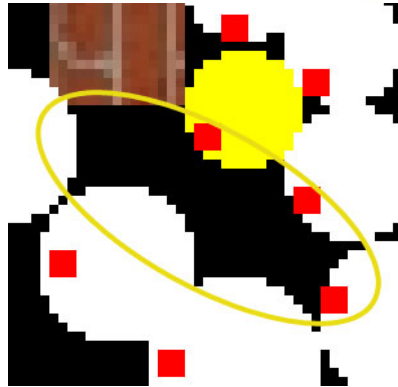
Σχήμα 41. Η ελεύθερη περιοχή του πλέγματος που μαρκάρεται με την έλλειψη είναι αυτή που οδηγεί τον
άνθρωπο, που έχει χρωματιστεί με χρώμα πράσινο, να εκτελέσει τη συγκεκριμένη τεχνική αποσυμφόρησης

- 2) Στην περίπτωση που ο άνθρωπος βρίσκεται μέσα σε συμφόρηση και στο οπτικό του πεδίο υπάρχει
ελεύθερος χώρος το εμβαδό του οποίου είναι μεγαλύτερο από ένα προκαθορισμένο όριο (Σχήμα 39),
αν ο άνθρωπος δεν βρίσκεται στο τελικό στάδιο συμπίεσης και από τη μια μεριά είναι σε επαφή με
τοιχο ή με νεκρό ή υπάρχει ελάχιστο ελεύθερο πεδίο, ενώ από την άλλη είναι σε επαφή με κάποιον
άλλον, τότε και οι δύο συμπιέζονται. Ανάλογα με το είδος της συμπίεσης που χρησιμοποιείται,
συμπιέζονται είτε κλιμακωτά είτε άμεσα.

Στην προσομοίωση ο άνθρωπος που έχει πρωταγωνιστικό ρόλο απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα για ένα
σύνημο χρονικό διάστημα.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 42. Η ελεύθερη περιοχή του πλέγματος που μαρκάρεται με την έλλειψη είναι αυτή που οδηγεί τον άνθρωπο, που έχει χρωματιστεί με χρώμα κίτρινο, να εκτελέσει τη συγκεκριμένη τεχνική αποσυμφόρησης

- 3) Όταν ένας άνθρωπος βρίσκεται στην κατάσταση που περιεγράφηκε στο (β) με μόνες διαφορές ότι βρίσκεται στο τελικό στάδιο συμπίεσης και κοντά στην έξοδο, τότε η πυκνότητα του πλήθους λαμβάνει τις μεγαλύτερες της τιμές και είναι πολύ πιθανό ο άνθρωπος αυτός να τραυματιστεί προσπαθώντας με κάθε τρόπο να προσεγγίσει τον στόχο του. Κατά την προσπάθεια του να φτάσει την έξοδο, ο άνθρωπος που τον εμποδίζει παραμένει ακίνητος και συμπιέζεται στην μικρότερή του έκταση. Μόλις τον προσπεράσει ο κινούμενος τότε μόνο μπορεί να κινηθεί ξανά.

Στην προσομοίωση ο άνθρωπος που έχει πρωταγωνιστικό ρόλο απεικονίζεται με ροζ χρώμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα.

- 4) Είναι πιθανό οι παραπάνω τεχνικές αποσυμφόρησης να μη πληρούν τα κριτήρια ορισμένες χρονικές στιγμές και να είναι αδύνατο να εφαρμοστούν. Σε αυτήν την περίπτωση προσδιορίζεται ο άνθρωπος που βρίσκεται πιο κοντά στην έξοδο, καθώς και αυτοί που τον εμποδίζουν να κινηθεί. Αν έστω και ένας από τους ανθρώπους αυτούς, συμπεριλαμβανομένου και της κύριου, δεν έχει υποστεί μέγιστη συμπίεση, τότε όλοι συμπιέζονται στην μικρότερή τους μορφή.

Στην προσομοίωση ο άνθρωπος που βρίσκεται πιο κοντά στην έξοδο απεικονίζεται με καφέ χρώμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα.

- 5) Η τελευταία και πιο σημαντική τεχνική υλοποιείται αν είναι ανέφικτο να εφαρμοστούν όλες οι παραπάνω, και είναι αυτή που αποτρέπει την προσομοίωση να φτάσει σε αδιέξοδο. Επιλέγεται ο άνθρωπος που έχει την μικρότερη απόσταση από την έξοδο και δεν κινείται και προσδιορίζονται αυτοί που τον εμποδίζουν να κινηθεί. Όλες οι άνθρωποι σε αυτή τη φάση είναι συμπιεσμένοι στη μικρότερή τους μορφή. Ο άνθρωπος που έχει πρωταγωνιστικό ρόλο συμπιέζεται στιγμιαία όσο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρειάζεται για να απεμπλακεί από τους υπόλοιπους, ενώ είναι πολύ πιθανό να τραυματιστεί από αυτή τη διαδικασία. Μέχρι να προσπεράσει τα άτομα που τον εμποδίζουν, αυτά δεν έχουν τη δυνατότητα να κινηθούν. Μόλις απομακρυνθεί η κυρίως άνθρωπος τότε οι υπόλοιποι είναι ελεύθεροι να συμπεριφερθούν κανονικά.

Στην προσομοίωση ο άνθρωπος που βρίσκεται πιο κοντά στην έξοδο και δεν κινείται απεικονίζεται με σκούρο μπλε χρώμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα.

Κανόνες συμπεριφοράς μετά από ενδιάμεση έξοδο

Τη στιγμή που ένα άτομο εξέρχεται μιας ενδιάμεσης εξόδου είναι πολύ πιθανό ότι έχει συμπιεστεί. Καθώς μετακινούνται μέσω της εξόδου τα άτομα δέχονται μεγάλη πίεση από τα άλλα προς την κατεύθυνση που κινούνται. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον πανικό που επικρατεί και την ανάγκη αποσυμφόρησης οδηγεί τους ανθρώπους να βγαίνουν από την έξοδο με ορμή κινούμενοι δεξιά, αριστερά ή ευθεία, ανάλογα με το που υπάρχει ελεύθερος χώρος. Αν υπάρχει αρκετός ελεύθερος χώρος διαθέσιμος στο πλέγμα ώστε να χωράει το αρχικό μέγεθος της κυψελίδας που αναπαριστά τον άνθρωπο, τότε αυτή και κατά συνέπεια και ο άνθρωπος αποσυμπιέζεται και ξαναποκτάει την αρχική του έκταση. Σε διαφορετική περίπτωση κινείται προς τον στόχο του και ανά συγκεκριμένα χρονικά βήματα ελέγχει μερικές φορές ακόμα αν μπορεί να αποσυμπιεστεί. Υπάρχει η πιθανότητα για κάποια άτομα αν είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο να μην μπορέσουν να ξαναποκτήσουν την αρχική τους έκταση.

Παροχές και πλεονεκτήματα μοντέλου

- Υποστήριξη μεγάλων αριθμών ατόμων, της τάξεως των χιλιάδων
- Χρήση πολλών και διάφορων μεγεθών κυψελίδας
- Δυναμικά μεταβαλλόμενα μεγέθη κυψελίδας κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης
- Δυνατότητα σύνταξης ομάδων ανθρώπων
- Τοποθέτηση των ανθρώπων ή των ομάδων σε συγκεκριμένες περιοχές του πλέγματος
- Δυνατότητα τυχαίας αλλαγής των αρχικών θέσεων των ανθρώπων, μπορούν να παραχθούν άπειροι και τυχαίοι συνδυασμοί αρχικών θέσεων, έτσι ώστε δημιουργούνται διαφορετικές αρχικές καταστάσεις
- Ποικίλες κατηγορίες ανθρώπων όπως: γονείς, παιδιά, φίλοι με ισχυρούς δεσμούς, φίλοι με ασθενείς δεσμούς, άτομα με ειδικές ανάγκες, άτομα με διαφορετική φυσική κατάσταση, άτομα που παίρνουν



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
πρωτοβουλίες, άνθρωποι που έχουν ανάγκη να ακολουθήσουν άλλους και άνθρωποι με πρόθεση να
βοηθήσουν

- Δυνατότητα επιλογής συγκεκριμένου αριθμού ανθρώπων από κάθε κατηγορία ή επιλογή πιθανότητας εμφάνισης
- Οι άνθρωποι διαθέτουν οπτικό πεδίο το οποίο απεικονίζεται στα γραφικά
- Οι άνθρωποι μπορούν ασκήσουν δυνάμεις προς όλες τις κατευθύνσεις
- Υπολογισμός συνισταμένων δυνάμεων προς όλες τις κατευθύνσεις
- Οι άνθρωποι κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες
- Προσέγγιση ρεαλιστικών ενεργειών όπως, το grouping και το myth of panic
- Δυνατότητα επιλογής συγκεκριμένου αριθμού ανθρώπων ή επιλογή πιθανότητας να συμμετέχουν σε αυτές τις ενέργειες
- Δυνατότητα τυχαίας επιλογής ατόμων που θα ανήκουν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες ή θα συμμετέχουν σε κάποια από τις προαναφερθείσες ενέργειες, άπειρος αριθμός τυχαίων συνδυασμών ανθρώπων που ανήκουν στις κατηγορίες ή παίρνουν μέρος στις ενέργειες αυτές
- Δυνατότητα τυχαίας επιλογής αρχικής θέσης του γονέα σε σχέση με το παιδί
- Δυνατότητα τυχαίας επιλογής αρχικής θέσης του ενός φίλου με τον άλλον
- Παρέχονται δύο τύποι συμπίεσης για επιλογή, κλιμακωτή ή άμεση
- Διαφορετικές τεχνικές αποσυμφόρησης που πληρούν διαφορετικά κριτήρια
- Ισχυρή τυχειότητα σειράς με την οποία οι άνθρωποι παίρνουν αποφάσεις, σε κάθε χρονικό βήμα η σειρά με την οποία οι άνθρωποι ελέγχουν την γύρω τους περιοχή και κινούνται είναι διαφορετική και τυχαία
- Δυνατότητα αλλαγής της ψευδοτυχειότητας σειράς με την οποία οι άνθρωποι παίρνουν αποφάσεις
- Δυνατότητα αλλαγής της ψευδοτυχειότητας σειράς με την οποία οι άνθρωποι παίρνουν αποφάσεις, έχοντας ίδιες αρχικές θέσεις κάθε φορά
- Σε κάθε χρονική στιγμή είναι γνωστά όλα τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες της κάθε κυψελίδας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Σε κάθε χρονική στιγμή είναι γνωστό ποιες κυψελίδες βρίσκονται σε επαφή
- Σε κάθε χρονική στιγμή είναι γνωστό ποιες κυψελίδες και κατ' επέκταση ποιοι άνθρωποι είναι σε επαφή με τοίχο
- Σχεδιασμός και χρήση κατόψεων κτιρίων, παρέχοντας τη δυνατότητα τοποθέτησης τοίχων και εξόδων, σχηματίζοντας χώρους, δωμάτια και διαδρόμους
- Δυνατότητα επιλογής του πάχους και του μήκους των τοίχων
- Χρήση μεγάλου αριθμού εξόδων προς οποιαδήποτε κατεύθυνση
- Δυνατότητα επιλογής ανοίγματος και βάθους εξόδου
- Δυνατότητα χρήσης εμποδίων όπως κολώνες
- Οι κολώνες μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στο πλέγμα
- Χρήση μεγάλου αριθμού κολόνων
- Δυνατότητα σχεδιασμού και χρήσης διαδρομών που είναι επιθυμητό να ακολουθήσουν οι ομάδες ανθρώπων
- Κάθε ομάδα ανθρώπων μπορεί να ακολουθήσει διαφορετική προκαθορισμένη διαδρομή
- Παροχή γραφικών για την απεικόνιση με μορφή videοτων παραπάνω δυνατοτήτων
- Δυνατότητα επιλογής της ταχύτητας απεικόνισης των γραφικών (ταχύτητα με την οποία τρέχει το videοσε πραγματικό χρόνο)
- Οι κατηγορίες των ανθρώπων μαρκάρονται στα γραφικά με διαφορετικούς χρωματισμούς για την εύκολη παρατήρησή τους
- Οι άνθρωποι που συμμετέχουν στο grouping μαρκάρονται στα γραφικά με ξεχωριστό χρωματισμό
- Οι άνθρωποι που πρωταγωνιστούν στις τεχνικές αποσυμφόρησης μαρκάρονται για σύντομο χρονικό διάστημα με διαφορετικούς χρωματισμούς, ανάλογα την τεχνική αποσυμφόρησης
- Παρέχεται ρολόι που απεικονίζει τον ρεαλιστικό χρόνο εξέλιξης των γεγονότων
- Στην οθόνη εμφανίζεται ο αριθμός των χρονικών βημάτων



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Στην οθόνη αποτυπώνεται ο αριθμός των ανθρώπων που εξέρχονται του κτηρίου, καθώς επίσης και ο αριθμός των τραυματισμένων – νεκρών
- Παροχή GUI (graphical user interface) για την επιλογή και χρήση των προαναφερθέντων
- Μικρός χρόνος εκτέλεσης του κώδικα παρόλη την πολυπλοκότητά του
- Δυνατότητα εκτέλεσης προσομοιώσεων με ίδιες αρχικές συνθήκες, ή με συγκεκριμένες διαφοροποιημένες ή με άπειρες τυχαίες αρχικές συνθήκες σε κάθε εκτέλεση της προσομοίωσης

Παραδείγματα προσομοιώσεων του προτεινόμενου μοντέλου για διαφορετικούς χώρους

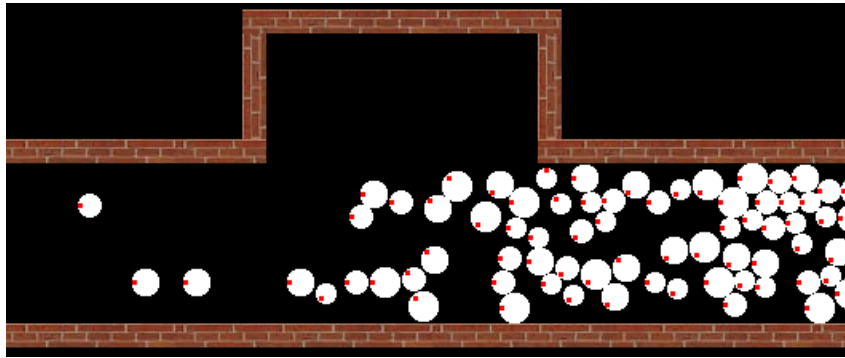
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το μοντέλο αυτό παρέχει τη δυνατότητα σχεδιασμού και υλοποίησης κατόψεων κτιρίων και προσομοιώσεων. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται απλές και σύνθετες κατόψεις, καθώς επίσης και εικόνες - στιγμιότυπα από διάφορες χρονικές στιγμές των προσομοιώσεων, που δείχνουν την εξέλιξη των γεγονότων. Σκοπός είναι μια σύντομη παρουσίαση των δυνατοτήτων που παρέχει το μοντέλο σε επίπεδο γραφικών και προσομοιώσεων. Τα παραδείγματα συνοδεύονται από πληροφορίες όπως το μέγεθος του χώρου, τον αριθμό των ατόμων και τον χρόνο εκκένωσης του χώρου. Τα πρώτα παραδείγματα είναι σχετικά απλά, ενώ στην συνέχεια ακολουθούν πιο σύνθετα.

Προσομοίωση διαδρόμου

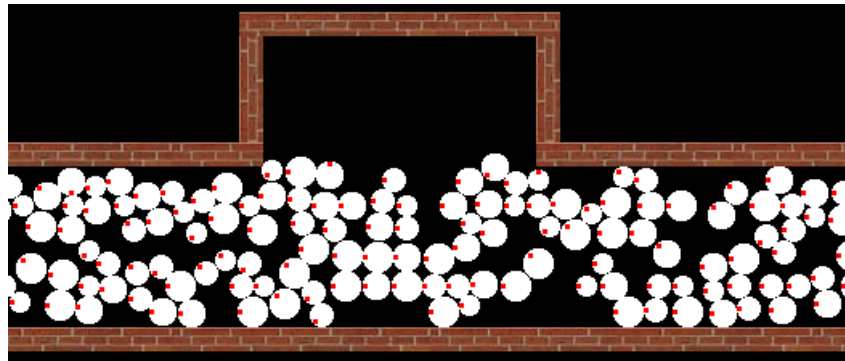
Η προσομοίωση ενός διαδρόμου αποτελεί το πιο απλό παράδειγμα, που απεικονίζει την κίνηση ενός πλήθους ατόμων, με διαφορετικές ταχύτητες και μεγέθη. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης τα άτομα που κινούνται πιο γρήγορα προσπαθούν να προσπεράσουν τα πιο αργά, που προκαλούν συμφόρηση. Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι μπορεί να υπάρξει συμφόρηση ακόμα και σε ανοίγματα που υπάρχουν κατά μήκος διαδρόμων που ακολουθούνται κατά την εκκένωση χώρων. Το γεγονός αυτό έχει παρατηρηθεί και δημοσιευθεί και στο παρελθόν [125] και παρατίθεται μια αντίστοιχη εικόνα του διαδρόμου που εμφανίζει αρκετές ομοιότητες με αυτή του προτεινόμενου μοντέλου (Σχήμα 41(α),(β)). Στα στιγμιότυπα (Σχήμα 40) η κατεύθυνση της όρασης σε κάποια άτομα δε συμβαδίζει με την κατεύθυνση του διαδρόμου, επειδή την συγκεκριμένη χρονική στιγμή επιχειρούν να προσπεράσουν τα άτομα που βρίσκονται μπροστά τους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

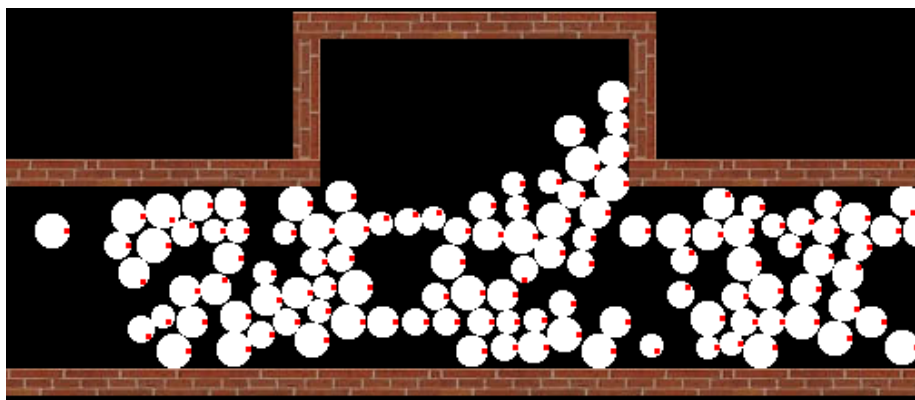


(α)



(β)

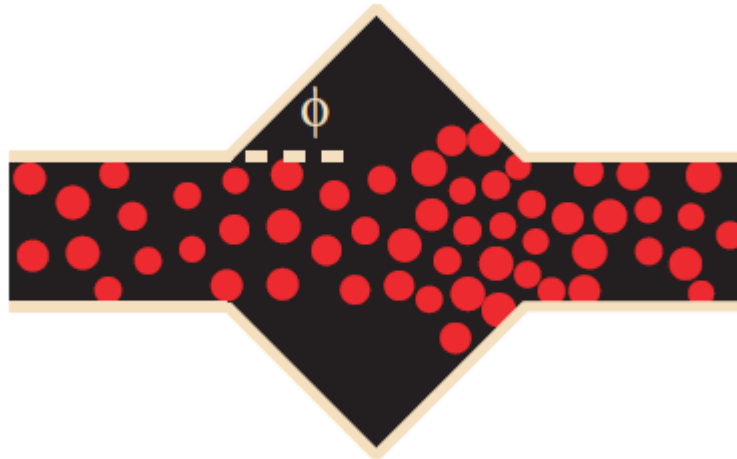
Σχήμα 43. Προσομοίωση διαδρόμου. (α) χρονική στιγμή t , (β) χρονική στιγμή $t + \tau$



(α)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



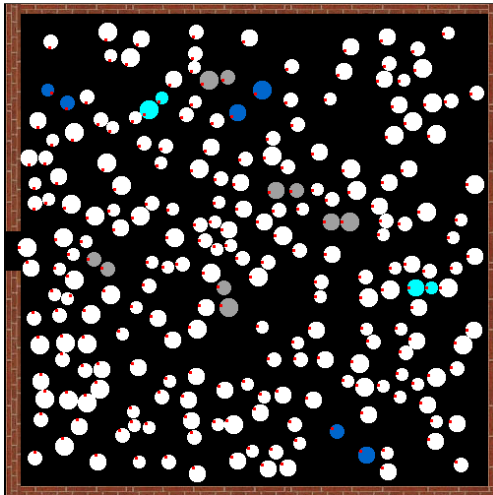
(β)

Σχήμα 44. Συμφόρηση στα ανοίγματα διαδρόμου (α) διάδρομος προτεινόμενου μοντέλου, (β) διάδρομος [125]

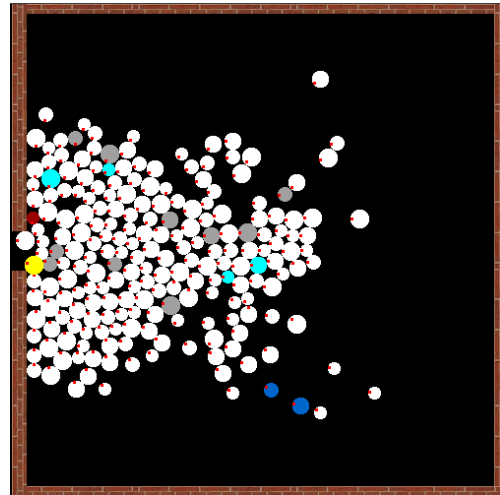
Προσομοίωση χώρου (δωματίου) με μια έξοδο

Σε αυτήν την προσομοίωση χρησιμοποιείται ένα χώρος διαστάσεων 500×500 (pixels) ή $10,5\text{m} \times 10,5\text{m} = 110,25\text{m}^2$. Η έξοδος έχει άνοιγμα 40 pixels ή 0,84 m. Ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν είναι $N = 230$ και μέσα σε αυτά υπάρχουν 2 ζεύγη γονιών με παιδιά, 5 ζεύγη φίλων, 2 άτομα που χρειάζονται βοήθεια και 4 άτομα που ακολουθούν τους γύρω τους. Στην προσομοίωση συμμετέχουν άτομα με διάφορα μεγέθη και ταχύτητες. Οι χρόνοι εκκένωσης που προκύπτουν μπορούν να χαρακτηριστούν ιδανικοί, αφού χρησιμοποιούνται τυχαία μεγέθη ατόμων για τις ανάγκες της παρουσίασης, πράγμα που σημαίνει ότι εμπεριέχονται και αρκετοί άνθρωποι με πολύ μικρό καταλαμβανόμενο εύρος χώρου (μικρά παιδιά), κάτι που δε συμβαίνει στην πραγματικότητα, αφού δε θα μπορούσαν να βρίσκονται μόνα τους χωρίς συνοδεία. Θα παρουσιαστούν οι χρόνοι εκκένωσης για δύο πειράματα: ο ένας αφορά τον χρόνο εκκένωσης χωρίς να υπάρξουν νεκροί ενώ ο δεύτερος τον χρόνο εκκένωσης με την ύπαρξη νεκρών. Όπως είναι αναμενόμενο ο χρόνος εκκένωσης με την ύπαρξη νεκρών είναι μεγαλύτερος. Στις εικόνες παρουσιάζονται στιγμιότυπα από την προσομοίωση με νεκρούς.

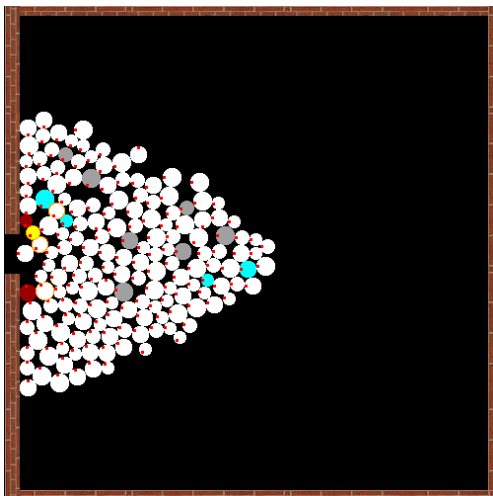
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



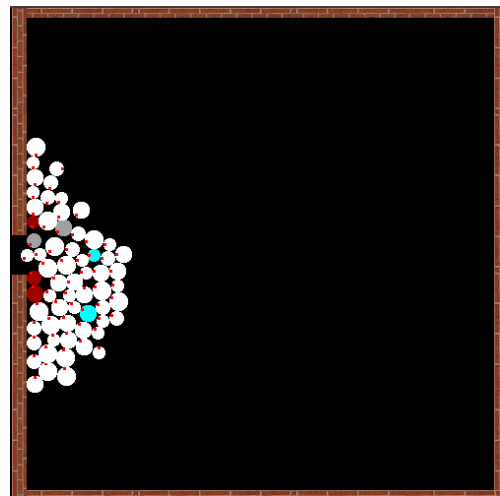
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 45. Προσομοίωση χώρου με μία έξοδο, με $N = 230$ άτομα. Οι Εικόνες (α) – (δ) απεικονίζουν διάφορες χρονικές στιγμές από την εξέλιξη της προσομοίωσης

Παρατηρούμε ότι στο Σχήμα 45 (γ) σχηματίζεται ο αναμενόμενος θόλος μπροστά από την έξοδο όπου συσσωρεύονται τα άτομα. Ακόμα, είναι εμφανές ότι ο αριθμός των νεκρών αυξάνει όσο αυξάνεται η πίεση που ασκείται και ο χρόνος που παραμένουν ακίνητοι και σε επαφή με τον τοίχο κάποιοι άνθρωποι. Στο Σχήμα 45 (δ) έχουν μείνει λίγα άτομα πριν την πλήρη εκκένωση του χώρου, γι' αυτό επισημαίνεται ότι ο τρίτος νεκρός εμφανίστηκε σε κάποια προηγούμενη χρονική στιγμή όπου η πίεση ήταν μεγάλη και όμοια με αυτή που προκαλείται στο Σχήμα 45 (γ).



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Αριθμός χρονικών βημάτων εκκένωσης χώρου χωρίς νεκρούς: 4491 time steps

Ρεαλιστικός χρόνος εκκένωσης χώρου χωρίς νεκρούς: $t_1 = 47$ sec

- Αριθμός χρονικών βημάτων εκκένωσης χώρου με νεκρούς: 5082 time steps

Ρεαλιστικός χρόνος εκκένωσης χώρου με νεκρούς: $t_2 = 53$ sec

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε μεγαλύτερους και πιο σύνθετους χώρους με περισσότερα άτομα η διαφορά των χρόνων t_1 και t_2 θα είναι μεγαλύτερη.

Προσομοίωση χώρου με μια έξοδο και εμπόδια (κολώνες)

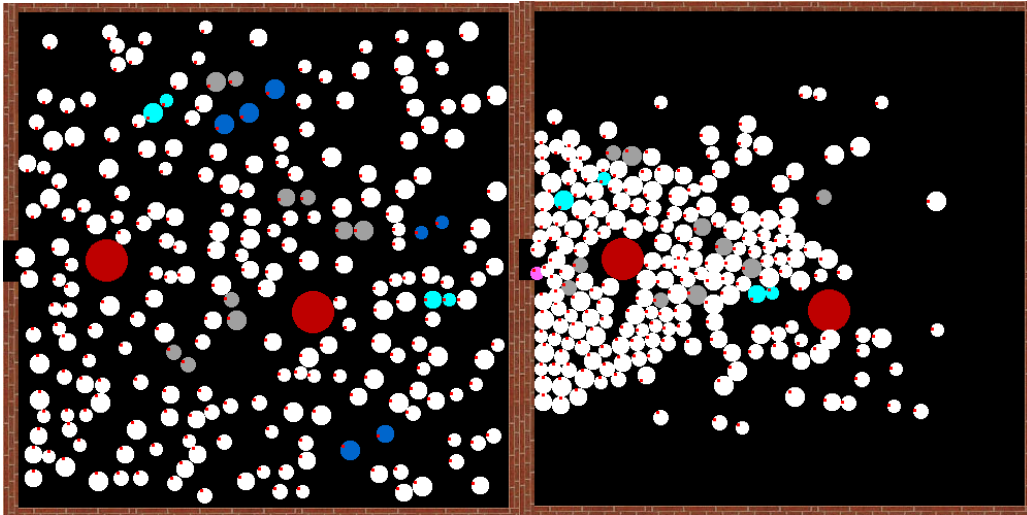
Είναι γεγονός ότι η σωστή και μεθοδευμένη τοποθέτηση κατάλληλων εμποδίων σε συγκεκριμένα σημεία ενός χώρου, μπορεί να βοηθήσει στην αποσυμφόρηση και στην αποφυγή τραυματισμών, επομένως και σε μια γρηγορότερη εκκένωση χώρου. Όταν υπάρχει κάποιο κατάλληλα διαμορφωμένο εμπόδιο στο σημείο συμφόρησης κοντά στην έξοδο, μειώνεται η συνολική δύναμη και πίεση που ασκείται στα άτομα που βρίσκονται κοντά στην έξοδο και σε επαφή με τους τοίχους. Αυτό γίνεται γιατί το πλήθος χωρίζεται ουσιαστικά σε δύο τμήματα αφού μεσολαβεί το εμπόδιο, και έτσι ανακόπτεται η συνολική πίεση που θα ασκούσαν από όλο το πλήθος.

Στην προσομοίωση που ακολουθεί αυτό επιβεβαιώνεται, καθώς ο αριθμός των ατόμων και τα είδη των ανθρώπων που συμμετέχουν είναι τα ίδια με της παραγράφου 3.4.2. Ο χώρος είναι ακριβώς ίδιος, με τη διαφορά ότι τοποθετούνται δύο κολώνες, με τη πιο νευραλγική να βρίσκεται κοντά στην έξοδο. Ουσιαστικά εκτελείται μια παρόμοια προσομοίωση με αυτή του Helbing, όπου υπάρχει μια κολώνα τοποθετημένη κοντά στην έξοδο. Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 46 (α) – (δ) τώρα υπάρχει μόνο ένας νεκρός σε αντίθεση με τους τρεις που υπήρχαν στο πείραμα της προηγούμενης παραγράφου 3.4.2. Ακόμα, ο χρόνος εκκένωσης είναι προσεγγιστικά ίδιος με αυτόν της προηγούμενης παραγράφου χωρίς την ύπαρξη νεκρών (t_1)!

Ένα ακόμα φαινόμενο που παρατηρείται είναι ότι τώρα υπάρχει μια ομάδα τριών ατόμων που κινείται μαζί (grouping) (χρώμα μπλε).

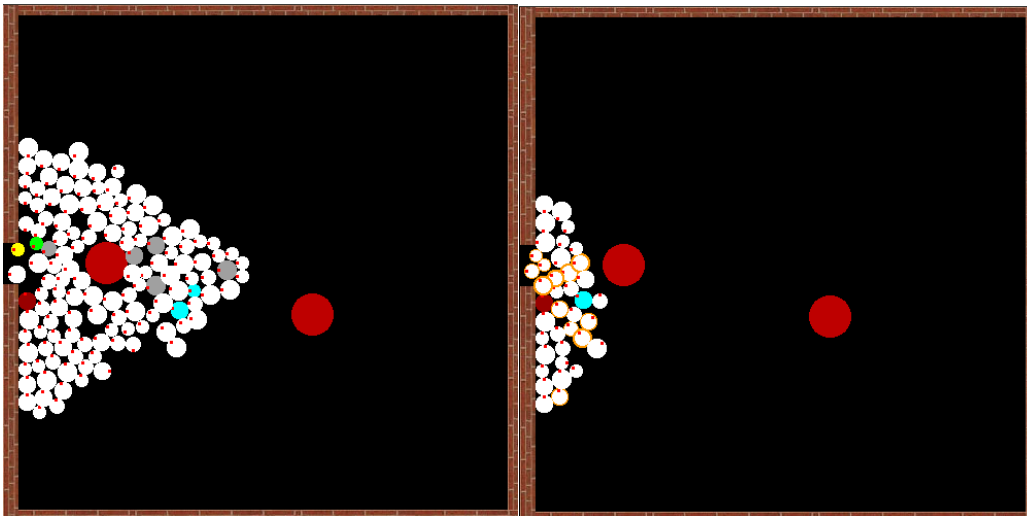
Οι αρχικές θέσεις των ατόμων μόνο διαφέρουν σε σχέση με το πείραμα της 3.4.2, αφού τώρα υπάρχουν και τα εμπόδια.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(α)

(β)



(γ)

(δ)

Σχήμα 46. Προσομοίωση χώρου με μία έξοδο και 2 εμπόδια, με $N = 230$ άτομα. Οι Εικόνες (α) – (δ) απεικονίζουν διάφορες χρονικές στιγμές από την εξέλιξη της προσομοίωσης

- Αριθμός χρονικών βημάτων εκκένωσης χώρου με νεκρούς: 4471 time steps

Ρεαλιστικός χρόνος εκκένωσης χώρου με νεκρούς: $t = 47$ sec

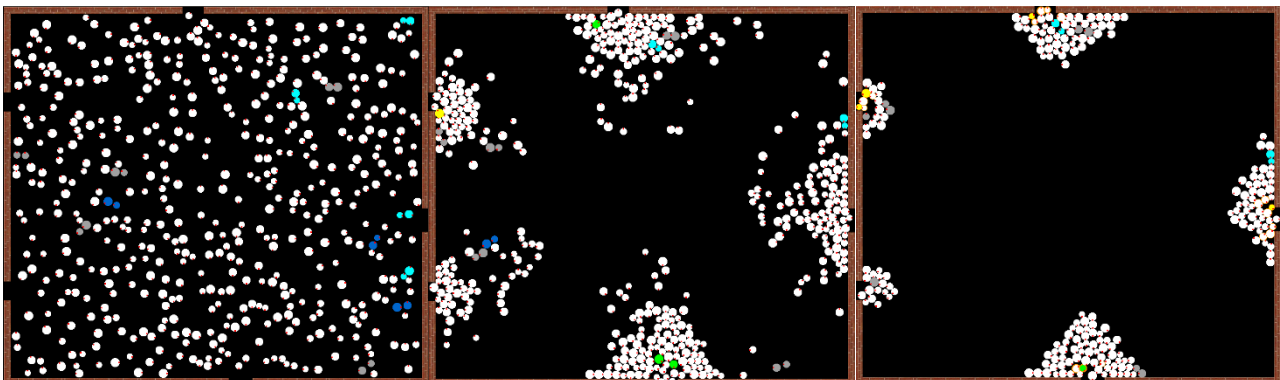


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Προσομοίωση χώρου με πέντε εξόδους

Σε αυτήν την προσομοίωση παρουσιάζεται η δυνατότητα των ατόμων να επιλέγουν την κατάλληλη έξοδο γι' αυτά σε έναν χώρο που διαθέτει παραπάνω από μια εξόδους. Τα άτομα επιλέγουν την έξοδο που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτά, εκτός αν τείνουν να ακολουθήσουν άλλα άτομα (grouping) ή αν συνδέονται με κάποια άλλα με ένα ορισμένο είδος σχέσης (π.χ. φίλοι).

Ο χώρος έχει διαστάσεις 900×800 (pixels) ή $18,9 \text{ m} \times 16,8 \text{ m} = 317,52 \text{ m}^2$ και πέντε διαθέσιμες εξόδους. Το άνοιγμα των εξόδων είναι από $40 - 50$ pixels ή από $0,84 \text{ m} - 1,05 \text{ m}$. Ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν στην προσομοίωση είναι $N = 500$, μέσα στα οποία υπάρχουν 4 ζεύγη γονιών – παιδιών, 5 ζεύγη φίλων, ένας που χρειάζεται βοήθεια, και 3 άτομα που ακολουθούν άλλα (grouping). Τα μεγέθη και οι ταχύτητες τους διαφέρουν μεταξύ τους και είναι τυχαία. Και σε αυτήν την περίπτωση ο ρεαλιστικός χρόνος εκκένωσης θεωρείται ιδανικός, καθώς δεν έχουν ληφθεί όλες οι δυνατές παράμετροι υπόψιν, αφού σκοπός είναι η παρουσίαση της δυνατότητας των ατόμων να επιλέγουν έξοδο σε έναν χώρο με πολλές διαθέσιμες εξόδους.



(α)

(β)

(γ)

Σχήμα 47. Προσομοίωση χώρου με πέντε διαθέσιμες εξόδους. Οι Εικόνες (α) – (γ) απεικονίζουν διάφορες χρονικές στιγμές από την εξέλιξη της προσομοίωσης

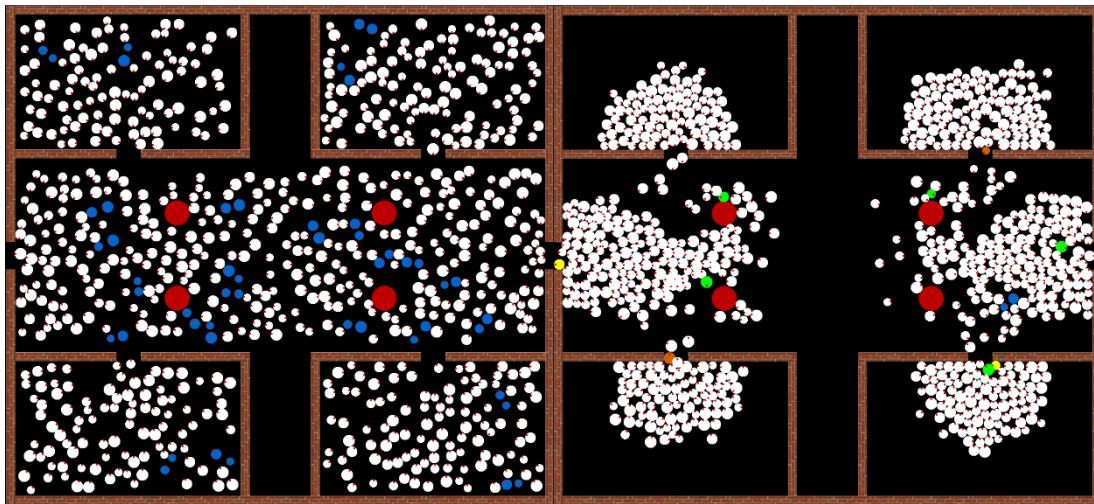
- Αριθμός χρονικών βημάτων εκκένωσης χώρου: 2402 time steps

Ρεαλιστικός χρόνος εκκένωσης χώρου: $t = 25 \text{ sec}$

Προσομοίωση κάτοψης με 4 δωμάτια και 4 εμπόδια (κολώνες)

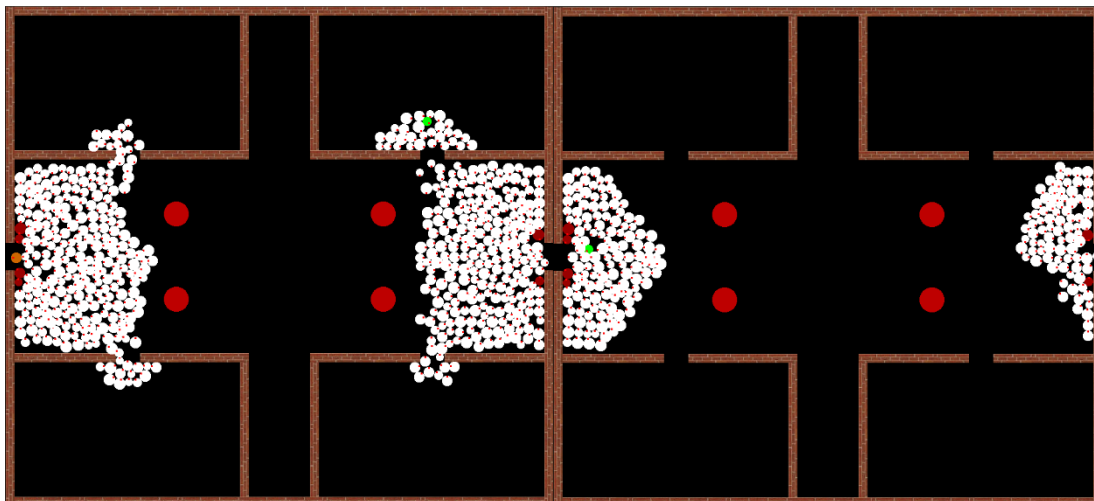
Η προσομοίωση που ακολουθεί είναι πιο σύνθετη από τις προηγούμενες. Η συνολική κάτοψη έχει διαστάσεις 900×820 (pixels) ή $18,9 \text{ m} \times 17,22 \text{ m} = 325,458 \text{ m}^2$ και αποτελείται από 4 δωμάτια, έναν μεγάλο διάδρομο

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης και 4 κολώνες. Οι άνθρωποι που συμμετέχουν έχουν τυχαίες ταχύτητες και μεγέθη. Στην προσομοίωση αυτή θεωρούμε πως δεν υπάρχουν άτομα με δεσμούς, όμως συμμετέχουν 28 άνθρωποι που ακολουθούν άλλους (grouping), κάτι που είναι εμφανές κυρίως στον μεγάλο διάδρομο, που υπάρχουν δύο διαθέσιμες εξοδοί σαν επιλογή. Συνολικά στην προσομοίωση παίρνουν μέρος $N = 780$ άτομα.



(α)

(β)



(γ)

(δ)

Σχήμα 48. Προσομοίωση κάτοψης με 4 δωμάτια και 4 εμπόδια. Τα Σχήματα (α) – (δ) απεικονίζουν διάφορες χρονικές στιγμές από την εξέλιξη της προσομοίωσης

- Αριθμός χρονικών βημάτων εκκένωσης χώρου: 10114 time steps



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ρεαλιστικός χρόνος εκκένωσης χώρου: $t = 1 \text{ min } 46 \text{ sec}$

Προσομοίωση κάτοψης 7 δωματίων και 2 μεγάλων διαδρόμων

Σε αυτήν την προσομοίωση ο συνολικός χώρος έχει διαστάσεις 1300×820 (pixels) ή $27,3 \text{ m} \times 17,22 \text{ m} = 470,106 \text{ m}^2$, και αποτελείται από 7 δωμάτια και 2 μεγάλους διαδρόμους. Ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν είναι $N = 650$, μέσα στους οποίους υπάρχουν όλες οι κατηγορίες ανθρώπων του μοντέλου. Τα άτομα έχουν διαφορετικές ταχύτητες και μεγέθη.

Στα Σχήματα 49 (α) – (δ) υπάρχει μια εμφανής διαφορά με τις προσομοιώσεις των προηγούμενων παραγράφων, και αυτή είναι το πράσινο πλαίσιο στα αριστερά. Το πλαίσιο αυτό υπάρχει σε κάθε εκτέλεση προσομοίωσης και απεικονίζει πληροφορίες σε κάθε χρονικό βήμα. Στις προηγούμενες παραγράφους παραλήφθηκε για εξοικονόμηση χώρου.

- Αριθμός χρονικών βημάτων εκκένωσης χώρου: 12170 time steps

Ρεαλιστικός χρόνος εκκένωσης χώρου: $t = 2 \text{ min } 8 \text{ sec}$

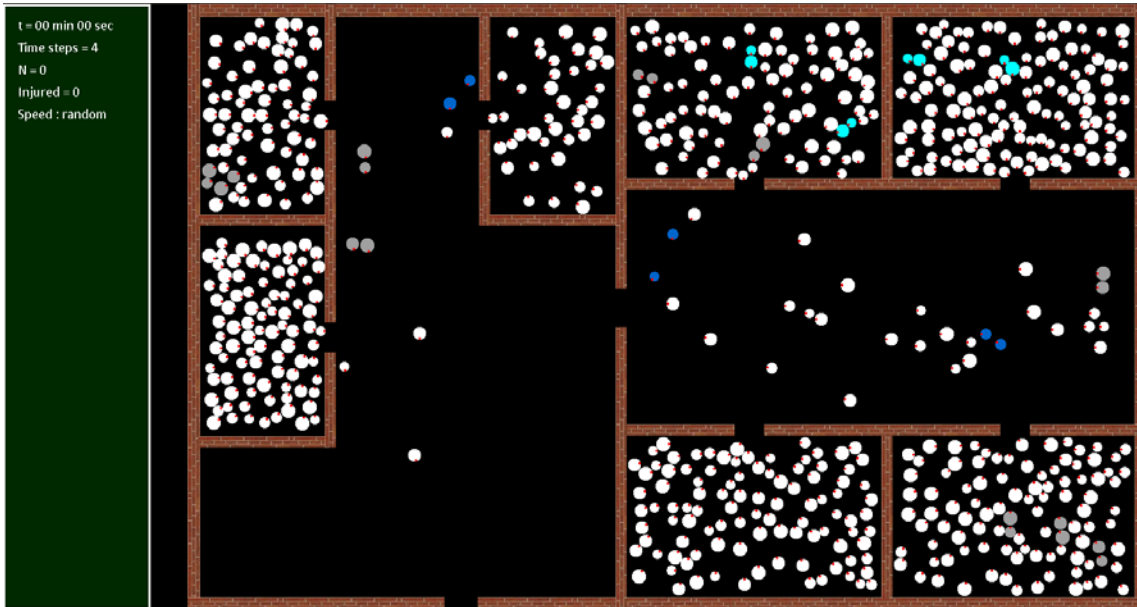
Σε κάποιες από τις προσομοιώσεις που υλοποιήθηκαν, όπως αυτής της παραγράφου, δεν εμφανίζονται νεκροί. Αυτό δεν οφείλεται απόλυτα στο ότι οι πιέσεις και οι δυνάμεις που ασκήθηκαν ήταν μικρές, αλλά οι νεκροί παραλήφθηκαν για λόγους παρουσίας και συγκέντρωσης του ενδιαφέροντος του αναγνώστη σε συγκεκριμένες δυνατότητες του προτεινόμενου μοντέλου.

Στις παραγράφους με τις προσομοιώσεις έγινε παρουσίαση κάποιων από τις δυνατότητες του μοντέλου, καθώς επίσης και μια προεπισκόπηση των γραφικών που παρέχει. Ακόμα, παρουσιάστηκαν διάφορες κατόψεις, άλλες απλές και άλλες πιο σύνθετες, με σκοπό την προβολή των δυνατοτήτων σχεδιασμού και υλοποίησης ποικίλων κατόψεων.

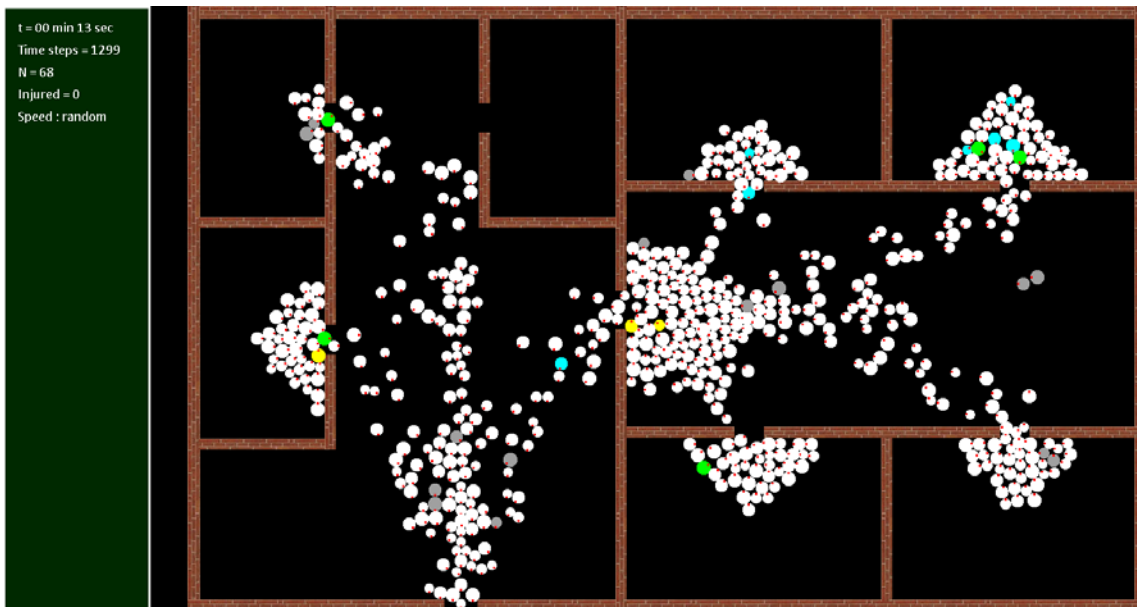
Με το κλείσιμο αυτής της ενότητας παρατίθενται τα Σχήματα 49 (α) – (δ), που παρουσιάζουν διάφορες χρονικές στιγμές από την εξέλιξη της τελευταίας προσομοίωσης.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

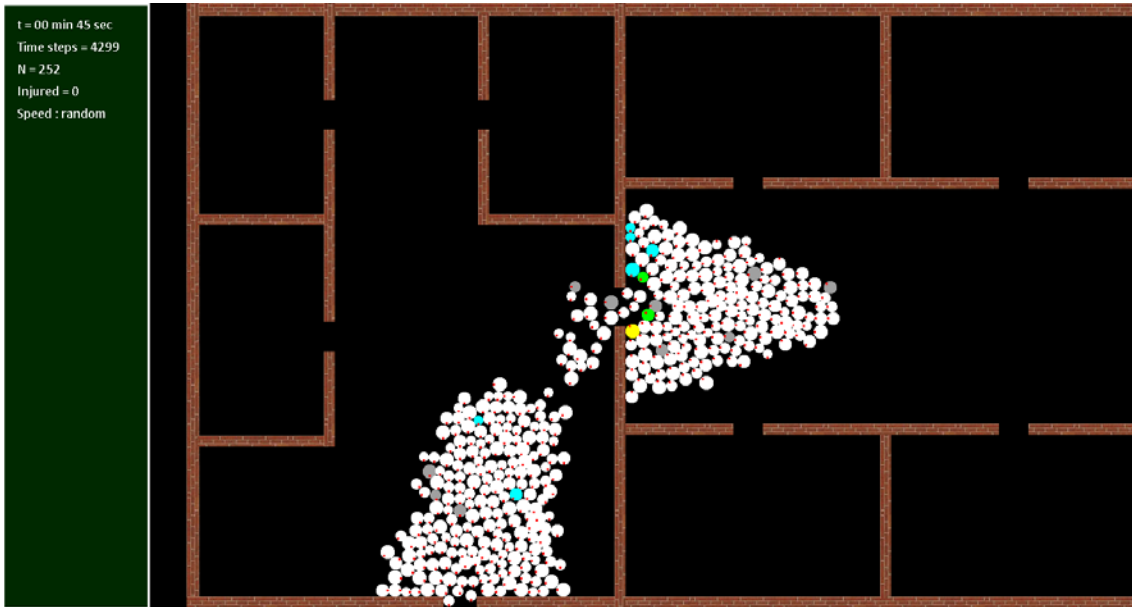


(α)

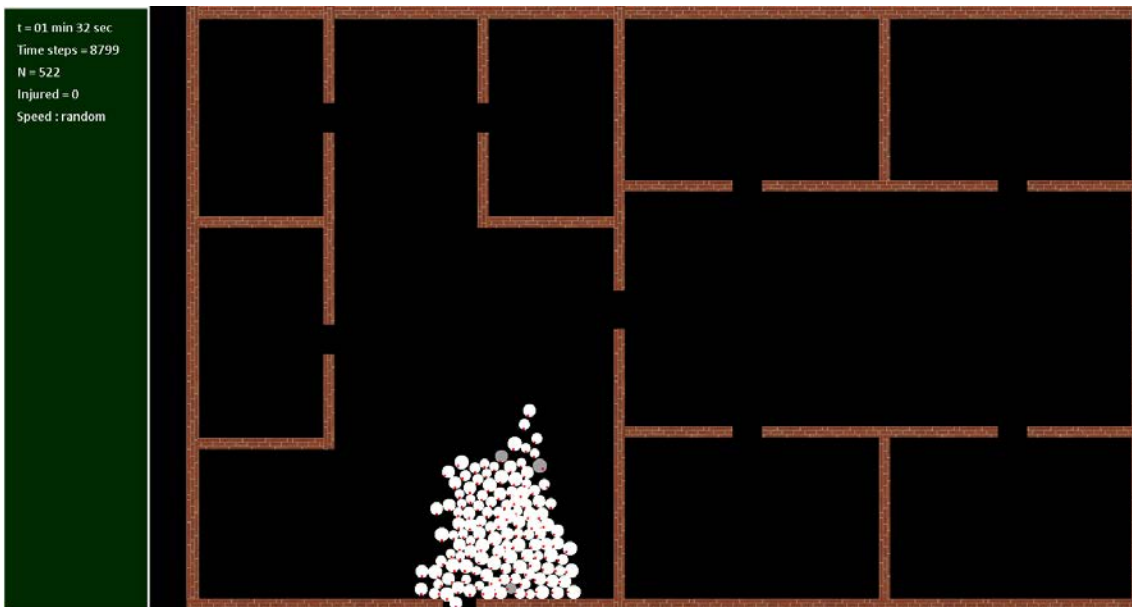


(β)

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(γ)



(δ)

Σχήμα 49. Προσομοίωση κάτοψης με 7 δωμάτια και 2 μεγάλους διαδρόμους. Οι Εικόνες (α) – (δ) απεικονίζουν διάφορες χρονικές στιγμές από την εξέλιξη της προσομοίωσης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Προτεινόμενο μοντέλο Κ.Α. εκκένωσης πλήθους λόγω φωτιάς

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το μοντέλο ΚΑ δύο διαστάσεων που βασίζεται στην απόσταση Manhattan, να προσομοιώνει τη διαδικασία εκκένωσης κλειστού χώρου σε συνθήκες διάδοσης φωτιάς. Το πλήθος αποτελείται από άτομα, των οποίων η συμπεριφορά καθορίζεται από την απόκρισή τους στον τοπικό κανόνα του ΚΑ. Ο κανόνας κατευθύνει τα άτομα προς την κοντινότερη έξοδο, με βάση την απόσταση Manhattan. Βασικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς πλήθους σε καταστάσεις πανικού, όπως ομαδική συμπεριφορά, συγκρούσεις, συμφόρηση στις εξόδους εμφανίζονται κατά την προσομοίωση. Επίσης, έχουν ληφθεί υπόψη πειραματικές μελέτες και κοινωνικο-ψυχολογικές απόψεις που προσπαθούν να εξηγήσουν τις ανθρώπινες αντιδράσεις υπό την απειλή φωτιάς [61-63]. Για παράδειγμα, καθυστερημένη αντίδραση μπροστά στον κίνδυνο, είτε λόγω άρνησης αποδοχής της ύπαρξης κινδύνου για λόγους αυτοπροστασίας είτε λόγω παρατεταμένης αφοσίωσης στην τρέχουσα απασχόληση.

Η Δομή του Αλγόριθμου

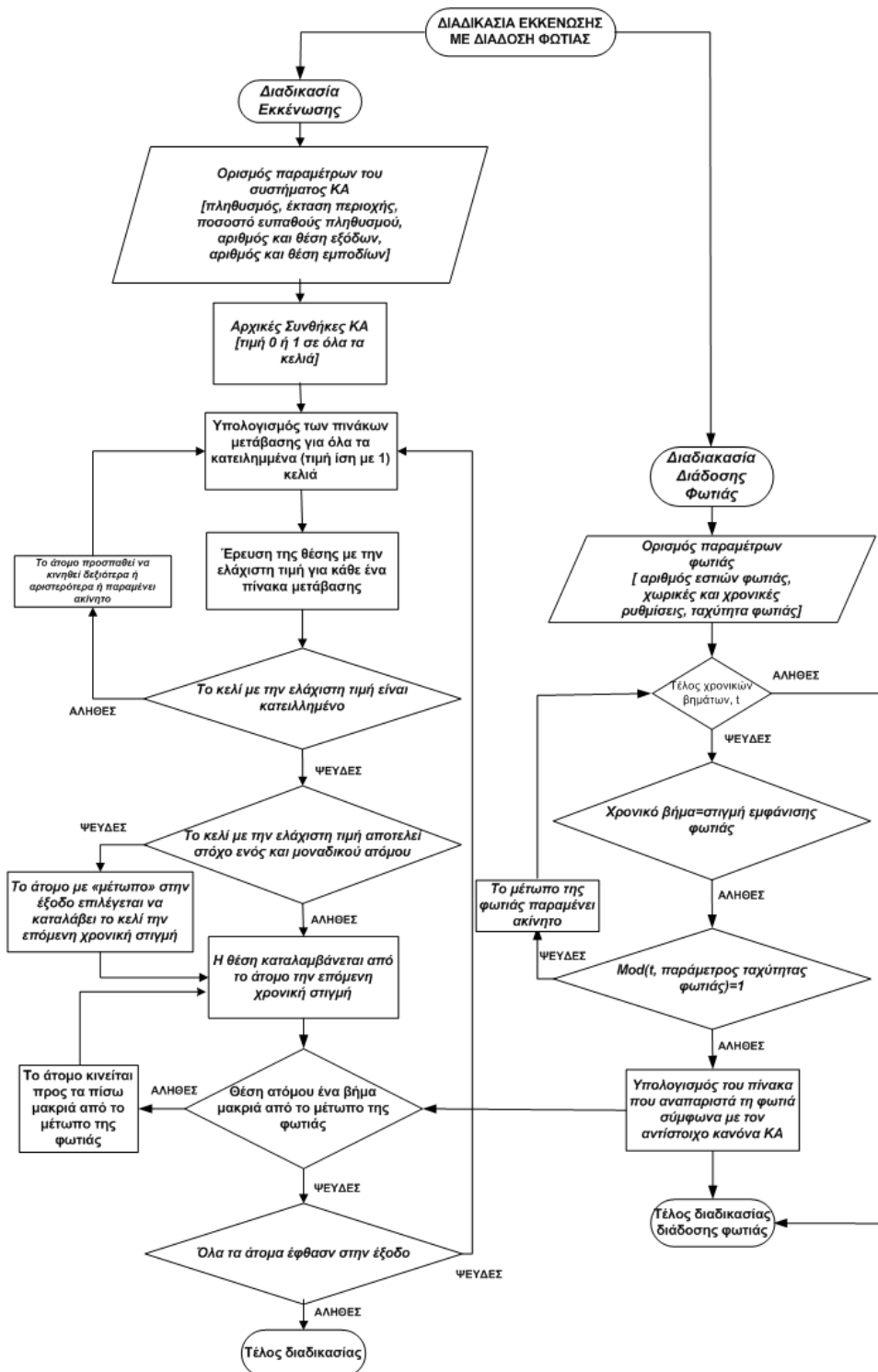
Το υπολογιστικό μοντέλο που βασίζεται σε ΚΑ δύο διαστάσεων, ενσωματώνει δύο παράλληλες διαδικασίες: την κίνηση του πλήθους και τη διάδοση της φωτιάς, με τη δεύτερη να επηρεάζει την πρώτη. Αλγοριθμικά, υπολογίζονται δύο πίνακες, σύμφωνα με τους αντίστοιχους τοπικούς κανόνες του ΚΑ. Στο σχήμα 4.36, το διάγραμμα ροής του μοντέλου αναπαριστά γραφικά αυτή την διττή κατάσταση, δηλαδή τη συνύπαρξη της διαδικασίας εκκένωσης του χώρου και διάδοσης της φωτιάς. Το πλέγμα του ΚΑ θεωρείται ομογενές και ισότροπο και κάθε κελί μπορεί να βρίσκεται σε μία από δύο πιθανές καταστάσεις: ελεύθερο ή κατειλημμένο. Κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος κάθε άτομο επιλέγει να κινηθεί προς ένα από τα οκτώ γειτονικά του κελιά, εφόσον οι συνθήκες το επιτρέπουν, σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει περιγραφεί στην ενότητα 4.2.2. Για την αποτροπή σύγκρουσης ισχύει η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.1 (Σχήμα 4.6), που δίνει προτεραιότητα στα άτομα με μέτωπο προς το κελί-στόχο (κίνηση ελάχιστης φυσικής προσπάθειας). Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι στην περίπτωση που περιγράφεται, αν το μέτωπο της φωτιά πλησιάζει, τότε επικρατεί η κίνηση προς τα πίσω, σηματοδοτώντας ότι η θέληση για την αποφυγή του κινδύνου είναι ισχυρότερη από κάθε άλλη φυσική τάση, όπως π.χ. της ελάχιστης καταπόνησης.

Η διαδικασία της διάδοσης της φωτιάς βασίζεται στον υπολογισμό του πίνακα S , με τις ίδιες ακριβώς διαστάσεις με αυτές του πλέγματος του ΚΑ. Ο κανόνας υπολογισμού που έχει προταθεί στην [64] και έχει την ακόλουθη διατύπωση:

$$S_{i,j}^{t+1} = S_{i,j}^t + (S_{i-1,j}^t + S_{i,j-1}^t + S_{i,j+1}^t + S_{i+1,j}^t) + \quad (27)$$

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$$0.83(S_{i-1,j-1}^t + S_{i-1,j+1}^t + S_{i+1,j-1}^t + S_{i+1,j+1}^t)$$





Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σχήμα 50. Το διάγραμμα ροής του μοντέλου προσομοίωσης εκκένωσης χώρου με ταυτόχρονη διάδοση φωτιάς.

όπου ο όρος t αναπαριστά το χρονικό βήμα.

Όλα τα στοιχεία του πίνακα S είναι αρχικά μηδενικά. Το χρονικό βήμα, κατά το οποίο εμφανίζεται η φωτιά μπορεί να καθοριστεί από το χρήστη. Επιπλέον, ο υπολογισμός των στοιχείων του πίνακα της φωτιάς εξαρτάται από την ταχύτητα της φωτιάς, που είναι μία επιπλέον εξωτερική παράμετρος.

$$firespeed = (1/k)individualspeed \quad (28)$$

ενώ για την παράμετρο k ισχύει η σχέση:

$$mod(t, k) = 1 \quad (29)$$

Κατά την προσομοίωση, η φωτιά ξεκινάει σε μια υποθετικά ομογενή περιοχή. Δεν έχουν ληφθεί υπόψη διαφορετικά είδη εύφλεκτων υλικών ή άλλοι παράγοντες που θα επηρέαζαν την κατεύθυνση της τροχιάς. Συνεπώς, τα μέτωπα διάδοσης της φωτιάς είναι ομογενή και ιστροπικά, σχηματίζοντας ομόκεντρους κύκλους. Παρόλα αυτά, η κατεύθυνση της τροχιάς μπορεί εύκολα να αλλάξει, ορίζοντας ένα συντελεστή βαρύτητας στον τοπικό κανόνα ανανέωσης ΚΑ της διάδοσης της φωτιάς (εξίσωση (21)), δίπλα στους παράγοντες που καθορίζουν την κατάσταση καθενός από τις γειτονικές κυψελίδες. Δηλαδή, το μοντέλο είναι εφαρμόσιμο και σε περιπτώσεις που η φωτιά μεταδίδεται ανομοιογενώς ενσωματώνοντας διαφορετικά είδη εύφλεκτων υλικών ή και μη εύφλεκτων.

Παράλληλα, έχει αναπτυχθεί μια αποτελεσματική και φιλική προς το χρήστη διεπαφή που περιλαμβάνει παραμέτρους που αφορούν την χωροταξία, τη δομή του πλήθους και χαρακτηριστικά της φωτιάς. Πρόκειται για ένα Γραφικό Περιβάλλον Επικοινωνίας (ΓΠΕ) (Graphical User Interface – GUI) που δημιουργήθηκε με βάση τη γλώσσα προγραμματισμού Matlab®. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις βασικές παραμέτρους του μοντέλου και να παρακολουθήσει τις επιλογές του οπτικοποιημένες. Έτσι, μπορούν να καθοριστούν οι διαστάσεις της περιοχής προσομοίωσης, τα σημεία εξόδου, ο αριθμός τους και οι θέσεις τους, καθώς και ο αριθμός και οι θέσεις των εμποδίων. Επίσης, μπορεί να προσδιοριστεί η πυκνότητα του πληθυσμού και η δομή του, με την ενσωμάτωση ατόμων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, π.χ. άτομα μεγαλύτερης ηλικίας που κινούνται πιο αργά. Τέλος, σε ό,τι αφορά τα χαρακτηριστικά της φωτιάς, μπορεί να προσδιοριστεί ο αριθμός και η θέση των εστιών φωτιάς και η ταχύτητα διάδοσης των μετώπων της. Η ύπαρξη πολλών χαρακτηριστικών, καθοριζόμενων από το χρήστη, ενισχύει και εμπλουτίζει τις δυνατότητες παρακολούθησης μιας περιοχής, καθώς μπορούν να διερευνηθούν διάφορες καταστάσεις.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Περιπτώσεις Προσομοίωσης και Αποτελέσματα

Σε αυτό το μοντέλο γίνεται εκτενής αναφορά και ανάλυση του μοντέλου της ύπαρξης φωτιάς κατά την διάρκεια εκκένωσης χώρων. Το μοντέλο αυτό αποσκοπεί στην μελέτη και την κατανόηση της κίνησης και της συμπεριφοράς του πλήθους κατά την ύπαρξη του κινδύνου της φωτιάς κατά την διάρκεια της εκκένωσης των εσωτερικών χώρων. Ο στόχος είναι να γίνει αναφορά και αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων του, καθώς επίσης και των δυνατοτήτων που παρέχει στον χρήστη. Παρακάτω, λοιπόν, εμπεριέχονται όλες οι βασικές αρχές του μοντέλου Κ.Α., καθώς επίσης τεχνικές και αλγόριθμοι με βάση τους οποίους υλοποιήθηκε και προσομοιώθηκε. Το κείμενο περιέχει αντιπροσωπευτικές εικόνες για ευκολότερη κατανόηση των περιγραφόμενων. Επίσης παρουσιάζονται παραδείγματα προσομοίωσης όπου απεικονίζονται περιπτώσεις κτιρίων και ατόμων που συμμετέχουν στις εκκενώσεις.

Το μοντέλο αυτό, που περιγράφεται και υλοποιείται, μπορεί να προβλέψει την διάδοση της φωτιάς σε διαφορετικούς εσωτερικούς χώρους που χρησιμοποιούνται στις εκάστοτε προσομοιώσεις, καθώς και να ενσωματώσει τις τοπογραφικές συνθήκες. Ο αλγόριθμος που υλοποιείται και προσομοιώνεται στο προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται σε μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό μετώπων φωτιάς σε διάφορα υποθετικά περιβάλλοντα, που συμβαδίζουν με την εξέλιξη των μετώπων φωτιάς σε πραγματικά περιβάλλοντα.

Οι πυρκαγιές και η εξάπλωση αυτών αποτελεί κομμάτι των σύγχρονων αστικών κοινωνιών, ειδικά με την συσσώρευση πληθυσμών στα μεγάλα αστικά κέντρα και την εγκαθίδρυση τεχνολογικών μηχανημάτων έχουν αυξήσει τον κίνδυνο αλλά και συμβάντα εξάπλωσης φωτιάς στους εσωτερικούς χώρους κτιρίων. Έτσι, λοιπόν, η μοντελοποίηση τέτοιων περιστατικών καθίσταται απαραίτητη διαδικασία για την πρόληψη και την πρόβλεψη φαινομένων που μπορούν να λάβουν την μορφή δυστυχημάτων.

Το πρόβλημα της πρόβλεψης της εξάπλωσης των πυρκαγιών μπορεί να διατυπωθεί ως εξής σε μια πιο απλοϊκή μορφή: δεδομένου ενός πεδίου ταχύτητας $R(x,y)$ που είναι η κατανομή των ρυθμών εξάπλωσης της πυρκαγιάς σε κάθε σημείο σε ένα εσωτερικό χώρο, το μέτωπο της πυρκαγιάς τη χρονική στιγμή t_1 , η κατεύθυνση και η ταχύτητα της, καθώς και το ύψος και το σχήμα του χώρου, καθορίζουν το μέτωπο της πυρκαγιάς σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή $t_2 > t_1$.

Πρόκειται ουσιαστικά για το μοντέλο που είδαμε νωρίτερα στη σχετική βιβλιογραφία και το οποίο θα επικαιροποιήσουμε για την εφαρμογή του σε εσωτερικούς χώρους και συνάφεια με το προτεινόμενο μοντέλο εκκένωσης που εισήχθη στην προηγούμενη ενότητα.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η τοπική κατάσταση κάθε ΚΑ κυψελίδας τη χρονική στιγμή t ορίζεται ως ο λόγος της έκτασης της καμένης κυψελίδας προς το προς τη συνολική επιφάνεια της κυψελίδας:

$$S_{i,j}^t = \frac{A_b}{A_t} \quad (30)$$

$S_{i,j}^t$ είναι η τοπική κατάσταση της κυψελίδας (i,j) , τη χρονική στιγμή t , και A_b και A_t τα εμβαδά της καμένης επιφάνειας και συνολικά της κυψελίδας, αντιστοίχως. Η κατάσταση μίας άκαυστης κυψελίδας είναι μηδέν, ενώ η κατάσταση μίας πλήρως καμένης κυψελίδας 1. Η $S_{i,j}^t$ μπορεί να λάβει οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή. Σε κάθε κυψελίδα του ΚΑ κατανέμεται ένας ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς R , που είναι η τιμή του $R(x, y)$ στο κεντρικό σημείο της κυψελίδας. Η κατανομή του ρυθμού εξάπλωσης της πυρκαγιάς υποτίθεται ότι δίνεται από κάποιο άλλο μοντέλο. $R_{i,j}$ είναι ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς που κατανέμεται στην κυψελίδα (i,j) και καθορίζει τον χρόνο που απαιτείται για να καεί πλήρως αυτή η κυψελίδα. Η κατάσταση μίας κυψελίδας στο χρονικό βήμα $t + 1$ επηρεάζεται από τις καταστάσεις και των οκτώ κυψελίδων στη γειτονιά της κατά τη χρονική στιγμή χρονικό βήμα t και από τη δική της κατάσταση στο χρονικό βήμα t :

$$S_{i,j}^{t+1} = f(S_{i-1,j-1}^t, S_{i-1,j}^t, S_{i-1,j+1}^t, S_{i,j-1}^t, S_{i,j}^t, S_{i,j+1}^t, S_{i+1,j-1}^t, S_{i+1,j}^t, S_{i+1,j+1}^t) \quad (31)$$

Η συνάρτηση αυτή είναι ο τοπικός κανόνας του ΚΑ. $S_{i,j}^t$ και $S_{i,j}^{t+1}$ είναι οι καταστάσεις της κυψελίδας (i,j) στα χρονικά βήματα t και $t + 1$, αντίστοιχα. Ο τοπικός κανόνας του ΚΑ περιλαμβάνει τις επιδράσεις, σε μία συγκεκριμένη κυψελίδα, των καταστάσεων όλων των κυψελίδων στη γειτονιά της, καθώς και την επίδραση της προηγούμενης κατάστασης της ίδιας της συγκεκριμένης κυψελίδας. Εάν η (i,j) κυψελίδα είναι εντελώς άκαυστη και μόνο μία από τις γειτονικές κυψελίδες (κυψελίδες που έχουν κοινή πλευρά με την κεντρική κυψελίδα) είναι εντελώς καμένη, τότε η κυψελίδα (i,j) θα είναι πλήρως καμένη μετά από χρόνο t_a που δίνεται από:

$$t_a = \frac{a}{R_{i,j}} \quad (32)$$

όπου a είναι το μήκος της κυψελίδας (m) και R είναι η ταχύτητα της φωτιάς εξάπλωσης της πυρκαγιάς (m/s). Εάν μόνο μία τις διαγώνιες γειτονικές κυψελίδες έχει καεί πλήρως, η κυψελίδα (i,j) θα καεί πλήρως μετά από χρόνο t_a που δίνεται από:



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$$t_d = \frac{\sqrt{2}a}{R_{i,j}} = \sqrt{2} t_a \quad (33)$$

$\sqrt{2}a$ είναι το μήκος της διαγωνίου της κυψελίδας. Εάν το χρονικό βήμα λαμβάνεται ίσο με t_a , και όλες οι κυψελίδες στη γειτονιά της κυψελίδας (i,j) είναι άκαυστες εκτός από μία γειτονική κυψελίδα, τότε μετά από ένα χρονικό βήμα η κυψελίδα (i,j) θα είναι πλήρως καμένη, δηλαδή η κατάσταση της θα είναι 1. Ας υποθέσουμε ότι όλα οι κυψελίδες στη γειτονιά της κυψελίδας (i,j) είναι άκαυστες εκτός από μία διαγώνια κυψελίδα. Σε αυτό το σενάριο οι καμένες περιοχές είναι γκρίζες. Μετά από ένα χρονικό βήμα, η κυψελίδα (i,j) θα είναι μερικώς καμένη. Η κατάσταση της κυψελίδας (i,j) θα είναι :

$$S_{i,j}^{t+1} = \frac{\alpha^2 - ((\sqrt{2} - 1)^2 \alpha^2)}{\alpha^2} = 2(2\sqrt{2} - 1) \cong 0.83 \quad (34)$$

Με άλλα λόγια, εάν η κατάσταση μίας μόνο γειτονικής κυψελίδας είναι 1, τότε η κατάσταση της κυψελίδας (i,j) στο επόμενο χρονικό βήμα θα είναι 1. Εάν η κατάσταση μόνο μίας διαγώνιας κυψελίδας είναι 1, τότε η κατάσταση της κυψελίδας (i,j) στο επόμενο χρονικό βήμα θα είναι 0,83. Εάν περισσότερες από μία κυψελίδες στη γειτονιά βρίσκονται στην κατάσταση 1, τότε η κατάσταση της κυψελίδας (i,j) στο επόμενο χρονικό βήμα θα είναι 1. Συνεπώς, ο τοπικός κανόνας CA δίνεται από τη σχέση:

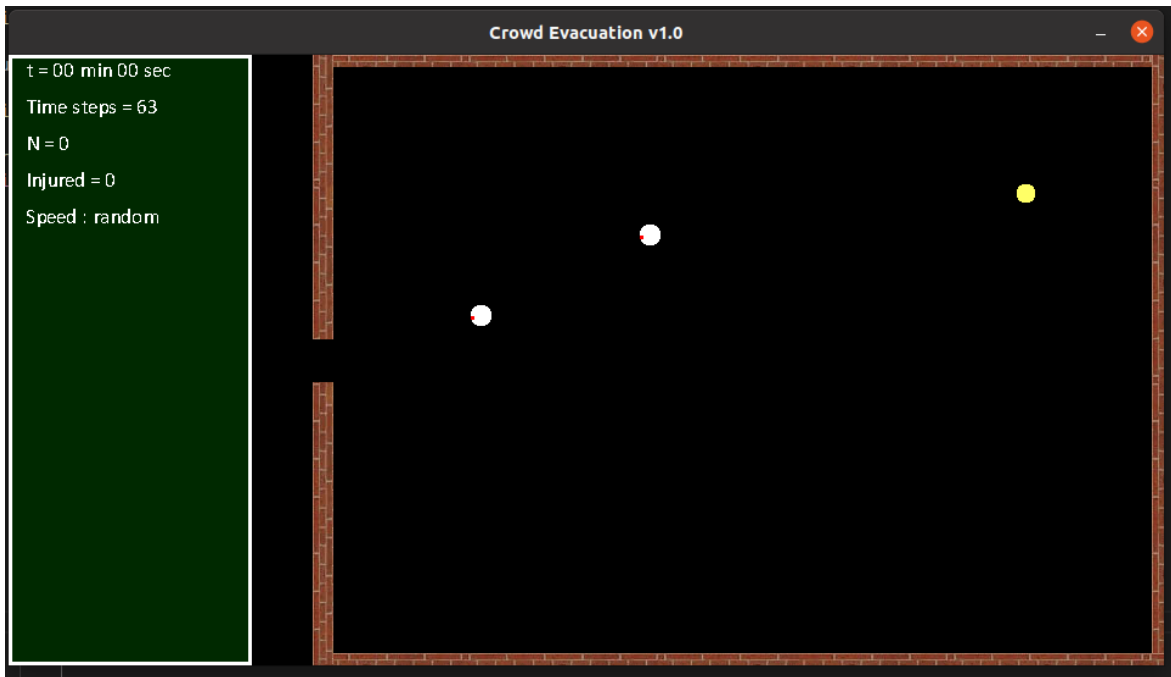
$$S_{i,j}^{t+1} = S_{i,j}^t + (S_{i-1,j}^t + S_{i+1,j}^t + S_{i,j-1}^t + S_{i,j+1}^t) + 0.83(S_{i+1,j-1}^t + S_{i-1,j-1}^t + S_{i-1,j+1}^t + S_{i+1,j+1}^t) \quad (35)$$

Πολλοί εσωτερικοί χώροι, στους οποίους ξεσπούν φωτιές, διαθέτουν έφλεκτα υλικά τα οποία έχουν παρόμοια συμπεριφορά καύσης, όπως για παράδειγμα μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι. Στους χώρους αυτούς θα συμβεί ομοιογενής εξάπλωση της φωτιάς καθώς η καύσιμη ύλη παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες. Αυτή η περίπτωση θα παρουσιαστεί στην συγκεκριμένη ενότητα σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης και διάδοσης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα.

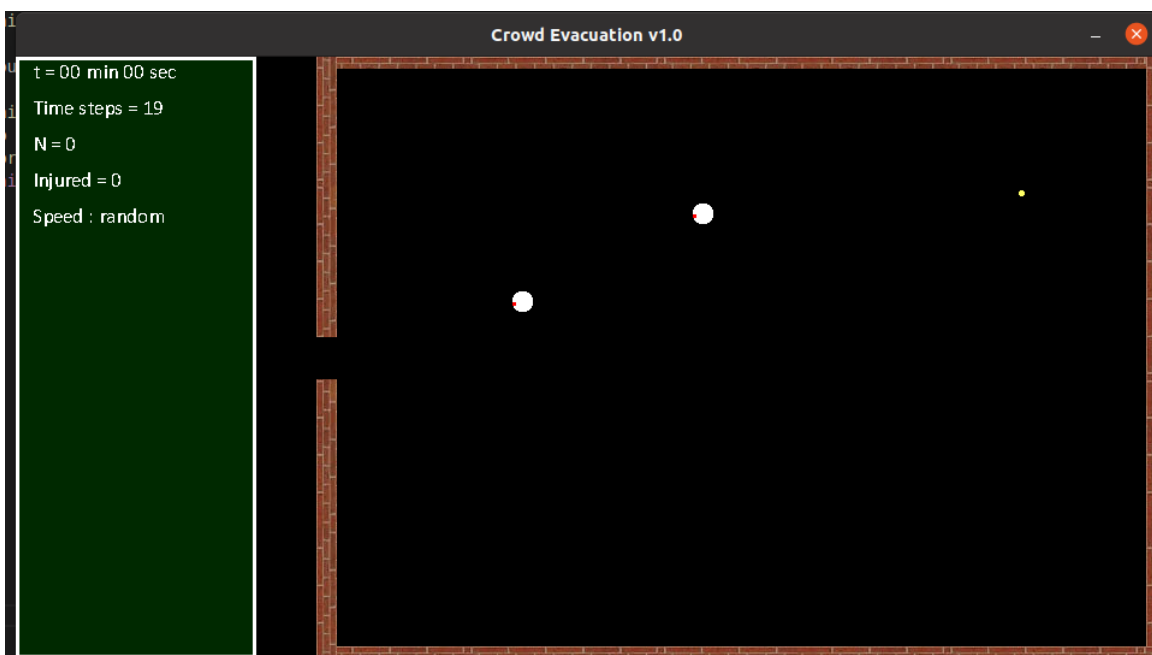
Σύμφωνα με τα παραπάνω, λοιπόν, ορίζονται τα εξής για την υλοποίηση και την προσομοίωσης. Το πλέγμα που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του μοντέλου αποτελείται από pixels, τα οποία έχουν τετράγωνο σχήμα. Ουσιαστικά, είναι ισοδύναμο με ένα δυσδιάστατο πίνακα, τα κελιά του οποίου είναι τα pixels, και μπορούν να έχουν μια συγκεκριμένη τιμή κάθε χρονική στιγμή. Οι κυψελίδες θα λαμβάνουν τις τιμές που



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρουσιάστηκαν στο άνωθεν μοντέλο. Σε αυτήν την προσομοίωση χρησιμοποιείται ένα χώρο διαστάσεων 500×500 (pixels) ή $10,5\text{m} \times 10,5\text{m} = 110,25\text{m}^2$.



(α)



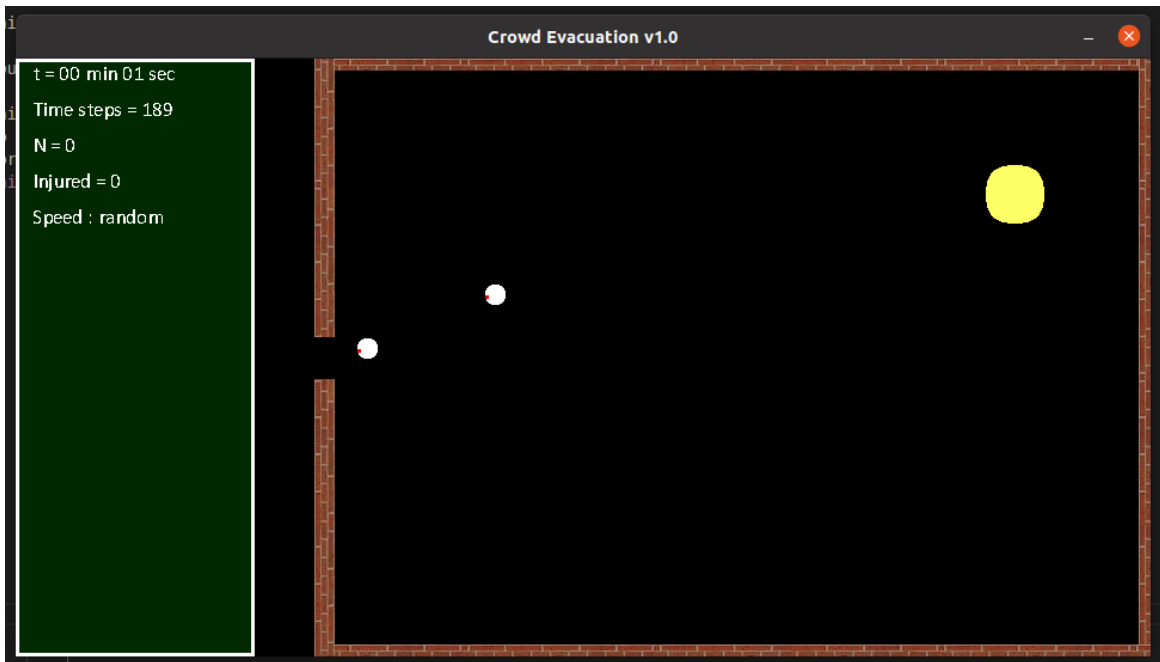
(β)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



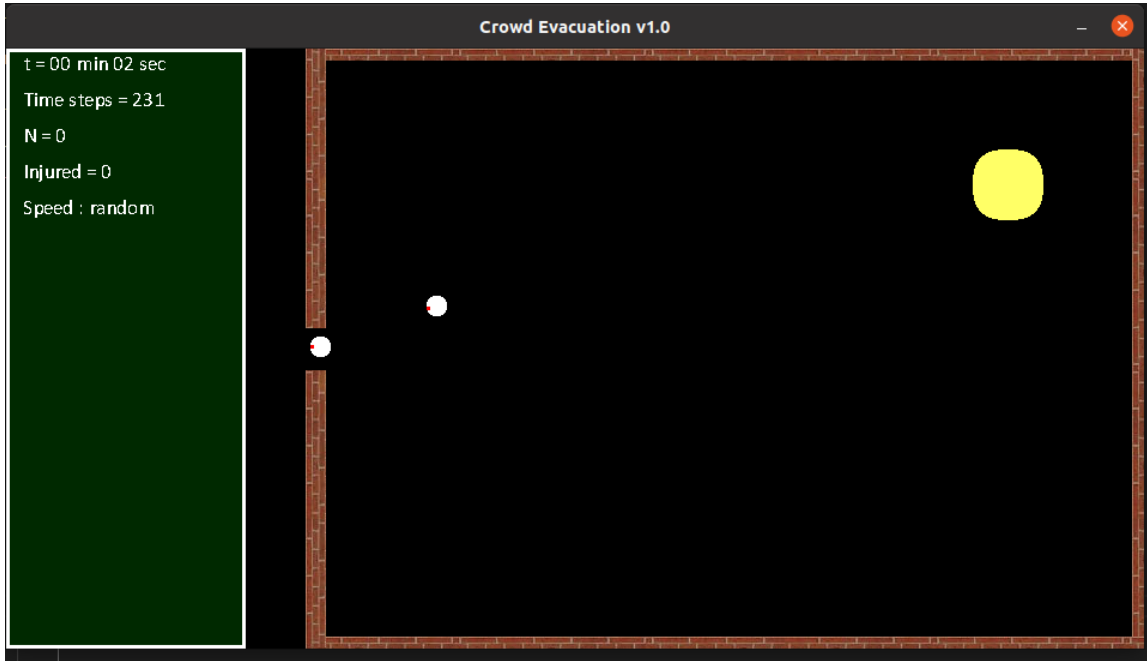
(γ)



(δ)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(ε)



(ς)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σχήμα 51. Απλή περίπτωση προσομοίωσης εκκένωσης χώρου με ταυτόχρονη διάδοση φωτιάς για διαδοχικά βήματα.

Σύμφωνα με τα Σχήματα 51 (α), (β), (γ), (δ), (ε), (ζ) η εξέλιξη του μοντέλου εκκένωσης, με το κύριο χαρακτηριστικό να παρουσιάζεται ή διάδοση της φωτιάς στον εσωτερικό χώρο απεικονίζονται χαρακτηριστικά. Οι θέσεις των ανθρώπων καθώς και η αρχική θέση της φωτιάς αρχικοποιούνται με βάση μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Ωστόσο στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ο τρόπος αρχικοποίησης των κυψελίδων με τη βοήθεια αισθητήρων και αντιστοιχών δεδομένων. Ο χρόνος εκκένωσης που προκύπτει μετά το τέλος της προσομοίωσης είναι εικονικός, καθώς ο σκοπός της συγκεκριμένης προσομοίωσης είναι ανάδειξη της διάδοσης της φωτιάς και πώς επιδρά στο προτεινόμενο ήδη μοντέλο εκκένωσης. Παρατηρείται, λοιπόν, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης η διάδοση της φωτιάς να ακολουθεί το κυκλικό ομοιογενές σχήμα που παρουσιάστηκε θεωρητικά στο παραπάνω μοντέλο. Η γεωμετρία που προκύπτει με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης οφείλεται στο τετραγωνικό πλέγμα που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του μοντέλου.

Σε πραγματικές καταστάσεις πυρκαγιάς και διάδοσης φωτιάς, κατά την διαδικασία της εκκένωσης ενός πλήθους όπου τα άτομα ενεργούν σε κατάσταση πανικού λόγω της εξάπλωσης της πυρκαγιάς προσομοιώνεται. Υποθέσεις σχετικά με αμελητέο χρόνο επιτάχυνσης και πέδησης έχουν συμπεριληφθεί στην υλοποίηση του μοντέλου. Ορισμένα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του πλήθους, όπως συλλογικές επιδράσεις, συγκρούσεις και παράγοντες καθυστέρησης, αντιμετωπίστηκαν με επιτυχία. Αρκετά σημαντικά φαινόμενα πανικού διαφυγής, δηλαδή αποκλεισμοί στις εξόδους καθώς και η συμπεριφορά της μάζας, εμφανίζονται κατά την προσομοίωση. Εμπειρικές μελέτες στη βιβλιογραφία καθώς και κοινωνικοψυχολογικές έννοιες που προσπαθούν να εξηγήσουν πώς τα άτομα ενεργούν υπό την απειλή πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι συχνά καθυστερούν να αντιδράσουν σε κίνδυνο, είτε επειδή προσπαθούν να προστατεύσουν τον εαυτό τους αρνούμενοι δυσάρεστες καταστάσεις είτε επειδή είναι αφοσιωμένοι στην τρέχουσα δραστηριότητά τους. Το υπολογιστικό μοντέλο βασίζεται σε Κ.Α. και προσομοιώνει την κίνηση του πλήθους σε περιπτώσεις χώρου εκκένωσης λόγω πυρκαγιάς. Στην πραγματικότητα, δύο παράλληλες διαδικασίες η κίνηση του πλήθους και η εξάπλωση της πυρκαγιάς, με η δεύτερη επηρεάζει την πρώτη. Δύο διαφορετικοί πίνακες αξιολογούνται, σύμφωνα με την αντίστοιχους κανόνες Κ.Α. Ο ένας πίνακας αφορά την διαδικασία εκκένωσης όπως περιγράφεται στο μοντέλο και εμπεριέχει τους κανόνες κίνησης, κίνησης με σταθερή γωνία, παράκαμψης άλλων ανθρώπων, παράκαμψη κολώνων, που αφορούν τους ανθρώπους που βρίσκονται στις γειτονικές κυψελίδες, πεδίου και κατεύθυνσης όρασης, δυνάμεων, τραυματισμών θανάτων, συμπίεσης, επιλογής εξόδων, γονέα-παιδιού, ομαδοποίησης,



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμμόρφωσης καθώς και αποφυγής του εμποδίου της φωτιάς. Ο δεύτερος πίνακας αφορά την υλοποίηση και προσομοίωση της διάδοσης της φωτιάς όπως περιγράφεται στις προηγούμενες ενότητες.

Η τετραγωνική γεωμετρική διάταξη του πλέγματος επιτρέπει σε έναν άνθρωπο ευρισκόμενο σε μία κυψελίδα να κινηθεί μόνο σε 8 κατευθύνσεις, αριστερά, πάνω, δεξιά, κάτω, και στις διαγώνιες αριστερά – πάνω, δεξιά – πάνω, αριστερά – κάτω και δεξιά – κάτω, ή να παραμείνει ακίνητος.

Πριν από κάθε κίνηση του ανθρώπου γίνεται έλεγχος της γειτονιάς, στην κατεύθυνση της οποίας σκοπεύει να κινηθεί. Ελέγχεται η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή t όλα τα pixels που ανήκουν σε αυτή τη γειτονιά. Σε περίπτωση που όλα αυτά τα pixels βρίσκονται σε κατάσταση, η οποία δηλώνει ελεύθερο χώρο, ο άνθρωπος κινείται προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Από την άλλη, αν ένα από αυτά τα pixels δεν βρίσκεται σε κατάσταση που αναπαριστά τον ελεύθερο χώρο, ο άνθρωπος δεν μπορεί να κινηθεί προς αυτήν την περιοχή.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι κυψελίδες που αναπαριστούν ανθρώπους έχουν μια έκταση μεγαλύτερη του ενός pixel στο πλέγμα απεικόνισης του μοντέλου. Για τον λόγο αυτόν, όταν αναφερόμαστε στη θέση ή την κίνηση ενός ανθρώπου, αναφερόμαστε στο κέντρο μάζας της κυψελίδας που τον αναπαριστά, που είναι το κεντρικό pixel της εκάστοτε καταλαμβανόμενης κυψελίδας. Σε κάθε χρονική στιγμή t , υπολογίζεται η απόσταση του ανθρώπου από τον στόχο του ώστε να μην περιέχει τα pixels που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της φωτιάς, καθώς επίσης και οι αποστάσεις που θα έχει από τον στόχο αν κινηθεί σε μια από τις οχτώ διαθέσιμες κατευθύνσεις με την ίδια συνθήκη να απαιτείται και για τον συγκεκριμένο υπολογισμό. Αρχικά, οι αποστάσεις αυτές ταξινομούνται με κριτήριο το μικρότερο μήκος, και στη συνέχεια επιλέγεται η κίνηση η οποία είναι διαθέσιμη, δηλαδή επιλέγεται η κίνηση προς την πρώτη γειτονιά που είναι ελεύθερη. Σε περίπτωση που η γειτονιά που θέλει να προσεγγίσει ο άνθρωπος περιέχει φωτιά πρωταρχικός στόχος είναι η επιλογή γειτονιάς που θα τον οδηγήσει μακριά από την εστία της φωτιάς. Σε περίπτωση που η συγκεκριμένη ενέργεια δεν είναι δυνατή ο άνθρωπος παραμένει ακίνητος. Στο σχήμα 52 παρουσιάζεται η αποφυγή της διάδοσης της φωτιάς.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

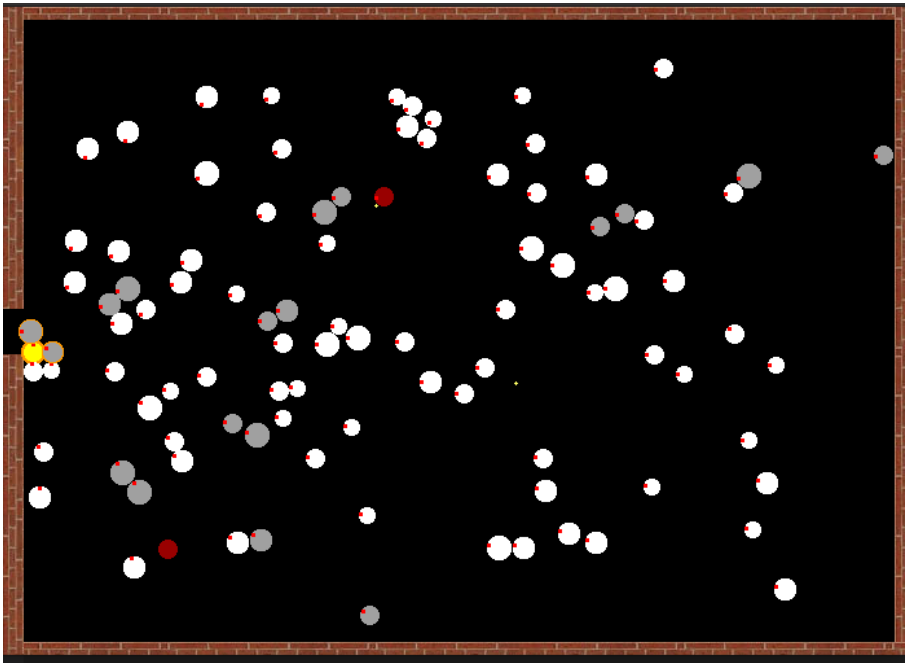


Σχήμα 52. Γραφική αναπαράσταση των περιπτώσεων αποφυγής της διάδοσης της φωτιάς. α) Στην αριστερή εικόνα απεικονίζεται η πορεία του λαμβάνοντας υπόψη τη μικρότερη απόσταση από τον στόχο του. β) Στην δεξιά εικόνα απεικονίζεται η αλλαγή της πορείας του και της γωνίας λαμβάνοντας υπόψη το εμπόδιο της φωτιάς.

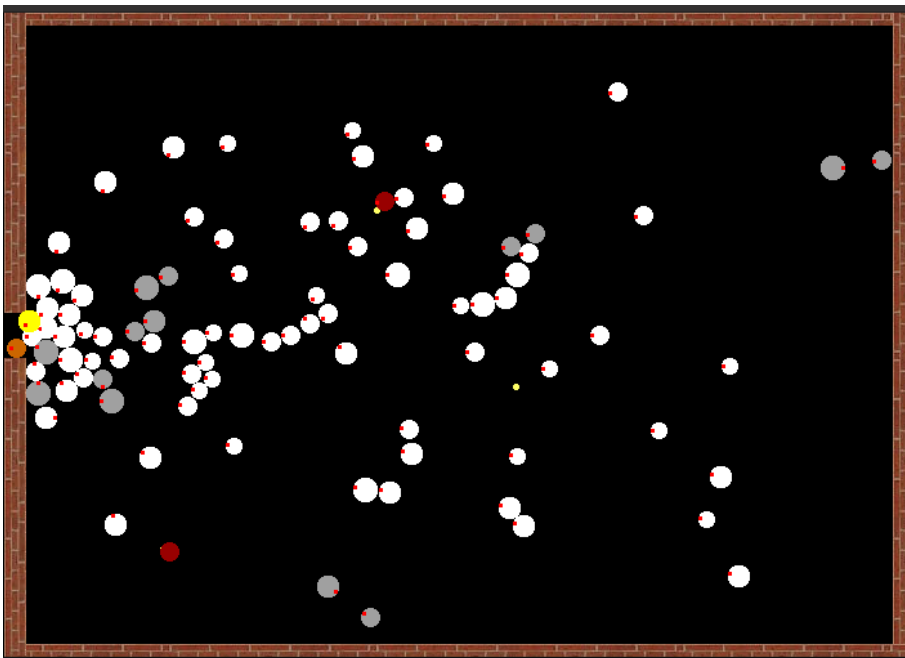
Σε αυτήν την προσομοίωση χρησιμοποιείται ένα χώρος διαστάσεων 500×500 (pixels) ή $10,5\text{m} \times 10,5\text{m} = 110,25\text{m}^2$. Η έξοδος έχει άνοιγμα 40 pixels ή 0,84 m. Ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν είναι $N = 100$ και 3 εστίες ομοιογενούς εξάπλωσης φωτιάς. Στην προσομοίωση συμμετέχουν άτομα με διάφορα μεγέθη και ταχύτητες. Οι χρόνοι εκκένωσης που προκύπτουν μπορούν να χαρακτηριστούν ιδανικοί, αφού χρησιμοποιούνται τυχαία μεγέθη ατόμων για τις ανάγκες της παρουσίασης, πράγμα που σημαίνει ότι εμπεριέχονται και αρκετοί άνθρωποι με πολύ μικρό καταλαμβανόμενο εύρος χώρου (μικρά παιδιά), κάτι που δε συμβαίνει στην πραγματικότητα, αφού δε θα μπορούσαν να βρίσκονται μόνο τους χωρίς συνοδεία. Στις εικόνες παρουσιάζονται στιγμιότυπα από την προσομοίωση με νεκρούς.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(α)



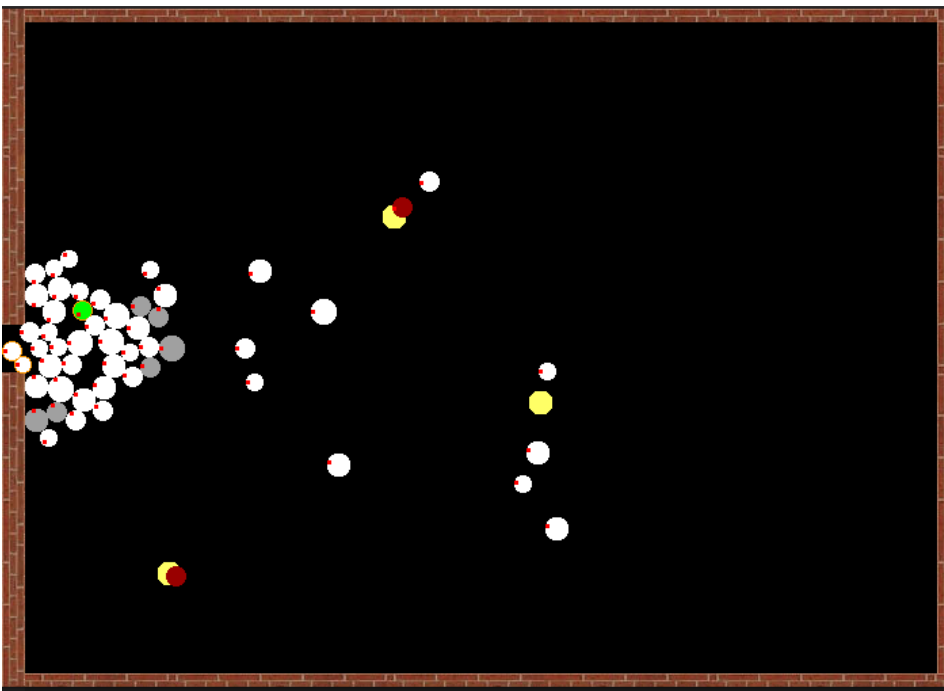
(β)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



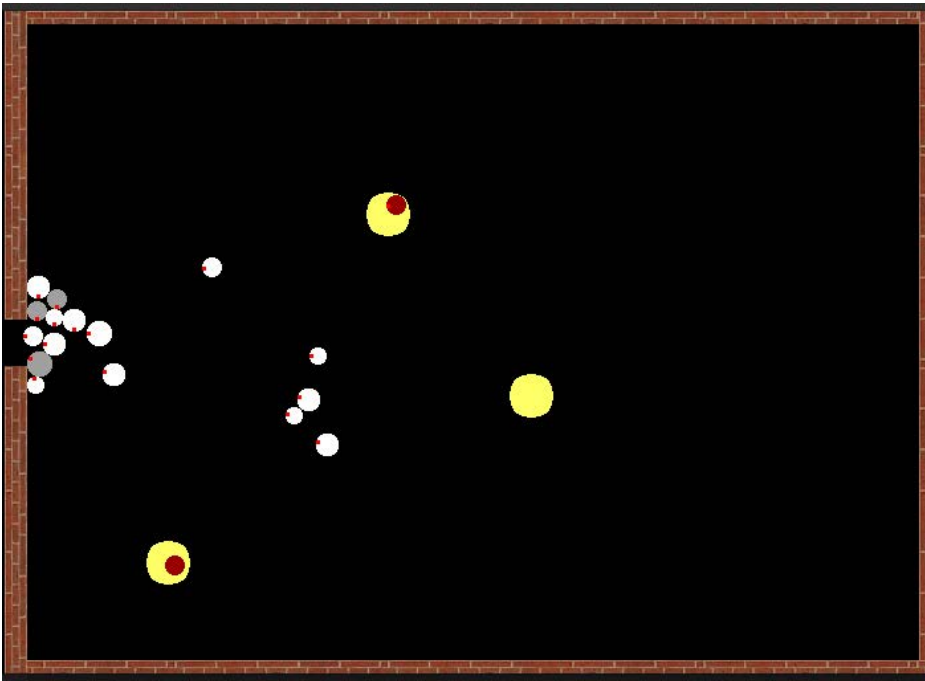
(γ)



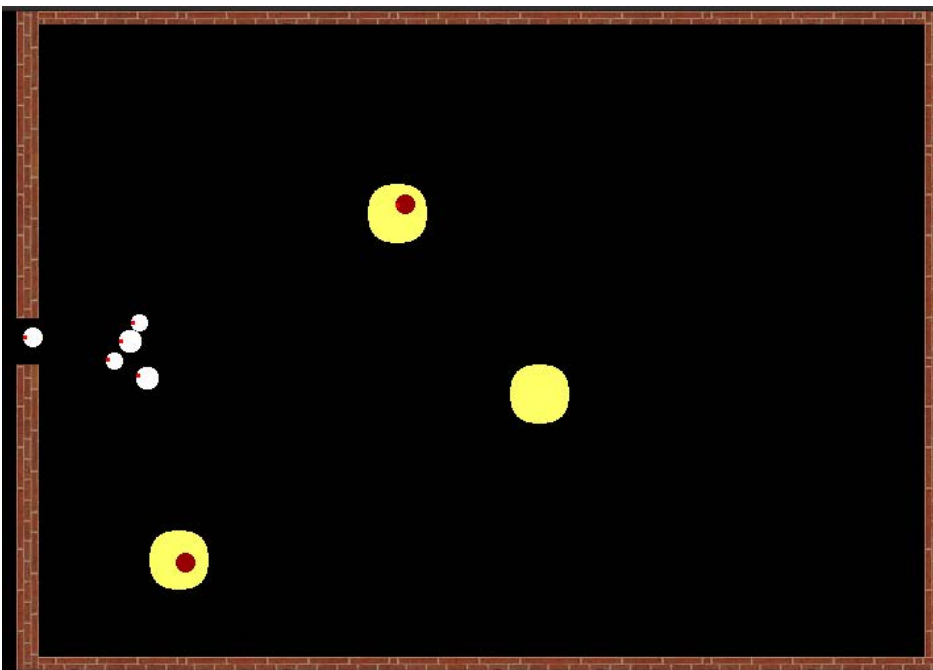
(δ)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(ε)



(ζ)

Σχήμα 53. Περίπτωση προσομοίωσης εκκένωσης χώρου με ταυτόχρονη διάδοση φωτιάς για διαδοχικά βήματα και με μεγάλο πλήθος ανθρώπων.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

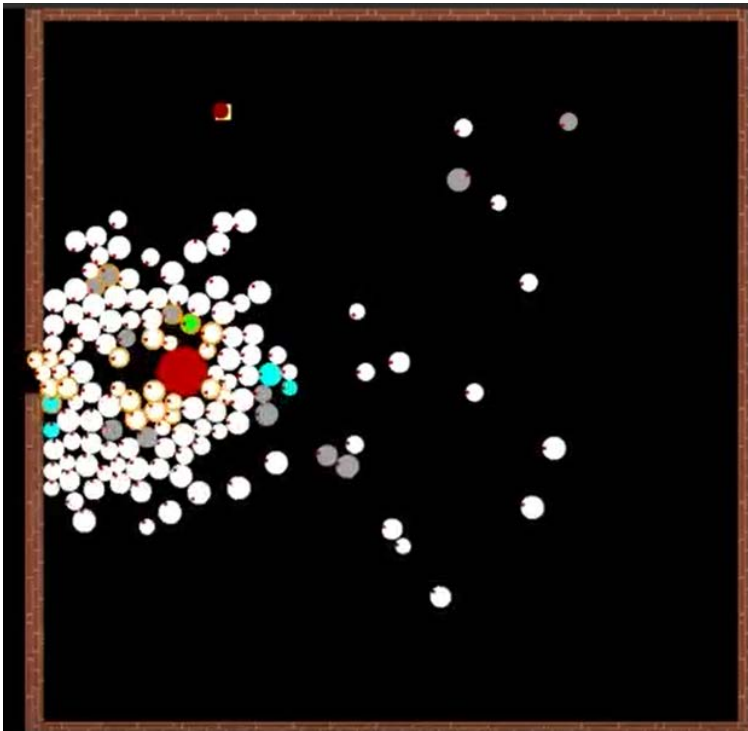
Παρατηρούμε Σχήματα 53 (α), (β), (γ), (δ), (ε), (ζ) την εξέλιξη της προσομοίωσης ανά συγκεκριμένα βήματα. Ακόμα, είναι εμφανές ότι στο Σχήμα 53 (δ) σχηματίζεται ο αναμενόμενος θόλος μπροστά από την έξοδο όπου συσσωρεύονται τα άτομα. Ο αριθμός βημάτων προσομοίωσης εκκένωσης χώρου είναι 2517 time steps και ο ρεαλιστικός χρόνος προσομοίωσης 26 sec.

Στα κτίρια είναι αρκετά πιθανή η ύπαρξη φυσικών ή τεχνητών στατικών εμποδίων καθώς και η ύπαρξη υλικών με διαφορετική συμπεριφορά καύσης. Οι διαφορετικές αυτές ιδιότητες δημιουργούνται ανομοιογενή εξέλιξη στην διάδοση της φωτιάς. Το πεδίο αυτό που δημιουργεί την ανομοιογένεια στην διάδοση της πυρκαγιάς μπορεί να οριστεί ως ένα πεδίο καυσίμου το οποίο θα επιταχύνει την διάδοση σε ορισμένα σημεία του χρόνου και θα την επιβραδύνει σε κάποια άλλα σημεία του χώρου εκκένωσης. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό προσδίδει ρεαλιστικά χαρακτηριστικά στο μοντέλο. Στο μοντέλο που περιγράφεται, οι άνθρωποι αποδιδόμενοι ως καταστάσεις των κυψελίδων του Κ.Α. προσεγγίζουν σχεδόν το χαρακτηριστικό αυτό της διάδοσης και την αποφυγή του σύμφωνα με τον κανόνες που περιγράφονται στην προηγούμενη ενότητα.

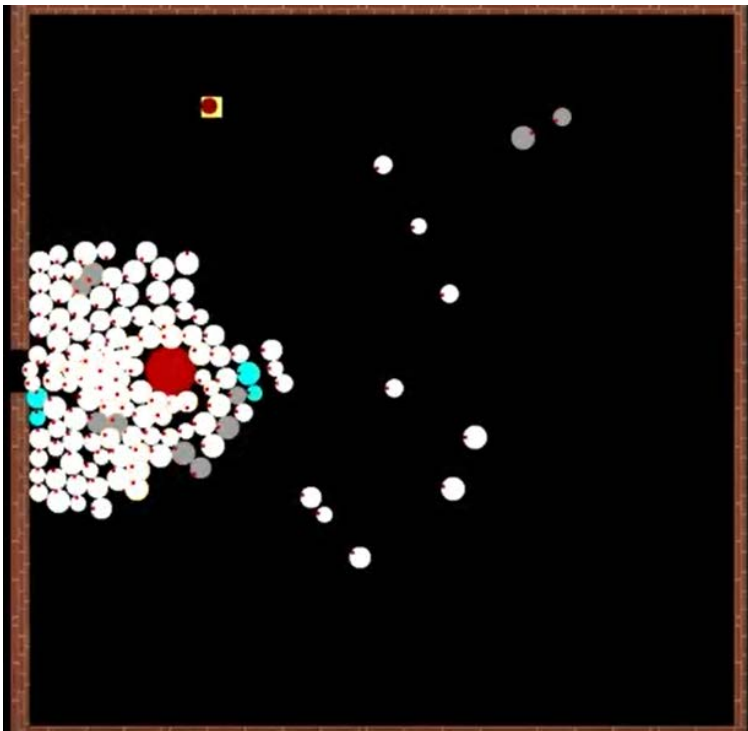
Σε αυτήν την προσομοίωση χρησιμοποιείται ένα χώρος διαστάσεων 500×500 (pixels) ή $10,5\text{m} \times 10,5\text{m} = 110,25\text{m}^2$. Η έξοδος έχει άνοιγμα 40 pixels ή 0,84 m. Ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν είναι $N = 150$ και 1 εστία ανομοιογενούς εξάπλωσης φωτιάς. Στην προσομοίωση συμμετέχουν άτομα με διάφορα μεγέθη και ταχύτητες. Οι χρόνοι εκκένωσης που προκύπτουν μπορούν να χαρακτηριστούν ιδανικοί, αφού χρησιμοποιούνται τυχαία μεγέθη ατόμων για τις ανάγκες της παρουσίασης, πράγμα που σημαίνει ότι εμπεριέχονται και αρκετοί άνθρωποι με πολύ μικρό καταλαμβανόμενο εύρος χώρου (μικρά παιδιά), κάτι που δε συμβαίνει στην πραγματικότητα, αφού δε θα μπορούσαν να βρίσκονται μόνα τους χωρίς συνοδεία. Στις εικόνες παρουσιάζονται στιγμιότυπα από την προσομοίωση με νεκρούς.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



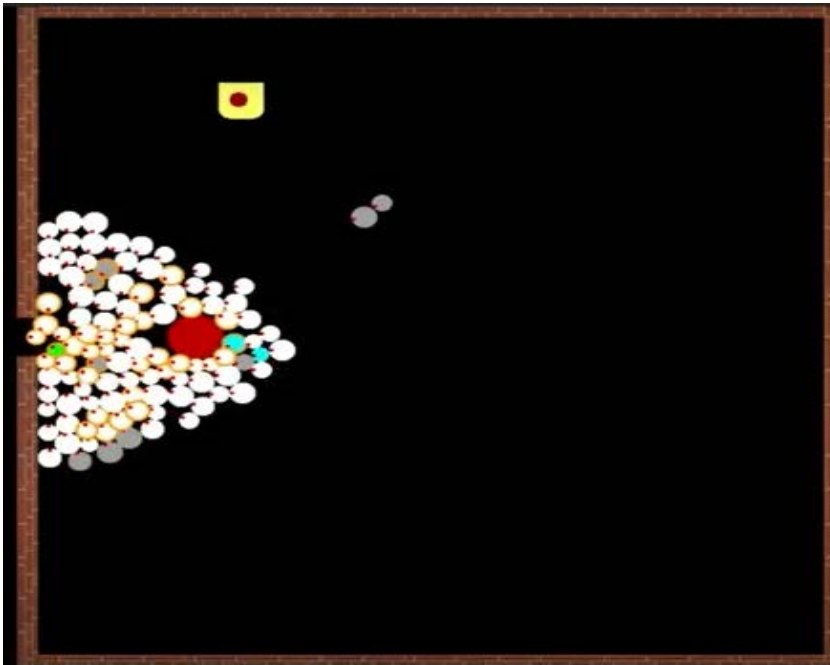
(α)



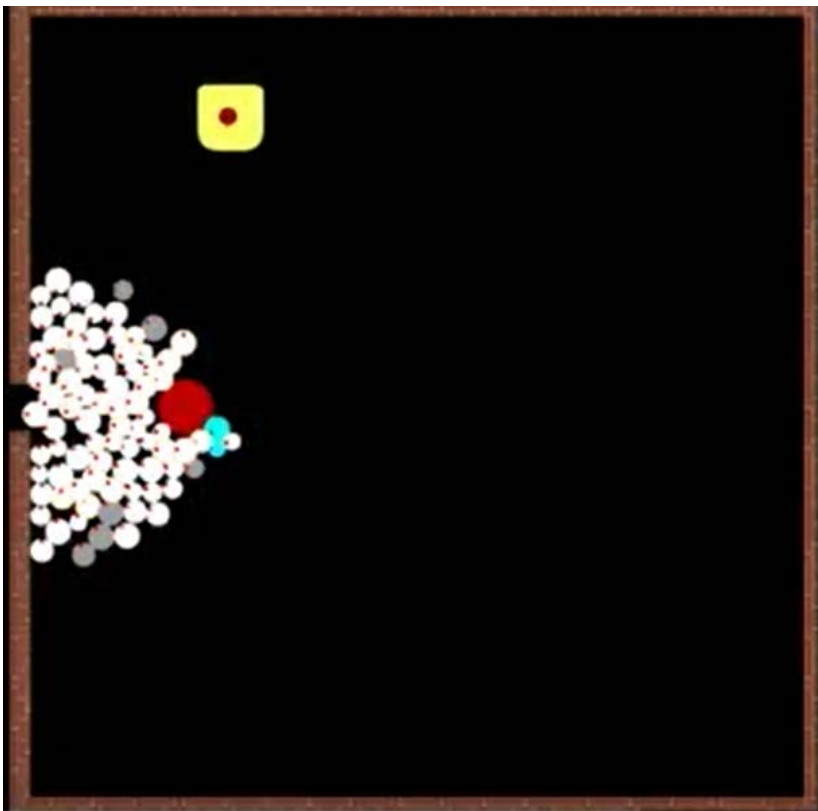
(β)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



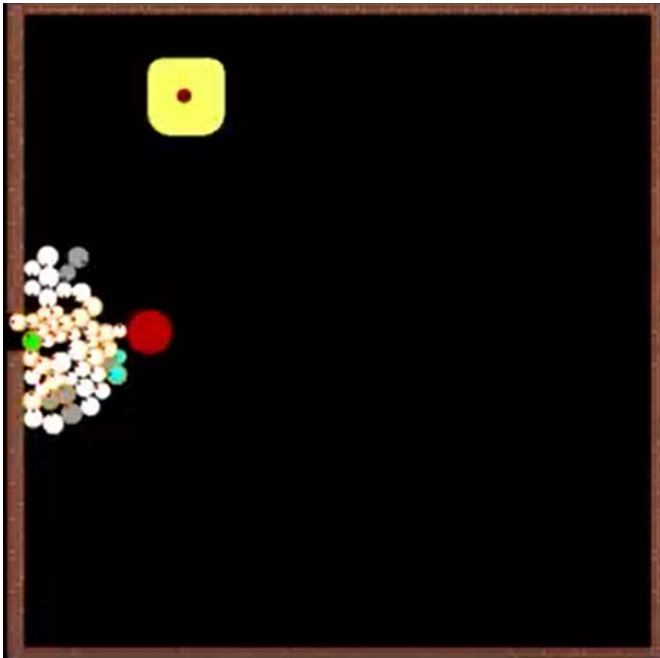
(γ)



(δ)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



(ε)

Σχήμα 54. Περίπτωση προσομοίωσης εκκένωσης χώρου με ταυτόχρονη διάδοση φωτιάς για διαδοχικά βήματα και για διαφορετική τοπολογία εσωτερικού χώρου.

Παρατηρούμε στις Εικόνες 54 (α), (β), (γ), (δ), (ε), (ζ) την εξέλιξη της προσομοίωσης ανά συγκεκριμένα βήματα. Ακόμα, είναι εμφανές ότι στα παραπάνω στιγμιότυπα της προσομοίωσης σχηματίζεται εμφανίζεται το φαινόμενο του πεδίου καύσιμο καθώς παρατηρείται ευκολότερη διάδοση της φωτιάς στον κατακόρυφο άξονα με κατεύθυνση διάδοσης προς τα κάτω σε αντίθεση με την διάδοση στον ίδιο άξονα με κατεύθυνση προς τα πάνω. Ο αριθμός βημάτων ολοκλήρωσης της προσομοίωσης εκκένωσης χώρου είναι 5296 time steps και ο ρεαλιστικός χρόνος προσομοίωσης 55 sec.

Αλγόριθμος Ανίχνευσης και Παρακολούθησης

Αιτιολόγηση Ενσωμάτωσης και Περιγραφή

Σημαντικός παράγοντας για την εύρυθμη λειτουργία του μοντέλου είναι η επικαιροποιημένη αρχικοποίησή του. Αυτή βασίζεται σε συλλογή δεδομένων από υφιστάμενο δίκτυο αισθητήρων που καθορίζουν την αρχική κατανομή του πλήθους στο χώρο. Ως αισθητήρες ορίζουμε οποιοδήποτε ηλεκτρονική συσκευή που μπορεί να συλλέξει δεδομένα, όπως π.χ. στην επιχειρούμενη περίπτωση κάμερες. Έτσι, η ενσωμάτωση των αρχικών συνθηκών στο υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης της κίνησης του πλήθους και η έναρξη προσομοίωσής του βασίζεται σε αναβαθμισμένη εφαρμογή αλγορίθμου που ενσωματώνει διαδικασίες ανίχνευσης εμφάνισης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κίνησης σε πραγματικό χρόνο [136]. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, άπλα φίλτρα προωθούνται σε ένα γενικό ταξινομητή και η ανίχνευση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή κατάλληλων κατωφλίων σε ένα γραμμικό συνδυασμό των φίλτρων αυτών. Κάθε στιγμή τα άτομα που έχουν ανιχνευτεί και συναποτελούν το πλήθος μπορούν αμέσως να οριστούν ως οι αρχικές συνθήκες του του μοντέλου εκτίμησης της κίνησης του πλήθους που βασίζεται στα ΚΑ, εκμεταλλευόμενο έτσι την ενδογενή τους ικανότητα να αναπαριστούν αποτελεσματικά φαινόμενα τυχαίας πολυπλοκότητας. Το μοντέλο συνδυάζει τα δυναμικά αυτά πεδία για να ενσωματώσει ευελιξία στις κινήσεις των ατόμων.

Η έρευνα της συμπεριφοράς του πλήθους έχει αποδείξει ότι τα άτομα σε τέτοιες καταστάσεις αναπτύσσουν ομαδική συμπεριφορά και συνωστίζονται με αποτέλεσμα να καθίστανται μη ικανά στην αποτελεσματική χρήση των μέσων που παρέχονται σε επείγουσες περιπτώσεις [137]. Η λεπτομερής μελέτη οπτικών συστημάτων παρακολούθησης με σκοπό την αποδοτική διαχείριση καταστάσεων συνωστισμού, από τη φύση τους δυναμικών, έχει οδηγήσει στη δημιουργία ποικίλων εφαρμογών. Έτσι, παράλληλα με την εμβάθυνση στη δυναμική της κίνησης του πλήθους, σημαντικό ρόλο στη διαχείριση της ασφάλειας του πλήθους παίζει η παρακολούθηση με οπτικά μέσα-αισθητήρες. Το μείζον πρόβλημα στην αποτελεσματική παρακολούθηση είναι ο χειρισμός των καταστάσεων συμφόρησης. Τυπικά, κατά τη διάρκεια της συμφόρησης είναι ορατά μόνο τμήματα κάθε αντικειμένου και συχνά σε πολύ χαμηλή ανάλυση. Η οπτική παρακολούθηση σε δυναμικές καταστάσεις εστιάζει στην ανίχνευση, αναγνώριση και παρακολούθηση συγκεκριμένων αντικειμένων από τις ακολουθίες εικόνων ή ακόμη στην κατανόηση και περιγραφή συμπεριφορών των αντικειμένων. Η εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο συστημάτων επεξεργασίας εικόνας είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων που υπόκεινται σε επεξεργασία. Παρόλα αυτά έχουν αναπτυχθεί αποτελεσματικά μοντέλα για την παρακολούθηση πολλών ατόμων βασισμένα σε τεχνολογία βίντεο και δίκτυα αισθητήρων [138]. Γενικά, το πλαίσιο επεξεργασίας οπτικής παρακολούθησης σε δυναμικές καταστάσεις περιλαμβάνει ένα σύνολο από διαδοχικά στάδια που περιλαμβάνουν μοντελοποίηση του περιβάλλοντος χώρου, ανίχνευση της κίνησης, κατηγοριοποίηση των κινούμενων αντικειμένων, παρακολούθηση και αναγνώριση από πολλές κάμερες [139]. Συγκεκριμένα ο στόχος της ανίχνευσης κίνησης επιτυγχάνεται με τμηματοποίηση των κινούμενων αντικειμένων και ξεχωριστή επεξεργασία τους από το υπόλοιπο της εικόνας. Η πιο κοινή μέθοδος για το σκοπό αυτό είναι η εφαρμογή αλγορίθμων αφαίρεσης του φόντου (background subtraction algorithms), έτσι ώστε οι πληροφορίες στο προσκήνιο να απομονωθούν. Στη συνέχεια εφαρμόζεται τμηματοποίηση των εικονοστοιχείων του προσκήνιου [138]. Η μέθοδος είναι απλή αλλά εξαιρετικά ευαίσθητη σε αλλαγές σε δυναμικά σκηνικά. Η μέθοδος που βασίζεται σε οπτική ροή (optical flow) χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά διανυσμάτων ροής σε κινούμενα αντικείμενα στο χρόνο για να ανιχνεύσει κινούμενες περιοχές στο τμήμα μιας εικόνας [140]. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης έγκειται στο γεγονός ότι είναι υπολογιστικά περίπλοκη και πολύ ευαίσθητη στο θόρυβο. Συνεπώς, δύσκολα μπορεί να εφαρμοστεί σε ροές βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Μια άλλη συμβατική προσέγγιση είναι αυτή της χρονικής διαφοροποίησης (temporal differencing) η οποία κάνει χρήση των διαφορών ενός εικονοστοιχείου μεταξύ δυο διαδοχικών πλαισίων σε μια αλληλουχία εικόνων με σκοπό την εξαγωγή των κινούμενων περιοχών. Η μέθοδος είναι πολύ προσαρμόσιμη σε δυναμικά περιβάλλοντα [136]. Η σωστή ταξινόμηση των κινούμενων αντικειμένων είναι ένα πολύ σημαντικό βήμα πριν την παρακολούθηση. Είναι ένα βασικό ζήτημα της αναγνώρισης προτύπων που βασίζεται συνήθως είτε στα χαρακτηριστικά του σχήματος (π.χ. πρότυπα ανθρώπινου σώματος) [141] ή σε χαρακτηριστικά κίνησης των προς κατηγοριοποίηση αντικειμένων (π.χ. περιοδικές ιδιότητες κινούμενων αντικειμένων) [142]. Η παρακολούθηση των κινούμενων αντικειμένων επιτυγχάνεται τελικά με τη σύγκριση διαδοχικών πλαισίων κάτω από διάφορα κριτήρια. Μια τυπική παρακολούθηση στο χρόνο περιλαμβάνει αντικείμενα αντιστοίχισης σε διαδοχικά πλαίσια χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά όπως σημεία, γραμμές ή ομαδοποιημένα εικονοστοιχεία (blobs). Οι μέθοδοι παρακολούθησης κάνουν χρήση μαθηματικών εργαλείων όπως τα φίλτρα Kalman, τα δίκτυα του Bayes [143]. Στη βιβλιογραφία καταγράφονται διάφορες μέθοδοι παρακολούθησης. Υπάρχουν αλγόριθμοι που εφαρμόζουν την παρακολούθηση βασιζόμενοι σε μεταβολές γύρω από τις περιοχές της εικόνας που αντιστοιχίζονται σε κινούμενα αντικείμενα [144]. Μια άλλη προσέγγιση που μειώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα εκτελεί την παρακολούθηση ανανεώνοντας δυναμικά γραφήματα που αντιστοιχούν στα περιγράμματα κινούμενων στοιχείων [145]. Επιπλέον, η παρακολούθηση που βασίζεται σε αντιστοιχίσεις εφαρμόζεται είτε εξάγοντας στοιχεία με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και αντιστοιχίζοντας χαρακτηριστικά μεταξύ ατόμων [146] ή αντιστοιχίζοντας στοιχεία εικόνων σε μοντέλα σε βάσεις δεδομένων [147].

Σχετικά με τη συμφόρηση, το πρόβλημα μπορεί δύσκολα να διευθετηθεί από τη στιγμή που η τμηματοποίηση της κίνησης μπορεί να καταστεί μη ρεαλιστική. Όταν πολλαπλά κινούμενα αντικείμενα φράσσουν το ένα το δρόμο του άλλου κυρίως όταν οι ταχύτητες τους, οι κατευθύνσεις και τα σχήματά τους μοιάζουν πολύ, οι περιοχές κίνησής τους συγχωνεύονται καθιστώντας την εύρεση και την παρακολούθησή τους εξαιρετικά δύσκολη. Ο χειρισμός του προβλήματος χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους στις διαθέσιμες πληροφορίες εικόνων υποβαθμίζει σημαντικά την απόκριση του συστήματος.

Στην [148] προτείνεται ένας συνδυασμός μέτρων σε ότι αφορά το πρόβλημα της διαχείρισης της κίνησης του πλήθους. Στη σχεδίαση δημόσιων εγκαταστάσεων θα πρέπει να αποφεύγεται η κατασκευή χώρων που καταλήγουν σε στενούς διαδρόμους (bottlenecks) ή αντικειμένων που εμποδίζουν την ομαλή ροή του πλήθους. Επιπλέον, θα πρέπει να αποφεύγονται η δημιουργία ροών αντίθετης κατεύθυνσης και η διασταύρωση κινούμενων ροών, ενώ η ικανότητα ροής προς την έξοδο θα πρέπει να παραμένει τουλάχιστο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης ίση με την ικανότητα ροής από την είσοδο. Οι περιοχές συγκέντρωσης θα πρέπει να παρακολουθούνται με οπτικά μέσα-αισθητήρες, και επιπλέον να καταστρώνονται και να δοκιμάζονται εκ των προτέρων σχέδια έκτακτων καταστάσεων. Προς αυτή την κατεύθυνση, της προληπτικής διαχείρισης, το προτεινόμενο σύστημα συνιστά μια εφαρμογή που σκοπό έχει και την αποτελεσματική αντιμετώπιση της συμφόρησης.

Η διαδικασία αρχικοποίησης λαμβάνει χώρα με τη βοήθεια ενός αλγορίθμου ανίχνευσης και παρακολούθησης που υποστηρίζεται από κάμερες παρέχοντας τη θέση των ατόμων στο χώρο γύρω από τα σημεία εξόδου. Με αυτό τον τρόπο, το μοντέλο μπορεί να αρχικοποιείται ανά πάσα στιγμή. Ο ρόλος του αλγορίθμου ανίχνευσης δεν περιορίζεται μόνο στη δυναμική αρχικοποίηση του μοντέλου εκτίμησης της κίνησης. Παράλληλα, λειτουργεί και ως μηχανισμός ελέγχου και διόρθωσής του, συγκρίνοντας περιοδικά την απόκριση του μοντέλου με την παρακολούθηση των ατόμων που το ίδιο επιτυγχάνει. Έτσι, σε περίπτωση εκτεταμένης διαφοροποίησης των δύο εργαλείων, το μοντέλο ΚΑ εκτίμησης της κίνησης του πλήθους αρχικοποιείται εκ νέου σύμφωνα με τα τρέχοντα δεδομένα του αλγορίθμου παρακολούθησης.

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης και παρακολούθησης έχει αρχικά προταθεί από τους Viola, Jones και Snow [136] και ενσωματώνει διαδικασίες ελέγχου τόσο της εμφάνισης όσο και της κίνησης σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Η προσπάθεια υλοποίησής του από τον Alldrin [149], η οποία αξιολογεί τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του αλγορίθμου αυτού αποδείχτηκε χρήσιμη. Ο αλγόριθμος έχει εμπλουτιστεί περαιτέρω με χρήσιμα χαρακτηριστικά σε διάφορα στάδια ενισχύοντας την εφαρμοσιμότητά του. Ζητήματα ανάλυσης του αρχείου βίντεο στις εικόνες από τις οποίες αποτελείται καθώς και οι διαδικασίες εισόδου των δεδομένων στο σύστημα πρόληψης έχουν αντιμετωπιστεί με επιτυχία.

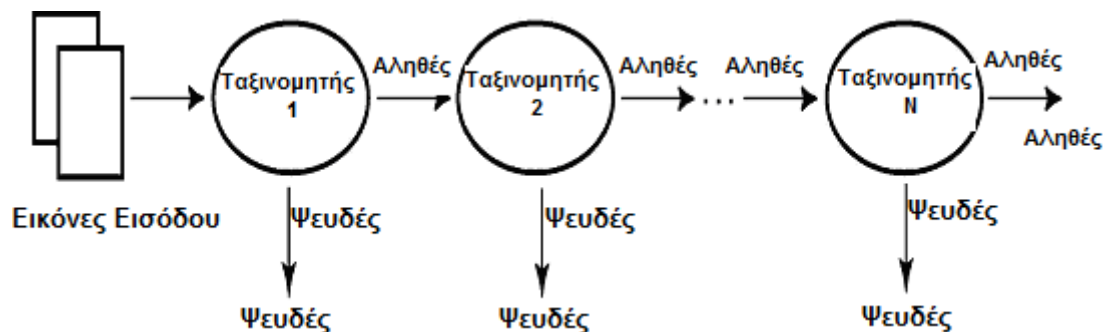
Η μέθοδος βασίζεται σε ένα σύνολο από απλά φίλτρα αθροίσματος εικονοστοιχείων (sum-of-pixel filters) τα οποία προωθούνται και ενισχύονται σε έναν τελικό ταξινομητής ανίχνευσης ατόμων. Ο όρος αυτοδιέγερση (boosting) αναφέρεται στο γενικότερο ζήτημα δημιουργίας ενός ακριβούς κανόνα πρόγνωσης που θα προκύπτει από απλές και σχετικά ανακριβείς αδύναμες υποθέσεις. Υπολογιστικά, υλοποιείται ως ένας αλγόριθμος εκμάθησης μηχανής για την εκτέλεση επιβλέπουσας εκμάθησης (supervised learning). Η τελευταία είναι μια τεχνική με την οποία συνάγεται μια συνάρτηση από ένα σύνολο δεδομένων που εκπαιδεύονται και η οποία αποτελείται από ζεύγη στοιχείων εισόδου και επιθυμητών εξόδων. Η έξοδος της συνάρτησης ταξινομεί το στοιχείο εισόδου.

Η διαδικασία αυτοδιέγερσης ξεκινά με τη διοχέτευση ενός συνόλου υποδειγμάτων εκπαίδευσης $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$, όπου y_i είναι ένα αποτέλεσμα που συνδέεται με ένα γεγονός x_i ; για παράδειγμα, το x_i μπορεί να είναι ένα παρατηρούμενο γεγονός σχετιζόμενο με ένα αγώνα και y_i το αποτέλεσμα του



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης συγκεκριμένου αγώνα. Σε κάθε γύρο $t = 1, \dots, T$, κατά τη διαδικασία προώθησης, μια κατανομή παραδειγμάτων εκπαίδευσης D_t διαιρείται σε σύνολα παραδειγμάτων και επιδιώκεται η ορθότητα μιας αδύναμης υπόθεσης h_t με μικρό λάθος ϵ_t , σε σχέση με την κατανομή αρχική D_t . Έτσι, η κατανομή D_t καθορίζει τη σχετική σημαντικότητα κάθε παραδείγματος στον τρέχοντα γύρο. Μετά από T γύρους, η διαδικασία προώθησης θα πρέπει να μπορεί να συνδυάζει τις αδύναμες υποθέσεις σε ένα και μόνο ισχυρό κανόνα πρόγνωσης [150].

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος που υιοθετείται για την εκπαίδευση του ανιχνευτή και που υλοποιεί την παραπάνω τεχνική είναι ο AdaBoost. Ετυμολογικά προέρχεται από την σύντμηση των λέξεων Adaptive Boosting (προσαρμοσμένη αυτοδιέγερση). Ενώ η τεχνική της ενίσχυσης δεν είναι αλγοριθμικά περιορισμένη, ο AdaBoost αποτελείται από ένα σύνολο ασθενών ταξινομητών (weak classifier) που εκπαιδεύονται επαναληπτικά σε σχέση με μια κατανομή δεδομένων D_t , προσθέτοντάς τους στον τελικό ισχυρό ταξινομητή (strong classifier) (αρχιτεκτονική καταρράκτη (cascade architecture), Σχήμα 55).



Σχήμα 55. Η εικόνα εισόδου περνά από μία σειρά ταξινομητών. Αναγνωρίζεται ως άτομο αν περάσει από όλους τους ταξινομητές. Η διαδικασία αναγνώρισης σταματά αν η εικόνα αποτύχει σε κάποιο στάδιο.

Ο αδύνατος ταξινομητής ορίζεται ως τέτοιος όταν είναι ελάχιστα σχετιζόμενος με την πραγματική κατηγοριοποίηση δηλαδή μπορεί να κατηγοριοποιήσει απλά καλύτερα από ένα τρόπο τυχαίας επιλογής. Σε αντίθεση ο τελικός εύρωστος ταξινομητής έχει πολύ καλή συσχέτιση με την πραγματική κατηγοριοποίηση. Ο AdaBoost καλεί έναν αδύνατο ταξινομητή επαναλαμβανόμενα για μια σειρά από κύκλους, $t = 1, \dots, T$. Για κάθε κλίση η κατανομή των βαρών ανανεώνεται καταδεικνύοντας κάθε φορά τη σημαντικότητα κάθε παραδείγματος από το σύνολο δεδομένων προς κατηγοριοποίηση. Σε κάθε κύκλο εκμάθησης, τα βάρη ενός λανθασμένα κατηγοριοποιημένου παραδείγματος αυξάνονται ή εναλλακτικά τα βάρη κάθε σωστά κατηγοριοποιημένου παραδείγματος μειώνονται έτσι ώστε ο νέος ταξινομητής να εστιάσει περισσότερο στα



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
άστοχα παραδείγματα. Ο AdaBoost είναι ένας αλγόριθμος που έχει σκοπό να δομήσει έναν ισχυρό ταξινομητή από το γραμμικό συνδυασμό απλών αδύνατων ταξινομητών:

Δοθέντος $(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)$ όπου $x_i \in X$ και $y_i \in Y = \{-1, +1\}$

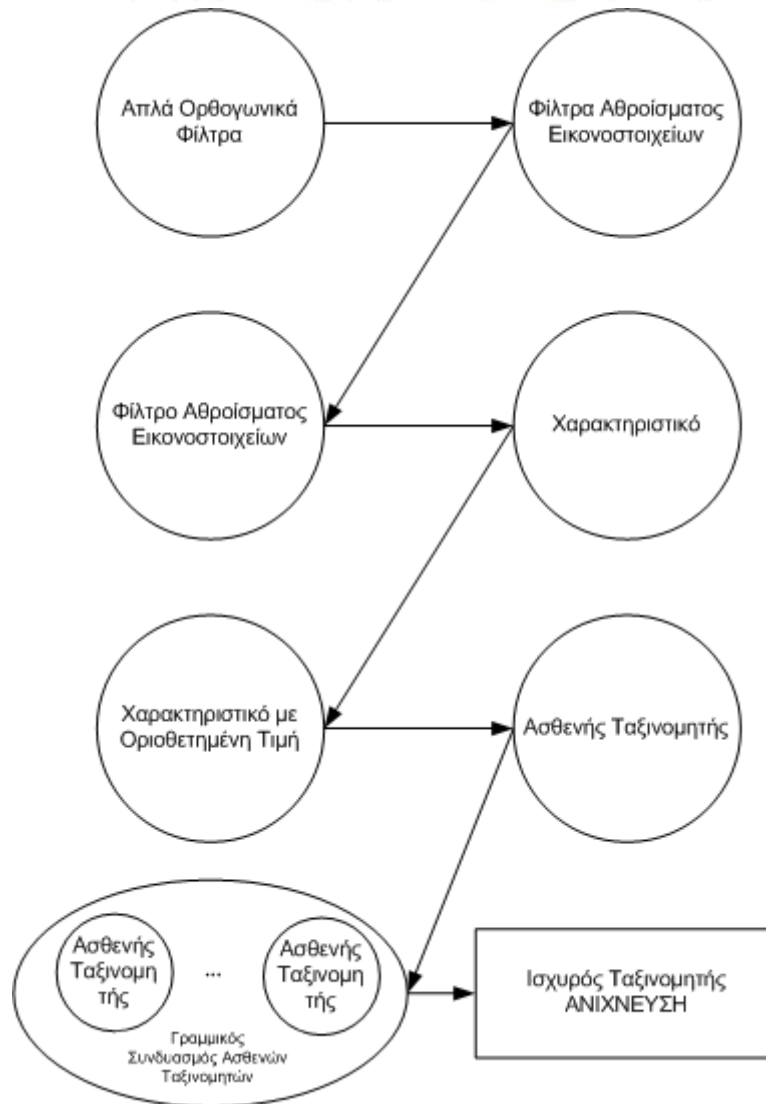
$$f(x) = \sum_{t=1}^T a_t h_t(x) \quad (36)$$

και $a_t = \frac{1}{2} \ln \frac{1-\varepsilon_t}{\varepsilon_t}$, όπου ε_t ο ρυθμός σταθμισμένου λάθους του ταξινομητή $h(t)$. Ο ταξινομητής $h(t): X \rightarrow \{-1, +1\}$ είναι ο ασθενής ταξινομητής (χαρακτηριστικό) που ελαχιστοποιεί το λάθος σε σχέση με την κατανομή δεδομένων D_t και η σχέση που ορίζει τον τελικό, δυνατό ταξινομητή είναι:

$$H(x) = \text{sign}(f(x)) \quad (37)$$

Ο αλγόριθμος εκμάθησης εφαρμόζει διαδοχικά απλά χαρακτηριστικά σε παράθυρα κάθε εικόνας που έχει προκύψει από την ανάλυση του βίντεο. Η ανίχνευση επιτυγχάνεται ορίζοντας ένα όριο στο γραμμικό συνδυασμό αυτών των απλών φίλτρων. Κάθε χαρακτηριστικό είναι ένα απλό φίλτρο αθροίσματος εικονοστοιχείων με το συγκεκριμένο βάρος και κατώφλι που του έχει αποδοθεί κατά τη διαδικασία εκμάθησης. Για λόγους καλύτερης εφαρμογής του αλγορίθμου τα χαρακτηριστικά εφαρμόζονται ακολουθιακά από το ένα φίλτρο στο άλλο έτσι ώστε μόνο περιοχές μιας εικόνας που είναι πιθανόν να περιλαμβάνουν κάποιο άτομο να εξετάζονται από τα επόμενα φίλτρα. Η απλότητα των φίλτρων επιτρέπει στον αλγόριθμο ανίχνευσης και παρακολούθησης να εκτελείται αξιοσημείωτα γρήγορα. Τα χαρακτηριστικά, τα βάρη και τα κατώφλια που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης εκπαιδεύονται με μια παραλλαγή του AdaBoost (Σχήμα 56). Οι πληροφορίες κίνησης ενσωματώνονται στη διαδικασία παρακολούθησης εξάγοντας τις διαφορές μεταξύ διαδοχικών εικόνων στο χρόνο. Ως εικόνα διαφοράς ορίζεται η εικόνα που προκύπτει από τη διαφορά δυο διαδοχικών εικόνων. Διαφοροποιημένες εκδοχές αυτών των εικόνων διαφοράς έχουν την ικανότητα να συλλαμβάνουν τοπικές αξιοποιήσιμες αλλαγές στην κίνηση. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι απαιτεί πολύ λιγότερο χρόνο και πολύ πιο απλές υπολογιστικές διεργασίες από ότι άλλες τεχνικές επεξεργασίας της κίνησης. Για παράδειγμα η οπτική ροή (optical flow) πιθανώς παρέχει πολύ περισσότερες εικόνες κίνησης από ότι οι εικόνες διαφοράς αλλά έχει απαγορευτικά υψηλές απαιτήσεις υπολογιστικής επεξεργασίας [136].

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 56. Το διάγραμμα διαδοχικών βημάτων προς την ανίχνευση.

Η δυναμική ανίχνευση ατόμων βασίζεται σε απλά ορθογωνικά φίλτρα [151]. Αυτά μετρούν τις διαφορές μεταξύ περιοχών της εικόνας σε διαφορετικές κλίμακες και γωνίες προσανατολισμού (aspect ratios). Τα φίλτρα αθροίσματος της έντασης εικονοστοιχείων συνίστανται από ένα σύνολο προσανατολισμένων ορθογώνιων: η απόκριση τους είναι το άθροισμα των εντάσεων των εικονοστοιχείων που βρίσκονται μέσα στα ορθογωνικά πλαίσια (Σχήμα 57). Τα φίλτρα αυτά μπορούν να διακρίνουν άτομα από μη άτομα και οι αποκρίσεις τους είναι αρκετά γρήγορες στον υπολογισμό τους. Η απόκριση ενός φίλτρου περιγράφεται από την εξίσωση:



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$$r_{filter} = \sum_{i=1}^n o_i r_i \quad (38)$$

όπου $o_i \in \{-1,1\}$ αναπαριστά τον προσανατολισμό κάθε ορθογωνικού πλαισίου και $r_i, i = 1, \dots, n$ την απόκριση κάθε ορθογωνίου που συναποτελεί το φίλτρο. Συγκεκριμένα, υποθέτοντας ότι I είναι η εικόνα και $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ είναι η πάνω αριστερά και κάτω δεξιά γωνίες του ορθογωνικού πλαισίου μέσα στην εικόνα, τότε η απόκριση του ορθογωνίου είναι

$$r_{rectangle} = \sum_{x=x_1}^{x_2} \sum_{y=y_1}^{y_2} I(x, y) \quad (39)$$

Πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση της κίνησης μπορούν να εξαχθούν από τη διαφορά μεταξύ της αρχικής εικόνας και διαφοροποιημένων εκδοχών της δεύτερης εικόνας. Πέντε (5) είδη διαφορετικών εκδοχών χρησιμοποιούνται, με βάση τη σχέση:

$$\begin{aligned} \Delta &= abs(I_t - I_{t+1}) \\ U &= abs(I_t - I_{t+1})_{UpShift} \\ D &= abs(I_t - I_{t+1})_{DownShift} \\ L &= abs(I_t - I_{t+1})_{LeftShift} \\ R &= abs(I_t - I_{t+1})_{RightShift} \end{aligned} \quad (40)$$

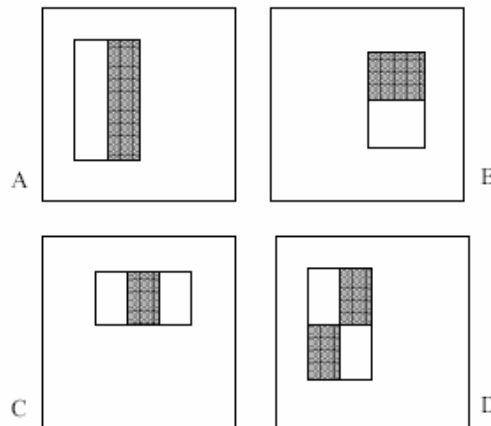
όπου I_t είναι η εικόνα στο χρόνο t και $\{UpShift, DownShift, LeftShift, RightShift\}$ οι λειτουργίες που διαφοροποιούν μια εικόνα κατά ένα εικονοστοιχείο προς τα πάνω, κάτω, αριστερά και δεξιά αντιστοίχως. Έτσι προκύπτουν οι εικόνες διαφοράς $\{\Delta, U, L, R, D\}$. Η μεταβολή της κλιμάκωσης επιτυγχάνεται κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης, απλά κλιμακώνοντας τις εικόνες-παραδείγματα από μια βασική ανάλυση των 20×15 εικονοστοιχείων. Η διαβάθμιση της κλιμάκωσης στην ανίχνευση λαμβάνει χώρα εφαρμόζοντας τις αντίστοιχες διαδικασίες σε εικόνες κλιμακωτά σε μορφή πυραμίδας. Οι βάσεις των πυραμιδικών δομών είναι οι εικόνες I_t και I_{t+1} . Κάθε επίπεδο ℓ της πυραμιδικής αναπαράστασης για τις εικόνες διαφοράς $\{\Delta, U, L, R, D\}$ δημιουργούνται κλιμακώνοντας πρώτα την αρχική εικόνα εισόδου κατά έναν παράγοντα κλιμάκωσης s_ℓ και σχηματίζοντας τις αντίστοιχες εικόνες διαφοράς για αυτή την κλίμακα, όπως περιγράφεται από τη σχέση:



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$$\begin{aligned}
 \Delta^l &= abs(I_t^l - I_{t+1}^l) \\
 U^l &= abs(I_t^l - I_{t+1}^l)_{UpShift} \\
 D^l &= abs(I_t^l - I_{t+1}^l)_{DownShift} \\
 L^l &= abs(I_t^l - I_{t+1}^l)_{LeftShift} \\
 R^l &= abs(I_t^l - I_{t+1}^l)_{RightShift}
 \end{aligned}
 \tag{41}$$

Η κλιμάκωση σταματά όταν η εικόνα I^l έχει ανάλυση μικρότερη από 20×15 εικονοστοιχεία.



Σχήμα 57. Απλά ορθογωνικά φίλτρα. Οι εντάσεις των εικονοστοιχείων εντός των λευκών περιοχών αφαιρούνται από τις αντίστοιχες εντός των σκουρόχρωμων.

Ο αλγόριθμος έχει εμπλουτιστεί περαιτέρω, εντάσσοντας σε αυτόν μηχανισμούς επεξεργασίας και διάσπασης στις εικόνες που το συναποτελούν των αρχείων βίντεο. Επίσης, έχουν ενισχυθεί οι διαδικασίες φιλτραρίσματος, βελτιώνοντας, έτσι, την αποδοτικότητά του και διευρύνοντας την εφαρμοσιμότητά του. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά περιγράφονται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

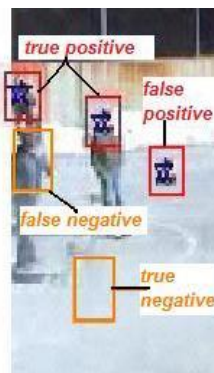
Τέλος, στην πράξη, είναι πολύ πιθανή η εμφάνιση παρεμπόδισης και αποκλεισμού από την ανίχνευση μεταξύ διαφορετικών κινούμενων ατόμων ή μεταξύ κινούμενων ατόμων και του περιβάλλοντος (στο υπόβαθρο). Σε αυτή την περίπτωση, η υποστήριξη του αλγόριθμου ανίχνευσης με περισσότερες κάμερες και η επιλογή κάθε φορά της καλύτερης και καθαρότερης εικόνας λήψης, θα μπορούσε να αποτελέσει μια αποτελεσματική μέθοδο αντιμετώπισης παρόμοιων φαινομένων αυτό-αποκλεισμού ή αμοιβαίου αποκλεισμού ατόμων από την ανίχνευση [152]



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Προκαταρκτικές Διαδικασίες στη Μεθοδολογία

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης και παρακολούθησης που υλοποιεί την διαδικασία αρχικοποίησης απαιτεί τέσσερα προκαταρκτικά βήματα που επιτρέπουν την εκπαίδευσή του. Ο ανθρώπινος παράγοντας είναι απαραίτητος σε αυτή τη διαδικασία. Το πρώτο βήμα ορίζει την ανάλυση του βίντεο στις εικόνες από τις οποίες αποτελείται ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της εκπαίδευσης. Στον αλγόριθμο, λοιπόν, ενσωματώθηκε κώδικας ο οποίος λαμβάνει το αρχείο βίντεο ως είσοδο και το αναλύει αυτόματα στις εικόνες που το δομούν στην έξοδο με την κατάλληλη προτυποποίηση, έτσι ώστε να ταιριάζει στις προϋποθέσεις του επόμενου σταδίου εκπαίδευσης. Οι εικόνες αριθμούνται και αποθηκεύονται σε ένα προκαθορισμένο αρχείο σε χρονικό διάστημα της τάξης ελάχιστων (π.χ. 3-4) δευτερολέπτων.



Σχήμα 58. Θετικά παραδείγματα (κόκκινα ορθογωνικά πλαίσια με μπλε αστέρι στη μέση) και αρνητικά παραδείγματα (κίτρινα ορθογωνικά πλαίσια). Η εικόνα δείχνει δύο αληθή και ένα ψευδές θετικό παράδειγμα, ένα αληθές αρνητικό κι ένα ψευδές αρνητικό.

Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τον καθορισμό των παραδειγμάτων εκπαίδευσης, τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών. Με τον όρο θετικό εννοούμε παραδείγματα εκπαίδευσης όπου σημαδεύονται με τετραγωνικά πλαίσια κινούμενα αντικείμενα ενώ στην περίπτωση που σημαδεύονται ορθά περιοχές εικόνας που δεν περιλαμβάνουν κινούμενα αντικείμενα έχουμε τα αρνητικά παραδείγματα. Τα θετικά και τα αρνητικά παραδείγματα μπορεί να είναι αληθή ή ψευδή, όπως απεικονίζονται π.χ. στο (Σχήμα 58). Σύμφωνα με αυτό το τμήμα της εκπαίδευσης επιλέγεται ένας αριθμός από αληθή θετικά παραδείγματα σε διαδοχικές εικόνες και σε διάφορες κλίμακες, ώστε ο αλγόριθμος να καταστεί ικανός να βρίσκει όλα τα πιθανά κινούμενα αντικείμενα οπουδήποτε και αν εμφανίζονται και με οποιοδήποτε μέγεθος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των παραδειγμάτων τόσο πιο ακριβής γίνεται ο αλγόριθμος αλλά με το αντίστοιχο κόστος χρόνου. Η ίδια μεθοδολογία ακολουθείται ώστε να καταστεί ο αλγόριθμος ικανός να ξεχωρίζει αρνητικά παραδείγματα, δηλαδή να αποφασίζει αποτελεσματικά αν ένα συγκεκριμένο τμήμα της εικόνας αντιστοιχεί σε κινούμενο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
αντικείμενο ή σε στατικό υπόβαθρο. Ο χρόνος υλοποίησης του συγκεκριμένου σταδίου δεν υπερβαίνει
μερικές δεκάδες λεπτών.

Αμέσως μόλις ολοκληρωθεί αυτό το βήμα λαμβάνει χώρα η τρίτη προκαταρκτική διαδικασία που
περιλαμβάνει τη δημιουργία όλων των φίλτρων. Ένα φίλτρο παριστάνεται ως ένα σύνολο θετικών και/ή
αρνητικών ορθογωνικών πλαισίων που καθένα σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο τύπο εικόνας (εξισώσεις 40
και 41). Έτσι, δημιουργούνται δύο τύποι φίλτρων, τα φίλτρα εμφάνισης και τα φίλτρα κίνησης. Τέσσερα
βασικά είδη φίλτρων εμφάνισης υλοποιούνται: με δύο, τρία, τέσσερα και έξι ορθογωνικά πλαίσια αντίστοιχα.
Στα φίλτρα κίνησης διακρίνουμε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη δημιουργείται από τα αθροίσματα των απόλυτων
διαφορών μεταξύ της εικόνας δI και μιας εκ των $\{U, D, L, R\}$:

$$f_a = r_a(\Delta) - r_a(S) \quad (42)$$

όπου $S \in \{U, D, L, R\}$ και $r_a(\)$ παριστάνει την απόκριση ενός απλού φίλτρου αθροίσματος εικονοστοιχείων.

Ο δεύτερος τύπος φίλτρων κίνησης δημιουργείται από τα φίλτρα εμφάνισης αλλά χρησιμοποιώντας μια
εκ των εικόνων $\{U, D, L, R\}$:

$$f_b = \varphi_b(S) \quad (43)$$

όπου $\varphi_b(\)$ είναι η απόκριση ενός από τα φίλτρα αθροίσματος εικονοστοιχείων που χρησιμοποιούνται για
την εξαγωγή πληροφοριών εμφάνισης.

Η τρίτη κατηγορία βασίζεται στο μέγεθος της κίνησης στις εικόνες διαφορών $\{U, D, L, R\}$:

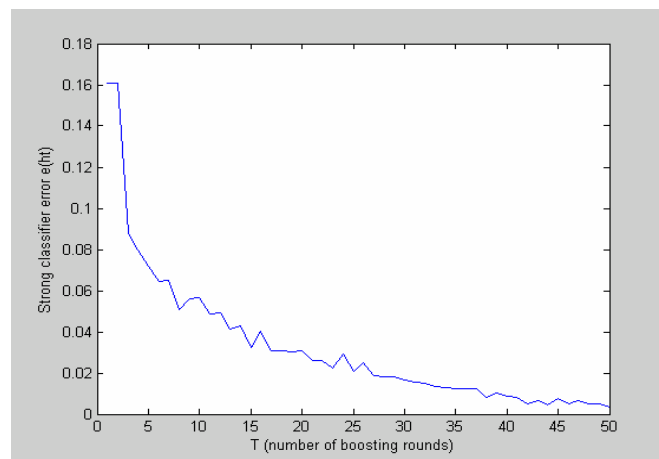
$$f_c = r_c(S) \quad (44)$$

όπου $r_c(\)$ αντιστοιχεί στην απόκριση ενός απλού φίλτρου αθροίσματος εικονοστοιχείων.

Το τελευταίο στάδιο αυτής της προκαταρκτικής διαδικασίας ολοκληρώνεται με την εκπαίδευση των
ταξινομητών και την επαλήθευση αυτής της διαδικασίας εκπαίδευσης. Η διαδικασία αυτή μπορεί να
διαρκέσει αρκετά, π.χ. μερικές ώρες. Οι ταξινομητές που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση εκπαιδεύονται
με τον αλγόριθμο AdaBoost. Η εκπαίδευση περιλαμβάνει την επιλογή ενός υποσυνόλου χαρακτηριστικών
(φίλτρων) και την απόδοση βαρών σε αυτά. Επίσης, περιλαμβάνει και την ανάθεση ορίων σε κάθε
ταξινομητή. Τα χαρακτηριστικά θεωρούνται ως αδύνατοι ταξινομητές και προωθούνται σε ένα δυνατό



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης ταξινομητή. Καθώς ο αριθμός των αδύνατων ταξινομητών αυξάνει το λάθος του δυνατού ταξινομητή μειώνεται (Σχήμα 59). Από την άλλη μεριά η μέθοδος γίνεται όλο και πιο πολύπλοκη και αυξάνει ο χρόνος εκτέλεσής της. Συνεπώς, λαμβάνει χώρα ένας συμβιβασμός μεταξύ των δυο βασικών χαρακτηριστικών, δηλαδή του αριθμού των αδύνατων ταξινομητών και του χρόνου εκτέλεσης. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι πως ορίζονται τα βέλτιστα όρια για ένα χαρακτηριστικό κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Η μέθοδος που υιοθετείται είναι μια απλοποίηση της μονομεταβλητής τετραγωνικής διακριτικής ανάλυσης (univariate quadratic discriminant analysis) [153]. Σύμφωνα με αυτήν την ανάλυση, οι αποκρίσεις των φίλτρων για τα θετικά και τα αρνητικά παραδείγματα σχηματίζουν Gaussian κατανομές. Στη συνέχεια, ο μέσος όρος των μέσων βαρών των θετικών και των αρνητικών παραδειγμάτων τίθεται ως το όριο του φίλτρου. Συνεπώς, επιλέγεται ένα όριο το οποίο προσεγγιστικά μειώνει το λάθος. Η αρχιτεκτονική καταρράκτη σχηματίζεται εκπαιδευοντας αρχικά έναν ταξινομητή και εισάγοντας στη συνέχεια όρια σε ενδιάμεσα σημεία μέσα στον ταξινομητή. Για να επιλεγεί ο αριθμός των ασθενών ταξινομητών λαμβάνουν χώρα διάφοροι έλεγχοι. Τελικά ορίστηκε ο τελικός ταξινομητής να αποτελείται από 40 ασθενείς ταξινομητές. Τα ενδιάμεσα όρια επιλέγονται έτσι ώστε τα περισσότερα αρνητικά παραδείγματα να απορρίπτονται ενώ τα περισσότερα θετικά να περνάνε.

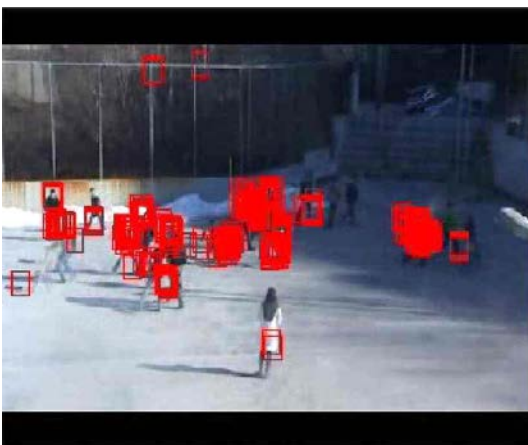


Σχήμα 59. Απεικόνιση της μείωσης του λάθους του δυνατού ταξινομητή καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ενδιάμεσων αδύνατων ταξινομητών που τον δομούν.

Μία ακόμη σημαντική επεξεργασία που λαμβάνει χώρα σύμφωνα με τη μεθοδολογία είναι η διαδικασία που καλείται φιλτράρισμα «για συγκεκριμένο σκοπό» (ad hoc filtering). Συγκεκριμένα, έχουν υιοθετηθεί μέθοδοι περαιτέρω ενίσχυσης της διαδικασίας του φιλτραρίσματος, έτσι ώστε η ανίχνευση των κινούμενων αντικειμένων να γίνει πιο ακριβής και αυστηρή. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του υπόβαθρου και εισάγοντας επιπλέον κανόνες που περιορίζουν την περιοχή



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
ανίχνευσης. Έτσι, στην περίπτωση που υπάρχουν περιοχές άνευ ενδιαφέροντος σε μία σειρά εικόνων, αυτές οι περιοχές αποκλείονται από τις διαδικασίες επεξεργασίας με κατάλληλες εντολές και η περιοχή ελέγχου ανίχνευσης περιορίζεται. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 60, το πάνω τμήμα της εικόνας δεν περιλαμβάνει πληροφορίες για άτομα και αποκλείεται από περαιτέρω διαδικασίες ελέγχου. Επιπλέον λαμβάνει χώρα περαιτέρω έλεγχος στα περιγραφικά ορθογωνικά πλαίσια που ορίζουν την ανίχνευση ενός κινούμενου αντικειμένου, στην περίπτωση που τα πλαίσια αυτά εμφανίζουν μικρές διαφορές στις θέσεις τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στη μείωση του αριθμού των ορθογωνικών πλαισίων που ανιχνεύουν ένα και μόνο πρόσωπο στην εικόνα. Συνεπώς, οι πληροφορίες ανίχνευσης γίνονται πολύ πιο εύκολα χρησιμοποιήσιμες και εκμεταλλεύσιμες και ο αυτόματος χωρικός και χρονικός ορισμός των αρχικών θέσεων των ατόμων ακριβέστερος. Το σύστημα καθίσταται ικανό να αναγνωρίζει τις θέσεις των ατόμων δυναμικά, δηλαδή από οποιαδήποτε εικόνα οποτεδήποτε αυτό εμφανίζεται και ακόμη περισσότερο να αντιστοιχίζει κάθε ανιχνευόμενο άτομο σε ένα απλό ζεύγος συντεταγμένων. Συγκεκριμένα, κάθε άτομο αναγνωρίζεται με ένα και μόνον ορθογωνικό πλαίσιο περιγραφής και με το αντίστοιχο σημείο τομής των διαμέσων ευθειών αυτού του ορθογωνίου (απεικονίζεται με ένα μπλε αστέρι στο μέσο του ορθογωνίου). Στην πραγματικότητα, η συγκεκριμένου σκοπού αυστηρότερη διαδικασία φιλτραρίσματος είναι μια εναλλακτική προσέγγιση σε μεγαλύτερες διαδικασίες εκπαίδευσης με αυξημένο αριθμό αδύνατων ταξινομητών και με μεγαλύτερες διαδικασίες αναζήτησης ορίων. Η υιοθέτηση μιας τέτοιας μεθόδου οδηγεί σε σημαντική μείωση του χρόνου εκπαίδευσης και επεξεργασίας και σε αποτελεσματικότερη χρήση των υπολογιστικών πόρων. Το Σχήμα 60 δείχνει ξεκάθαρα την επίδραση της επιπλέον διαδικασίας φιλτραρίσματος σε μια εικόνα.



(α)



(β)

Σχήμα 60. Το αποτέλεσμα της επιπλέον διαδικασίας φιλτραρίσματος σε μια εικόνα του βίντεο. (α) Η εικόνα πριν την εφαρμογή του *ad hoc* φιλτραρίσματος («συγκεκριμένου σκοπού») και (β) η ίδια εικόνα αμέσως μετά.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Τέλος, στην περίπτωση που η βιντεοσκόπηση γίνεται υπό γωνία και/ή από σχετικά χαμηλό ύψος, τότε είναι δυνατό ο καθορισμός των θέσεων των ατόμων, όπως προκύπτουν από τον αλγόριθμο ανίχνευσης και ο αντίστοιχος ορισμός των αρχικών συνθηκών του μοντέλου ΚΑ εκτίμησης της κίνησης να παρουσιάζουν σοβαρή απόκλιση. Κάτω από αντίστοιχες συνθήκες, η απευθείας εφαρμογή της απόκρισης του αλγορίθμου ανίχνευσης ως εισόδου στο μοντέλο ΚΑ εκτίμησης της κίνησης του πλήθους, εισάγει ένα λάθος στην ορθή αναπαράσταση της χωρικής κατανομής του πλήθους.

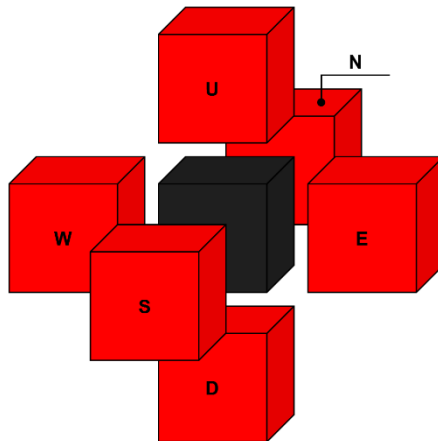
Με σκοπό, λοιπόν, την αξιόπιστη αναπαράσταση της κατανομής των ατόμων στο χώρο, έχει ενσωματωθεί στο σύστημα ένα ενδιάμεσο επίπεδο διόρθωσης της εξόδου του αλγορίθμου παρακολούθησης και της εισόδου του μοντέλου ΚΑ εκτίμησης της κίνησης του πλήθους. Αυτή η διαδικασία ξεκινά με μετατροπή των συντεταγμένων που υπολογίζονται από καρτεσιανές σε πολικές και συνεχίζει με στροφή των αξόνων ανθρωπολογικά. Η ακριβής περιστροφή, σε μοίρες, εξαρτάται από τις συνθήκες του πειράματος. Οι νέες συντεταγμένες μετατρέπονται και πάλι σε καρτεσιανές και η διαδικασία ολοκληρώνεται με μεταφορά των αξόνων, τόσο κατά την διεύθυνση του άξονα x όσο και κατά τη διεύθυνση του άξονα y .

Εμπλουτισμένο προτεινόμενο μοντέλο Κ.Α. διάδοσης φωτιάς

Περιγραφή του μοντέλου

Η Γειτονιά

Το μοντέλο χρησιμοποιεί την γειτονικά von Neumann στην αντίστοιχη τρισδιάστατη μορφή της, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 50, ως μια επιλογή που διατηρεί την πολυπλοκότητα σε χαμηλό επίπεδο, παράγοντας όμως αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η γειτονιά αποτελείται από τις 6 κοντινότερες κυψελίδες της κυψελίδας αναφοράς, οι οποίες έχουν μια κοινή πλευρά με αυτή.





Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σχήμα 61. Η γειτονιά που χρησιμοποιείται στο μοντέλο 3DCA. Τα κόκκινα κελιά αποτελούν την γειτονιά του μαύρου κελιού. Συγκεκριμένα, η γειτονιά του κελιού αναφοράς με χρώμα μαύρο περιλαμβάνει το πάνω κελί (U), το κάτω κελί (D), το κελί στα δυτικά (W), το κελί στα ανατολικά (E), το κελί στα νότια (S) και το κελί στα βόρεια (N)

Θερμική Αγωγιμότητα

Γενικά, η θερμική ενέργεια που μεταφέρεται ανά μονάδα χρόνου \dot{Q} , κατά μήκος απόστασης L , μέσω επιφάνειας εμβαδού S , για μια δεδομένη διαφορά θερμοκρασίας ΔT δίνεται από την σχέση:

$$\dot{Q} = \lambda \cdot \frac{S}{L} \cdot \Delta T \quad (45)$$

Συνοπτικά το μοντέλο περιγράφεται ως εξής: μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο γειτονικών κυψελίδων, προκαλεί την μεταφορά θερμικής ενέργειας από την πιο θερμή στην πιο ψυχρή κυψελίδα, σχέση (45), και αυτή η ενέργεια μετατρέπεται στην διαφορά θερμοκρασίας που θα προκαλέσει στην κυψελίδα αναφοράς, σχέση (5). Με άλλα λόγια, η χωρική διαφορά θερμοκρασίας μετατρέπεται σε χρονική διαφορά θερμοκρασίας για μια δεδομένη κυψελίδα. Χρησιμοποιώντας την σχέση (4) και εξισώνοντας τις σχέσεις (5) και (45) προκύπτει η παρακάτω σχέση, που συνδέει τις δύο αυτές διαφορές θερμοκρασίας.

$$\Delta T_{cell} = \lambda' \cdot \Delta t \cdot \Delta T_{neig}, \quad (46)$$

$$\lambda' = \frac{\lambda}{m \cdot c} \cdot \frac{S}{L} \quad (47)$$

$$\Delta T_{cell} = T_{cell}^{t+1} - T_{cell}^t \quad (48)$$

$$\Delta T_{neig} = T_{neig}^t - T_{cell}^t \quad (49)$$

όπου:

ΔT_{cell} = Η διαφορά θερμοκρασίας του επόμενου χρονικού βήματος με το ισχύον χρονικό βήμα που αφορά την κυψελίδα αναφοράς (K).



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΔT_{neig} = Η διαφορά θερμοκρασίας της γειτονικής κυψελίδας που εξετάζεται και της κυψελίδας αναφοράς, κατά το ισχύων χρονικό βήμα (K).

Δt = Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης (sec).

Όπως έχει αναφερθεί η θερμότητα ρέει από το θερμότερο στο ψυχρότερο σώμα. Σε ατομικό επίπεδο, αυτό συμβαίνει λόγω του ότι τα άτομα του θερμού σώματος φέρουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια η οποία μεταδίδεται στο άλλο σώμα μέσω ατομικών συγκρούσεων που συμβαίνουν στο σημείο της διαχωριστικής επιφάνειας των δύο σωμάτων. Συνεπώς, η θερμότητα μεταφέρεται σύμφωνα με την σχέση (45), χρησιμοποιώντας τον συντελεστή αγωγιμότητας του θερμού σώματος, όμως μετατρέπεται στην διαφορά θερμοκρασίας που προκαλεί, σύμφωνα με την σχέση (5), χρησιμοποιώντας τους παράγοντες μάζας και ειδικής θερμότητας του εκάστοτε σώματος που εξετάζεται. Βάσει αυτής της θεώρησης μια πιο συγκεκριμένη εκδοχή της σχέσης (47) είναι η εξής:

$$\lambda' = \frac{\lambda_h}{(m \cdot c)_c} \cdot \frac{S}{L} \quad (50)$$

όπου:

λ_h = Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της θερμότερης κυψελίδας.

$(m \cdot c)_c$ = Οι παράγοντες m και c που αφορούν την κυψελίδα που εξετάζεται.

Επομένως, η σχέση (47) επαρκεί όταν οι κυψελίδες που εξετάζονται αναπαριστούν το ίδιο υλικό, ενώ σε διαφορετική περίπτωση απαιτείται η χρήση της σχέσης (50).

Θερμική Συναγωγή

Η θερμική συναγωγή είναι φαινόμενο που εμφανίζεται σε ρευστά και αέρια, ωστόσο, το μοντέλο επικεντρώνεται κυρίως στην περίπτωση του κοινού αέρα και στην μετάδοση μέσω φυσικής συναγωγής (natural convection). Από τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτει η παρακάτω σχέση για τον ρυθμό μεταβολής της θερμικής ενέργειας λόγω θερμικής συναγωγής:

$$\dot{Q} = h \cdot S \cdot (T - T_f)^b \quad (51)$$



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σε όμοια πλαίσια με την περιγραφή νωρίτερα στην παρούσα έκθεση, η σχέση (51) σε συνδυασμό με τις σχέσεις (4) και (5) οδηγούνε στην εξίσωση που προσδιορίζει την διαφορά θερμοκρασίας που θα προκληθεί σε μια κυψελίδα, για μια δεδομένη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μιας γειτονικής κυψελίδας και της ίδιας.

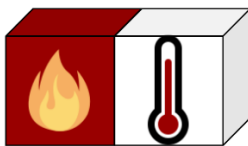
$$\Delta T_{cell} = h' \cdot \Delta t \cdot \Delta T_{neig}^b \quad (52)$$

$$h' = \frac{h}{m \cdot c} \cdot S \quad (53)$$

Η σχέση (52) εφαρμόζεται για την αλληλεπίδραση κυψελίδων που αναπαριστούν στερεό-αέρα, και αέρα-αέρα. Στην πρώτη περίπτωση, η εφαρμογή γίνεται με την προϋπόθεση η κυψελίδα του στερεού να έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από του αέρα, χρησιμοποιώντας τον συντελεστή h του αέρα και τους παράγοντες m και c της κυψελίδας που εξετάζεται. Αντίστοιχα, στην δεύτερη περίπτωση η εφαρμογή γίνεται μόνο για κάθετες μεταξύ τους κυψελίδες, ώστε να προσομοιωθεί η συμπεριφορά της μεταφοράς θερμότερου αέρα σε υψηλότερα στρώματα.

Διάδοση της Φωτιάς

Η ανάφλεξη ενός σημείου στον χώρο γίνεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε υλικού, αφού καθένα από αυτά έχει διαφορετικές θερμοκρασίες ανάφλεξης και αυτό-ανάφλεξης. Η ανάφλεξη ενός κελιού επιτυγχάνεται όταν το κελί βρεθεί πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο θερμοκρασίας, που ορίζεται από το υλικό που αντιπροσωπεύει, και ένα τουλάχιστον γειτονικό κελί βρίσκεται υπό καύση για ορισμένο χρονικό διάστημα (Σχήμα 6251). Για την αυτό-ανάφλεξη, η μόνη προϋπόθεση για να τεθεί το κελί υπό καύση είναι να ξεπεράσει ένα ανώτατο όριο θερμοκρασίας.



Εάν $(\theta > \theta_{ανάφλεξης}$ και $t_{καύσης} > t_{ανάφλεξης}$) Τότε

Θέσε την λευκή κυψελίδα υπό καύση.

Σχήμα 62. Τρόπος ανάφλεξης. Το κόκκινο κελί βρίσκεται υπό καύση και είναι γειτονικό του λευκού. Αν η θερμοκρασία (θ) του λευκού κελιού γίνει μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης και ο χρόνος (t) καύσης του κόκκινου κελιού γίνει μεγαλύτερος από τον χρόνο ανάφλεξης τότε το λευκό κελί θα τεθεί υπό καύση.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Καύση

Κάθε εύφλεκτο υλικό χαρακτηρίζεται από ένα ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας (heat release rate) που ουσιαστικά αποτελεί την παραγόμενη ενέργεια κατά την καύση του υλικού ανά μονάδα χρόνου. Όταν μια κυψελίδα βρίσκεται υπό καύση, τότε εκτός από του μηχανισμούς ανταλλαγής θερμότητας με τις γειτονικές κυψελίδες, πρέπει να συνυπολογιστεί και η θερμότητα που παράγεται από την ίδια στον υπολογισμό της διαφοράς της θερμοκρασίας. Αυτή περιγράφεται από τις παρακάτω σχέσεις.

$$\dot{Q}_{gen} = f(\text{καύσιμη ύλη}) \quad (54)$$

όπου:

\dot{Q}_{gen} = Ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας, συγκεκριμένος για ένα τύπο καύσιμης ύλης (*Joule/Sec*).

Μέσω της σχέσης (4), η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$Q_{gen} = \dot{Q}_{gen} \cdot \Delta t \quad (55)$$

όπου:

Q_{gen} = Η θερμότητα που θα παραχθεί σε ένα χρονικό βήμα της προσομοίωσης, λόγω της καύσης ενός υλικού (*Joule*).

Εξισώνοντας την σχέση (55) με την σχέση (5), προκύπτει η διαφορά θερμοκρασίας που προκαλείται στην ίδια την κυψελίδα ως αποτέλεσμα της καύσης της:

$$\Delta T_{cell} = \frac{\dot{Q}_{gen} \cdot \Delta t}{m \cdot c} \quad (56)$$

Εκτός από τον ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας, κάθε υλικό, όπως είναι αναμενόμενο, χαρακτηρίζεται και από ένα συνολικό ενεργειακό απόθεμα που είναι αποθηκευμένο σε αυτό:

$$Q_{Kg} = f(\text{καύσιμη ύλη}) \quad (57)$$



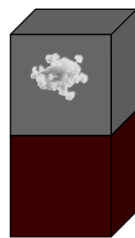
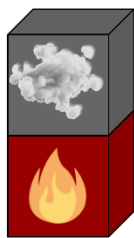
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Q_{kg} = Το ενεργειακό θερμικό περιεχόμενο ενός υλικού ανά μονάδα μάζας (*Joule/Kg*).

Καθώς ένα κελί καίγεται, αυτό εξαντλεί, σταδιακά (βήμα βήμα), το ενεργειακό του απόθεμα, διαδίδοντάς το με την μορφή θερμότητας και καπνού. Όταν το ενεργειακό απόθεμα μηδενιστεί τότε το κελί παύει να βρίσκεται υπό καύση και θεωρείται ότι έχει καεί ολοκληρωτικά, χωρίς την δυνατότητα για εκ νέου ανάφλεξη.

Διάδοση του Καπνού

Όταν μια κυψελίδα είναι υπό καύση και βρίσκεται στην επιφάνεια ενός αντικειμένου, τότε αυτή παράγει καπνό που διαδίδεται στην κυψελίδα που βρίσκεται ακριβώς από πάνω της, εφόσον αυτή μπορεί να δεχτεί καπνό, δηλαδή αναπαριστά κάποιο αέριο στην γενική περίπτωση. Η ποσότητα καπνού που παράγεται από ένα υπό καύση κυψελίδα εξαρτάται από την καύσιμη ύλη που αναπαριστά. Επιπλέον, καπνός σε μικρότερη ποσότητα μπορεί να παραχθεί με την ίδια λογική, για ορισμένο χρονικό διάστημα, ακόμη και μετά την πλήρη καύση μίας κυψελίδας.



- - κυψελίδα με καπνό
- - κυψελίδα υπό καύση
- - κυψελίδα μετά απο πλήρη καύση

Σχήμα 63. Ο μηχανισμός με τον οποίο παράγεται ο καπνός. Ο καπνός παράγεται στα κελία που βρίσκονται ακριβώς πάνω από κελία που είναι υπό καύση ή έχουν πρόσφατα καεί πλήρως.

Θεωρείται ότι κάθε κυψελίδα τείνει να αποβάλει τον καπνό στην γειτονιά της. Για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα καπνού μιας κυψελίδας δεν θα ξεπεράσει την μέγιστη χωρητικότητά της, η ποσότητα καπνού που μπορεί να λάβει από μία γειτονική κυψελίδα περιορίζεται στο 1/6 της χωρητικότητας που απομένει. Επιπλέον, για να εξασφαλιστεί ότι μια κυψελίδα δεν διαδίδει περισσότερο καπνό από όσο έχει, λόγω του ότι ο καπνός μοιράζεται δυνητικά σε 6 γειτονικές κυψελίδες, η ποσότητα καπνού που μπορεί να διαδοθεί από μία κυψελίδα περιορίζεται στο 1/6 της ποσότητας καπνού που περιέχει.

$$SM_{c \rightarrow n} = d_{n/c} \cdot \min \left(\frac{1}{6} SM_c, \frac{1}{6} (100\% - SM_n) \right) \quad (58)$$



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

$$SM_{n \rightarrow c} = d_{c/n} \cdot \min\left(\frac{1}{6}SM_n, \frac{1}{6}(100\% - SM_c)\right) \quad (59)$$

Η ποσότητα του καπνού σε μια κυψελίδα που συμμετέχει στην διάδοση του καπνού, θα μειωθεί σύμφωνα με την ποσότητα καπνού που θα διαδοθεί από αυτήν προς τις γειτονικές κυψελίδες και θα αυξηθεί σύμφωνα με την ποσότητα καπνού που θα λάβει από αυτές (Σχήμα 52).

$$SM_c^{t+1} = SM_c^t - \sum_n SM_{c \rightarrow n}^t + \sum_n SM_{n \rightarrow c}^t \quad (60)$$

όπου:

$c =$ Δείκτης της κυψελίδας αναφοράς.

$n =$ Δείκτης της γειτονικής κυψελίδας.

$SM_{c \rightarrow n} =$ Η ποσότητα καπνού που μεταφέρεται από την κυψελίδα αναφοράς σε μία γειτονική κυψελίδα.

$SM_{n \rightarrow c} =$ Η ποσότητα καπνού που μεταφέρεται από μία γειτονική κυψελίδα, προς την κυψελίδα αναφοράς.

$d_{c/n} =$ Προσαρμοστικός παράγοντας, βάση της τοποθεσίας της κυψελίδας αναφοράς ως προς την γειτονική της (Πίνακας 3).

$d_{n/c} =$ Προσαρμοστικός παράγοντας, βάση της τοποθεσίας της γειτονικής κυψελίδας ως προς την κυψελίδα αναφοράς (Πίνακας 3).

| α/β | $d_{\alpha/\beta}$ |
|----------------|--------------------|
| U | 100% |
| N, S, E, W | 50% |
| D | 25% |

(α)

| α/β | $d_{\alpha/\beta}$ |
|----------------|--------------------|
| U | 0% |
| N, S, E, W | 50% |
| D | 100% |

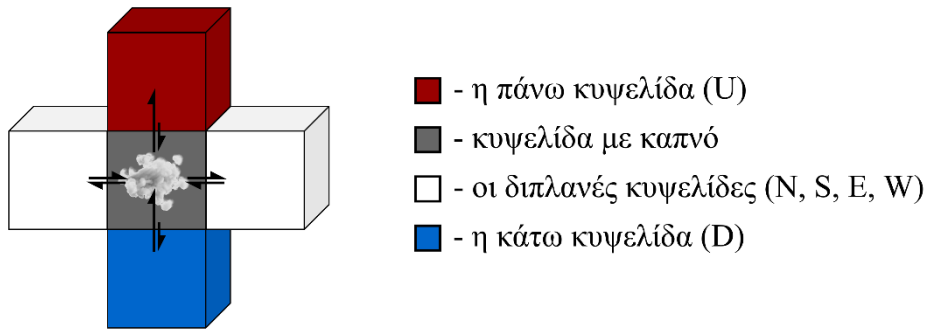
(β)



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Πίνακας 3 Οι τιμές του παράγοντα d για κάθε περίπτωση. Ο δείκτης α/β διαβάζεται ως η σχετική τοποθεσία της κυψελίδας α ως προς την β . Οι περιπτώσεις είναι μια κυψελίδα να βρίσκεται πάνω από μια άλλη (U), γύρω από μια άλλη στο ίδιο επίπεδο (N,S,E,W) ή κάτω από μια άλλη (D). Ο πίνακας (α) εφαρμόζεται στην γενική περίπτωση και ο πίνακας (β) στην περίπτωση που δεν είναι εφικτή η διάδοση καπνού στην πάνω κυψελίδα.

Όταν, κατά την διάδοση του καπνού η πάνω κυψελίδα δεν είναι κυψελίδα που αναπαριστά αέριο, ή έχει φτάσει στην μέγιστη χωρητικότητα καπνού τότε τις τιμές του παράγοντα d τις δίνει ο Πίνακας 3(β). Με αυτόν τον τρόπο μοντελοποιείται σε ικανοποιητικό βαθμό το φαινόμενο στο οποίο ο καπνός απλώνεται κατά μήκος της οροφής όταν φτάνει στο ανώτατο όριο ενός κτίσματος.



- - η πάνω κυψελίδα (U)
- - κυψελίδα με καπνό
- - οι διπλανές κυψελίδες (N, S, E, W)
- - η κάτω κυψελίδα (D)

Σχήμα 64. Η διάδοση του καπνού για μια κυψελίδα αναφοράς (την κεντρική). Τα βέλη προσδιορίζουν ποιοτικά τον παράγοντα d βάση του οποίου γίνεται η ανταλλαγή καπνού με τις γειτονικές κυψελίδες.

Εφαρμογή

Αρχικοποίηση

Η αρχικοποίηση του μοντέλου γίνεται δηλώνοντας κάποιες βασικές παραμέτρους της προσομοίωσης ώστε να οριστεί το μέγεθος του Κ.Α. και το χρονικό βήμα. Αυτές είναι οι:

- | | |
|---------------------|--|
| 1. L (m) | : Το μήκος πλευράς για κάθε κυψελίδα του Κ.Α. |
| 2. N_b (-) | : Τα συνολικά βήματα προσομοίωσης ώστε να καεί πλήρως ένα κελί συγκεκριμένου υλικού. |
| 3. Δt (Sec) | : Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. |
| 4. $Scene$ (-) | : Το αναγνωριστικό της επιλεγμένης σκηνής που θα προσομοιωθεί. |

Πίνακας 4 Οι βασικές παράμετροι για την εκτέλεση της προσομοίωσης.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Μέσω της παραμέτρου L είναι εφικτό να υπολογιστεί ο όγκος που καταλαμβάνει μια κυψελίδα, ο οποίος αποτελεί μια βασική ποσότητα για τον υπολογισμό περεταίρω φυσικών χαρακτηριστικών των υλικών, όπως για παράδειγμα η μάζα του υλικού που αναπαριστά μια κυψελίδα.

$$V = L^3 \quad (61)$$

όπου:

$V =$ Ο όγκος που καταλαμβάνεται από μια κυψελίδα (m^3).

Μια παραγόμενη παράμετρος για κάθε εύφλεκτο υλικό είναι ο συνολικός χρόνος t_b που απαιτείται ώστε να καεί πλήρως μια κυψελίδα συγκριμένου υλικού εφόσον έχει αναφλεγεί. Η ποιοτική σχέση που συνδέει αυτήν την παράμετρο με τις N_b και Δt είναι η εξής:

$$\Delta t = \frac{t_b}{N_b} \quad (62)$$

όπου:

$t_b =$ Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται ώστε να καεί πλήρως μια κυψελίδα που αναπαριστά ένα συγκεκριμένο υλικό (Sec).

Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης είναι κοινό για όλες τις κυψελίδες, κάθε υλικού, και για όλη την διάρκεια εξέλιξης του μοντέλου, συνεπώς κατά την αρχικοποίηση η παραπάνω σχέση θα εκτελεστεί μια φορά για συγκεκριμένες τιμές t_b και N_b . Η σχέση αυτή δηλώνει ότι, αν χρησιμοποιηθεί το Δt που παράγεται από την διαίρεση του t_b ενός υλικού αναφοράς και του N_b , τότε το υλικό αναφοράς μετά την ανάφλεξη του θα χρειαστεί N_b βήματα ώστε να καεί πλήρως. Τα υπόλοιπα υλικά που περιλαμβάνονται στην προσομοίωση θα χρειαστούν λιγότερα ή περισσότερα βήματα από το N_b ανάλογα με τις τιμές της παραμέτρου t_b που έχουνε συγκριτικά με αυτή του υλικού αναφοράς. Ένας ενδεικνύμενος τρόπος χρήσης αυτής της εξίσωσης για τον ορισμό του χρονικού βήματος είναι το t_b να ισούται με την μέγιστη τιμή αυτής της παραμέτρου κάθε υλικού και το N_b να ισούται με τον μέγιστο αριθμό βημάτων ώστε να καεί πλήρως οποιαδήποτε κυψελίδα, συνεπώς το Δt εξάγεται από την σχέση:

$$\Delta t = \frac{t_{b_max}}{N_{b_max}} \quad (63)$$



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

όπου:

$$t_{b_max} = \max(t_{b_1}, t_{b_2}, \dots, t_{b_n})$$

$n =$ Το πλήθος των υλικών που υποστηρίζονται.

Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι καμία από τις κυψελίδες δεν θα βρίσκεται σε κατάσταση καύσης για περισσότερα από N_{b_max} βήματα. Έτσι, για μια δεδομένη τιμή L το Δt και κατ' επέκταση η ικανότητα του μοντέλου να διακρίνει μεταβολές της διάδοσης της φωτιάς μπορεί να ρυθμιστεί μέσω της τιμής N_{b_max} .

Πίνακας Υλικών

Το μοντέλο υποστηρίζει πλήθος υλικών, αρκεί να υπάρχει η γνώση για ορισμένα από τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, που συνήθως ορίζονται γενικά για μια μοναδιαία ποσότητα υλικού και χρόνου. Επιπλέον, είναι χρήσιμο να εξαχθούν επιπρόσθετοι παράγοντες, χρησιμοποιώντας στοιχεία που αναφέρθηκαν ακριβώς παραπάνω, όπως ο όγκος της κυψελίδας και το χρονικό βήμα της προσομοίωσης, ώστε να αναχθούν τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός υλικού στα πλαίσια της κυψελίδας και του διακριτού χρονικού βήματος, όπου πρακτικά αυτοί είναι και οι παράγοντες που θα χρησιμοποιηθούν για την εξέλιξη του μοντέλου. Παρακάτω παρουσιάζονται και επεξηγούνται σε μορφή πίνακα οι παράμετροι και τα πεδία που απαιτούνται για να περιγραφεί πλήρως ένα υλικό. Ο Πίνακας 5 δίνει τις βασικές, ανεξάρτητες, παραμέτρους ενός υλικού και ο Πίνακας 6 δίνει τις παραγόμενες παραμέτρους που είναι αντίστοιχα εξαρτημένες από τις τιμές που δίνει ο Πίνακας 5 και ο Πίνακας 4.

- | | |
|---|--|
| 1. <i>name</i> | : Το όνομα του υλικού. |
| 2. <i>combustible</i> | : Πεδίο που προσδιορίζει αν το υλικό είναι εύφλεκτο ή όχι. |
| 3. <i>solid</i> ($T = 21^\circ\text{C}$) | : Πεδίο που προσδιορίζει αν το υλικό είναι στερεό ή όχι. |
| 4. $c \left(\frac{\text{Joule}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right)$ | : Η ειδική θερμότητα τού υλικού. |
| 5. $D \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ | : Η πυκνότητα του υλικού. |



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

| | |
|--|---|
| 6. $\lambda \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$ | : Ο συντελεστής αγωγιμότητας του υλικού. |
| 7. $h \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ | : Ο συντελεστής διάδοσης θερμότητας συναγωγής. |
| 8. $u \left(\frac{m}{sec} \right)$ | : Η γραμμική ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς. |
| 9. $Q_{kg} \left(\frac{Joule}{kg} \right)$ | : Το ενεργειακό θερμικό περιεχόμενο ενός υλικού ανά μονάδα μάζας. |
| 10. $t_{burn/kg} \left(\frac{Sec}{kg} \right)$ | : Ο συνολικός χρόνος για την πλήρη καύση ανά μονάδα μάζας. |
| 11. $\dot{Q}_{gen} \left(\frac{Joule}{sec} \right)$ | : Ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας του υλικού κατά την καύση. |
| 12. $T_{ignition} (K)$ | : Η θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού. |
| 13. $t_{ignition} (sec)$ | : Ο χρόνος που απαιτείται ώστε μια κυψελίδα να αναφλεγεί εφόσον βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση με $T_{ignition}$ και μια τουλάχιστον γειτονική κυψελίδα βρίσκεται υπό καύση. |
| 14. $T_{autoignition} (K)$ | : Η θερμοκρασία αυτό-ανάφλεξης του υλικού. |
| 15. $SM_{step} (m^3)$ | : Η ποσότητα καπνού που εκλύεται από την κυψελίδα κατά την καύση, ανά χρονικό βήμα. |
| 16. $SM_{capacity} (m^3)$ | : Η ποσότητα καπνού που μπορεί να διατηρηθεί στην κυψελίδα (μόνο για υλικά αέριας μορφής). |

Πίνακας 5 Η περιγραφή των βασικών φυσικών παραμέτρων ενός υλικού.

| | |
|--|---|
| 17. $m (kg)$ | : Η μάζα της κυψελίδας. |
| 18. $C \left(\frac{Joule}{K} \right)$ | : Η θερμοχωρητικότητα της κυψελίδας. |
| 19. $t_{burn/cell} (sec)$ | : Ο συνολικός χρόνος για την πλήρη καύση της κυψελίδας. |
| 20. $Q_{cell} (Joule)$ | : Το ενεργειακό θερμικό περιεχόμενο μιας κυψελίδας. |



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

| | |
|--|--|
| 21. $\lambda' \left(\frac{1}{\text{sec}} \right)$ | : Ο συντελεστής που αναφέρθηκε στις σχέσεις (47) και (50). |
| 22. $h' \left(\frac{1}{\text{sec}} \right)$ | : Ο συντελεστής που αναφέρθηκε στην σχέση (53). |
| 23. $Q_{\text{step}} \text{ (Joule)}$ | : Η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται από την καύση μιας κυψελίδας στην ίδια ανά χρονικό βήμα της προσομοίωσης. |
| 24. $\Delta T_{\text{combustion}} \text{ (K)}$ | : Η διαφορά θερμοκρασίας που προκαλείται στην ίδια την κυψελίδα ως αποτέλεσμα της καύσης. |

Πίνακας 6 Η περιγραφή των εξαγόμενων παραμέτρων ενός υλικού.

Παρακάτω περιγράφονται σχέσεις που αληθεύουν μεταξύ των παραμέτρων καθώς και οι σχέσεις που συνδέουν τις εξαρτημένες με της ανεξάρτητες παραμέτρους. Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εξέλιξη του μοντέλου είναι η μάζα του υλικού που περιέχεται στον χώρο που καταλαμβάνει μια κυψελίδα. Αυτή περιγράφεται μέσω της πυκνότητας του υλικού και του όγκου της κυψελίδας ως εξής:

$$m = D \cdot V \quad (64)$$

Η θερμοχωρητικότητα μιας κυψελίδας δίνεται από το γινόμενο της ειδικής θερμότητας ενός υλικού με την μάζα της κυψελίδας και χρησιμοποιείται ως βοηθητική παράμετρος.

$$C = c \cdot m \quad (65)$$

Ο συνολικός χρόνος για την πλήρη καύση μιας κυψελίδας, εξάγεται αντίστοιχα από χρόνο για μοναδιαία μάζα υλικού επί την μάζα κυψελίδας. Για δεδομένο υλικό, μια μείωση του μήκους πλευράς κυψελίδας L θα προκαλέσει μείωση της μάζας κυψελίδας και κατ' επέκταση μείωση του χρόνου καύσης της. Συνεπώς, μικρότερες κυψελίδες καίγονται πιο γρήγορα, όπως είναι αναμενόμενο.

$$t_{\text{burn/Cell}} = t_{\text{burn/kg}} \cdot m \quad (66)$$

$$t_{\text{burn/Cell}} \propto L$$



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η ποσότητα θερμότητας που είναι αποθηκευμένη σε μια κυψελίδα εξάγεται με παρόμοιο τρόπο με την χρήση της μάζας και η ποσότητα θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση εξάγεται χρησιμοποιώντας το χρονικό βήμα της προσομοίωσης.

$$Q_{cell} = Q_{kg} \cdot m \quad (67)$$

$$Q_{step} = \dot{Q}_{gen} \cdot \Delta t \quad (68)$$

Σε ιδανικές συνθήκες, η διαίρεση αυτών των δύο αυτών ποσοτήτων θα δίνει τον αριθμό βημάτων για την πλήρη καύση μιας κυψελίδας συγκεκριμένου υλικού όπως ορίστηκε στην Παράγραφο 0.

$$\frac{Q_{cell}}{Q_{step}} = N_b \quad (69)$$

Η διαφορά θερμοκρασίας που προκαλείται λόγω καύσης της κυψελίδας ορίστηκε στην Σχέση (56) και μπορεί να επαναπροσδιοριστεί μέσω του Q_{step} και του C ως εξής:

$$\Delta T_{combustion} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{m \cdot c} \cdot \Delta t = \frac{Q_{step}}{C} \quad (70)$$

Σύμφωνα με την θεώρηση των παραμέτρων, ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας επαληθεύεται μέσω των παρακάτω ισοτήτων.

$$\dot{Q}_{gen} = \frac{Q_{kg}}{t_{burn/kg}} = \frac{Q_{kg} \cdot m}{t_{burn/kg} \cdot m} = \frac{Q_{cell}}{t_{burn/Cell}} \quad (71)$$

Επιπλέον, μια σχέση που ίσως αληθεύει είναι η εξής:

$$\frac{L}{u} = t_{burn/Cell} \quad (72)$$

Τα πεδία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή οποιουδήποτε υλικού, ωστόσο στην πράξη, ανάλογα με την ικανότητα ανάφλεξης ενός υλικού και την φυσική του κατάσταση (πεδία 2 και 3) μερικά πεδία δεν απαιτούνται για την εξέλιξη του μοντέλου. Για παράδειγμα, τα πεδία των βασικών παραμέτρων που αρκούν για να περιγράψουν ένα μη εύφλεκτο στερεό είναι από το 1



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι και το 7 ενώ για ένα αέριο απαιτείται επιπρόσθετα και το πεδίο 16. Αυτά τα χαρακτηριστικά κάθε υλικού θεωρείται ότι τοποθετούνται σε ένα πίνακα που αναφέρεται και ως Πίνακας Υλικών ή *fuel_table* και λαμβάνουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό που αναφέρεται ως *fuel_ID* που προσδιορίζει μονοσήμαντα ένα υλικό και μπορεί να αναπαρασταθεί από μια ακέραια τιμή.

Η Κυψελίδα

Κάθε κυψελίδα, που αντιπροσωπεύει ένα εύφλεκτο υλικό, μπορεί ανά πάσα στιγμή να βρεθεί σε μια από τις τρεις πιθανές καταστάσεις καύσης:

$$S = \{Unburned, OnFire, Burned\} \quad (73)$$

Μη εύφλεκτά υλικά δεν μπορούν παρά να βρίσκονται στην αρχική κατάσταση, η οποία ως προεπιλογή είναι η κατάσταση *Unburned*. Αλγοριθμικά, οι καταστάσεις αυτές λαμβάνουν μια σταθερή τιμή που ανήκει στο σύνολο των ακεραίων αριθμών, η οποία χρησιμοποιείται ως μοναδικό αναγνωριστικό της εκάστοτε κατάστασης.

Η κατάσταση καύσης ορίζεται ως η βασική κατάσταση και από εδώ και στο εξής θα αναφέρεται, απλά, ως η κατάσταση της κυψελίδας. Για να είναι, όμως, εφικτός ο υπολογισμός αυτής της μεταβλητής, κάθε κυψελίδα πρέπει να αποθηκεύει και την κατάσταση επιπλέον μεταβλητών κατά την διάρκεια της εκτέλεσης. Συνολικά, η εσωτερική κατάσταση κάθε κυψελίδας εμπεριέχει τα πεδία που φαίνονται στην Σχέση (74).

$$Cell = \{T^t, T^{t+1}, S^t, S^{t+1}, F_{ID}, Q_{Cell}^t, t_{OnFire}, SM^t, SM^{t+1}, SM_{Capacity}\} \quad (74)$$

όπου:

- | | | |
|----|-----------|---|
| 1. | T^t | : Η θερμοκρασία κατά το δεδομένο χρονικό βήμα. |
| 2. | T^{t+1} | : Η θερμοκρασία κατά το επόμενο χρονικό βήμα, μετά την αλληλεπίδραση με την γειτονιά. |
| 3. | S^t | : Η κατάσταση κατά το δεδομένο χρονικό βήμα. |
| 4. | S^{t+1} | : Η κατάσταση κατά το επόμενο χρονικό βήμα. |
| 5. | F_{ID} | : Το μοναδικό αναγνωριστικό του υλικού που αναπαρίσταται από την συγκεκριμένη κυψελίδα. |



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- | | |
|---------------------|---|
| 6. Q_{Cell}^t | : Η ποσότητα θερμικής ενέργειας που απομένει στην κυψελίδα. |
| 7. t_{OnFire} | : Το χρονικό βήμα που η συγκεκριμένη κυψελίδα μετέβη στην κατάσταση <i>OnFire</i> , δηλαδή ξεκίνησε να βρίσκεται υπό καύση. |
| 8. SM^t | : Η ποσότητα καπνού κατά το δεδομένο χρονικό βήμα (μόνο για αέρα). |
| 9. SM^{t+1} | : Η ποσότητα του καπνού κατά το επόμενο χρονικό βήμα, μετά την αλληλεπίδραση με την γειτονιά (μόνο για αέρα). |
| 10. $SM_{Capacity}$ | : Η συνολική ποσότητα καπνού που μπορεί να διατηρηθεί από την συγκεκριμένη κυψελίδα (μόνο για αέρα). |

Πίνακας 7 Επεξήγηση των πεδίων που αποθηκεύονται στην εσωτερική κατάσταση της κυψελίδας, σύμφωνα με τη Σχέση (74).

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η ταυτόχρονη ανανέωση των κελιών του Κ.Α. σύμφωνα με κάποιον κανόνα ανανέωσης μπορεί να επιτευχθεί διατηρώντας δύο πεδία, για τις μεταβλητές που συμμετέχουν στον κανόνα, και συγκεκριμένα αυτά της ισχύουσας και της επόμενης κατάστασης. Αυτή είναι και η λογική πίσω από τα πεδία 1, 2 για την θερμοκρασία, 3, 4 για την κατάσταση και 8, 9 για την ποσότητα καπνού της κυψελίδας.

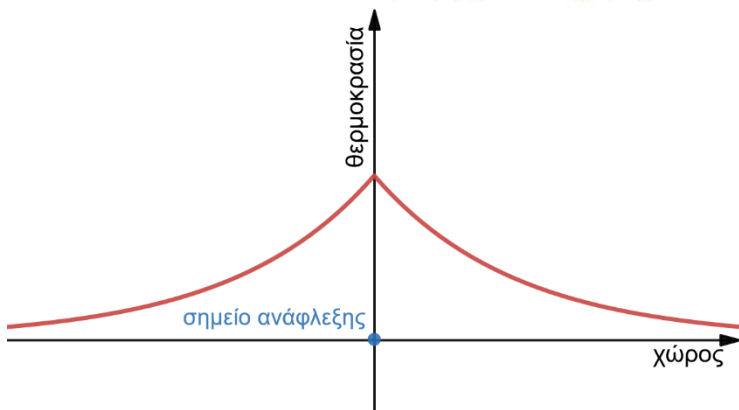
Πρακτικά, όλα τα πεδία του Πίνακα Υλικών θα μπορούσαν να είναι μέρος της εσωτερικής κατάστασης της κυψελίδας, ωστόσο μόνο μερικά από αυτά χρησιμοποιούνται κατά την εξέλιξη και επιπλέον η πληροφορία που αποτελούν είναι στατικής μορφής. Έτσι, για να διατηρηθεί το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του Κ.Α. σε χαμηλά επίπεδα, επιλέχτηκε αυτή η μορφή της εσωτερικής κατάστασης.

Αρχική Ανάφλεξη

Στο φυσικό περιβάλλον, ένα υλικό φλέγεται λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του και λόγω κάποιας σπίθας ή φλόγας γύρω από το σημείο ανάφλεξης. Έστω, ένα αντικείμενο συγκεκριμένου υλικού, για παράδειγμα μια βέργα ξύλου, στο οποίο κάθε σημείο βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου. Αν εφαρμόσουμε τοπικά σε ένα επιφανειακό σημείο μια εστία φλόγας για αρκετό χρονικό διάστημα, τότε το σημείο θα αναφλεγεί. Την στιγμή της ανάφλεξης η κατανομή της θερμοκρασίας της τοπικής περιοχής θα έχει την μορφή που περιγράφεται ποιοτικά από το **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** λαμβάνοντας μια μονοδιάστατη απεικόνιση του αντικειμένου. Η θερμοκρασία θα είναι μέγιστη στο σημείο ανάφλεξης και θα μειώνεται σταδιακά και ακτινικά γύρω από το σημείο αυτό.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 65. Η ποιοτική κατανομή της θερμοκρασίας κατά την ανάφλεξη, στην επιφάνεια ενός ομοιόμορφα γραμμικά κατανεμημένου εύφλεκτου υλικού. Στο σημείο της ανάφλεξης η θερμοκρασία είναι μέγιστη και μειώνεται σταδιακά κατά την απομάκρυνση από αυτό, προσεγγίζοντας την αρχική θερμοκρασία του υλικού.

Για να προσεγγιστεί βέλτιστα από το μοντέλο η συμπεριφορά που περιεγράφηκε, γίνεται χρήση μιας ή περισσοτέρων εικονικών κυψελίδων. Η εικονική κυψελίδα (Virtual Cell) είναι μια κυψελίδα που δεν είναι μέρος της κύριας διάταξης του Κ.Α. όμως μπορεί και επηρεάζει τις γειτονικές της κυψελίδες. Στο 3DCA η γειτονιά για μια εικονική κυψελίδα ορίζεται ως η γειτονιά που φαίνεται στο αντίστοιχο Σχήμα 53 με τις επιπλέον 20 κοντινότερες κυψελίδες, από τις οποίες οι 12 έχουν μια κοινή πλευρά με την κυψελίδα αναφοράς και οι 8 έχουν μια κοινή γωνία αντίστοιχα. Λόγω του ότι η εικονική κυψελίδα χρησιμοποιείται για την διαδικασία της ανάφλεξης, αυτή μπορεί να αναφέρεται ταυτόσημα και ως κυψελίδα ανάφλεξης (Ignition Cell). Συνολικά, ο στόχος είναι να προσομοιωθεί η διάχυση της θερμικής ενέργειας, που προέρχεται από μια σταθερή πηγή θερμότητας, καταλήγοντας έτσι σε όμοια κατανομή θερμοκρασίας με αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 54, γύρω από το σημείο ανάφλεξης. Η εσωτερική κατάσταση μιας κυψελίδας ανάφλεξης μετά την αρχικοποίησή της παραμένει σταθερή και περιγράφεται από τα εξής πεδία:

$$Ignition_Cell = \{\vec{r}_{ignition}, N_{ignition}, T_{ignition}\} \quad (75)$$

$$\vec{r}_{ignition} = (x, y, z) : x, y, z \in Z$$

$$N_{ignition} \in Z$$

$$T_{ignition} \in R$$

όπου:



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

1. $\tilde{r}_{ignition}$: Η τοποθεσία της εικονικής κυψελίδας.

2. $N_{ignition}$: Η διάρκεια της ανάφλεξης σε βήματα της προσομοίωσης.

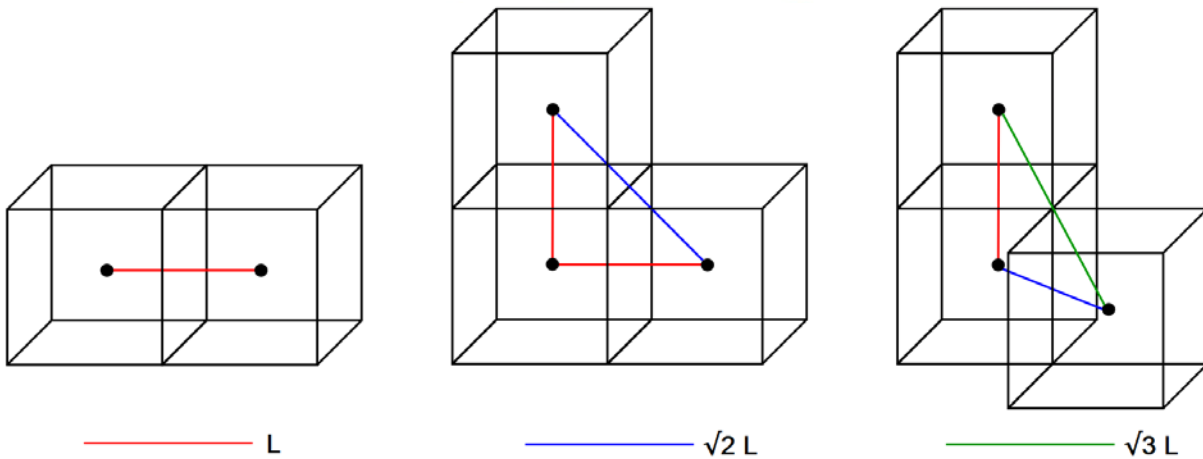
3. $T_{ignition}$: Η θερμοκρασία της εικονικής κυψελίδας.

Η τοποθεσία της εικονικής κυψελίδας (πεδίο 1) αποτελείται από ένα διάνυσμα με τρεις συνιστώσες, όπου κάθε συνιστώσα παίρνει τιμές από το σύνολο των ακεραίων αριθμών, ώστε να περιγράφει επαρκώς ένα σημείο στον τρισδιάστατο χώρο. Το πεδίο 2 αναφέρεται στα βήματα εκτέλεσης για τα οποία η κυψελίδα ανάφλεξης είναι ενεργή, δηλαδή επιδρά στην γειτονιά της, και το πεδίο 3 αφορά την θερμοκρασία στην οποία αρχικοποιείται η κυψελίδα ανάφλεξης η οποία παραμένει σταθερή σε όλη την διάρκεια της εκτέλεσης.

Η κυψελίδα ανάφλεξης, δεν αντικαθιστά την κυψελίδα που υπάρχει στην θέση που τοποθετείται και δεν επηρεάζεται η ίδια από την εξέλιξη του Κ.Α. Η ύπαρξή της είναι φανερή μόνο από τις γειτονικές της κυψελίδες. Κατά την διάρκεια της εξέλιξης κάθε κυψελίδα ελέγχει αν βρίσκεται γύρω από μια κυψελίδα ανάφλεξης. Αν κάτι τέτοιο ισχύει τότε η κυψελίδα αναφοράς επηρεάζεται από την κυψελίδα ανάφλεξης, όπως θα επηρεάζονταν και από την γειτονιά της, σύμφωνα με τους μηχανισμούς που παρουσιάστηκαν στην αμέσως προηγούμενη ενότητα. Ωστόσο, λόγω της φύσης της εικονικής κυψελίδας και λόγω της προσαυξημένης γειτονιάς από την κανονική, η κυψελίδα αναφοράς επηρεάζεται με διαφορετικό βάρος ανάλογα με την απόστασή της από την κυψελίδα ανάφλεξης. Η απόσταση υπολογίζεται από το κεντρικό σημείο της κάθε κυψελίδας και οι πιθανές περιπτώσεις απόστασης είναι τέσσερις (Σχήμα 56):

- η κυψελίδα να ταυτίζεται με την κυψελίδα ανάφλεξης, όπου η απόσταση είναι πρακτικά μηδενική,
- η κυψελίδα να έχει μια κοινή επιφάνεια με την κυψελίδα ανάφλεξης (γειτονιά von Neumann), όπου η απόσταση είναι ίση με την πλευρά της κυψελίδας L ,
- η κυψελίδα να έχει μια κοινή πλευρά με την κυψελίδα ανάφλεξης, όπου η απόσταση είναι ίση με $\sqrt{2}L$, και
- η κυψελίδα να έχει μια κοινή γωνία με την κυψελίδα ανάφλεξης, με απόσταση $\sqrt{3}L$.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 66. Απεικόνιση των πιθανών περιπτώσεων απόστασης για την γειτονιά μιας εικονικής κυψελίδας.

Η επιθυμητή συμπεριφορά είναι να προσομοιωθεί η ροή θερμότητας από την κυψελίδα ανάφλεξης προς την κυψελίδα αναφοράς και αυτό είναι εφικτό θέτοντας την θερμοκρασία της κυψελίδας ανάφλεξης σε μια αρκετά υψηλή τιμή. Η κατάσταση της κυψελίδας ανάφλεξης ερμηνεύεται ως *OnFire* από προεπιλογή, ώστε να μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη σύμφωνα με τον μηχανισμό που περιγράφεται στο Σχήμα 51, και θεωρείται ότι ξεκίνησε να καίγεται κατά το χρονικό βήμα 0, δηλαδή αν ήταν κανονική κυψελίδα θα είχε την τιμή 0 στο πεδίο t_{OnFire} .

Μια εικονική κυψελίδα μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε θέση της διάταξης του Κ.Α., ωστόσο για να είναι έγκυρη η θέση της πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής περιορισμοί:

- I. Θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε μια τουλάχιστον κυψελίδα αέρα, δηλαδή να βρίσκεται στην επιφάνεια ενός υλικού.
- II. Θα πρέπει να βρίσκεται στην θέση μιας κυψελίδας που αναπαριστά εύφλεκτο υλικό.

Ο πρώτος περιορισμός βασίζεται στο ότι η διαδικασία της καύσης απαιτεί οξυγόνο για να πραγματοποιηθεί και ο δεύτερος βασίζεται στο γεγονός ότι η κυψελίδα ανάφλεξης αντιμετωπίζεται σαν να είναι υπό καύση, συνεπώς το σημείο που βρίσκεται πρέπει να είναι εύφλεκτο.

Δημιουργία Σκηής

Το 3DCA εκτελείται στα πλαίσια μιας σκηής, δηλαδή ενός φυσικού χώρου που έχει αναπαρασταθεί κατάλληλα ώστε να αποτελεί είσοδο για το μοντέλο. Μια αναπαράσταση κατάλληλη για χρήση με το προτεινόμενο μοντέλο Κ.Α. είναι αυτή του πίνακα, και συγκεκριμένα τρισδιάστατης μορφής, όπου κάθε



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
στοιχείο έχει αποθηκευμένη την τιμή του μοναδικού αναγνωριστικού του υλικού (F_{ID}) που βρίσκεται στην συγκεκριμένη θέση στον χώρο. Ένα παράδειγμα για διδιάστατη απεικόνιση φαίνεται στο Σχήμα 56. Μια σκηνή μπορεί να οριστεί λαμβάνοντας υπόψιν τις πραγματικές φυσικές διαστάσεις του χώρου σε συνάρτηση με το μήκος πλευράς κυψελίδας L , ούτως ώστε για μικρότερη τιμή του L ο χώρος να διαιρείται σε μικρότερα τμήματα και για μεγαλύτερη τιμή του L σε μεγαλύτερα αντίστοιχα.

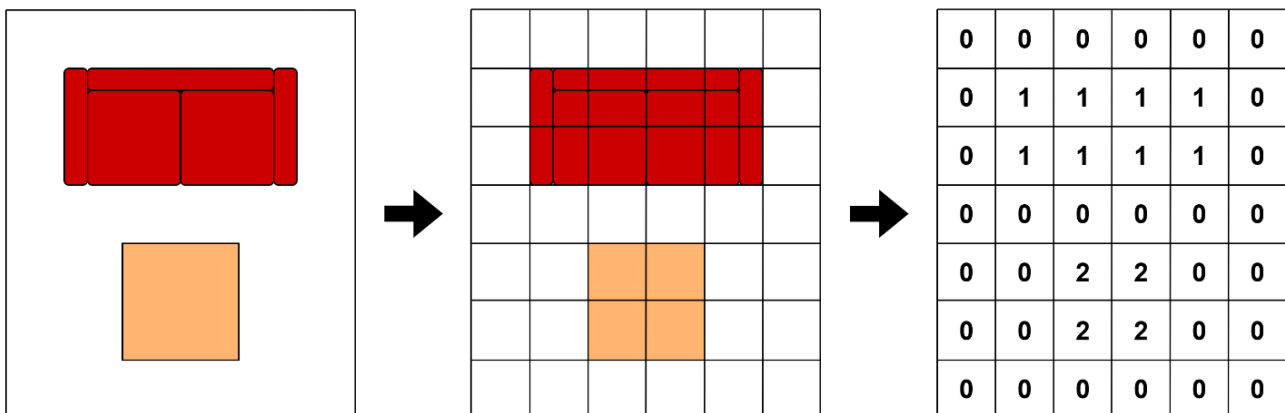
$$D_{cells}^i = \frac{D_{meters}^i}{L} \quad (76)$$

όπου:

$D_{meters}^i =$ Οι φυσική διάσταση του χώρου κατά μήκος του άξονα i της σκηνής (m).

$D_{cells}^i =$ Ο αριθμός κελιών ανά διάσταση του πίνακα της σκηνής ως προς τον άξονα i του πίνακα.

Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να προσδιοριστεί η διακριτότητα του μοντέλου όσον αφορά τον χώρο ωστόσο, μεγαλύτερη διακριτότητα επιτυγχάνεται με μικρότερο L , το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερο μέγεθος του πίνακα, αυξάνοντας έτσι την υπολογιστική ισχύ που απαιτείται για την εξέλιξη του μοντέλου.





Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σχήμα 67. Τρόπος αποθήκευσης σκηνής, σε διαδιάστατη αναπαράσταση. Ο χώρος διαιρείται σε τμήματα και κάθε τμήμα λαμβάνει τιμή ανάλογα με το υλικό που περιέχει. Εδώ τα υλικά που θεωρούνται είναι 3, το υλικό του δαπέδου, του καναπέ και του τραπέζιού με αναγνωριστικό αριθμό 0, 1 και 2 αντίστοιχα.

Επιπλέον, σε κάθε σκηνή οφείλει να οριστεί τουλάχιστον ένα σημείο ανάφλεξης μέσω μιας κυψελίδας ανάφλεξης, όπως ορίζεται από την Σχέση (75), με κατάλληλες παραμέτρους χρόνου και θερμοκρασίας για κάθε υλικό ούτως ώστε να συμβεί επιτυχής ανάφλεξη και να υπάρξει διάδοση φωτιάς.

Το Κ.Α.

Εφόσον έχει δημιουργηθεί η σκηνή, όπως αναφέρθηκε στην παραπάνω παράγραφο, τότε μπορεί να δημιουργηθεί η δομή του Κ.Α. του μοντέλου. Η δομή αυτή μπορεί να μοντελοποιηθεί ως πίνακας, ίδιων διαστάσεων με την σκηνή, όπου κάθε στοιχείο του περιλαμβάνει τα πεδία της εσωτερικής κατάστασης μιας κυψελίδας, όπως αναφέρθηκαν στην Σχέση (74). Οι τιμές του πίνακα της σκηνής αναθέτονται κατά αντιστοιχία στο πεδίο F_{ID} της εκάστοτε κυψελίδας ενώ χρησιμοποιούνται και για την κατάλληλη επιλογή υλικού από τον πίνακα υλικών ώστε να γίνει η ανάθεση των πεδίων Q_{Cell}^t και $SM_{Capacity}$. Στην γενική περίπτωση η θερμοκρασία ορίζεται στην θερμοκρασία δωματίου ($21^{\circ}C$) και η αρχική κατάσταση για κάθε κυψελίδα είναι η κατάσταση *Unburned* (Σχέση (73)). Το πεδίο t_{OnFire} λαμβάνει μια τιμή μεγαλύτερη από τα βήματα της προσομοίωσης ή μια τιμή που αναπαριστά το άπειρο, για να εξασφαλιστεί ότι η εκάστοτε κυψελίδα δεν έχει τεθεί σε ανάφλεξη, και η ποσότητα καπνού λαμβάνει την τιμή 0.

Συνάρτηση Διάδοσης (TF) – Εκτέλεση

Μετά τον καθορισμό του Κ.Α. το μοντέλο είναι έτοιμο προς εκτέλεση. Αυτή πραγματοποιείται με την εφαρμογή μιας συνάρτησης διάδοσης (Transfer Function, TF) σε κάθε κυψελίδα του Κ.Α. ενώ η οριακή συνθήκη ορίζεται ως αμετάβλητη. Η συνάρτηση διάδοσης ανανεώνει τα πεδία της θερμοκρασίας, του καπνού και της κατάστασης κάθε κελιού (Σχήμα 57).

```
1 TF(cell){
2   update_temperature(cell);
3   update_smoke(cell);
4   update_state(cell);
5 }
```

Σχήμα 68. Το περίγραμμα της συνάρτησης $TF(cell)$.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οι παράγοντες που προκαλούν διαφορά στην θερμοκρασία είναι οι εξής τρείς:

- Διαφορά θερμοκρασίας που προκαλείται κατά την αρχική ανάφλεξη - εφαρμόζεται σε κυψελίδες που βρίσκονται γύρω από μια εικονική κυψελίδα.
- Διαφορά θερμοκρασίας λόγω αλληλεπίδρασης με την γειτονιά - εφαρμόζεται σε όλες τις κυψελίδες.
- Διαφορά θερμοκρασίας λόγω καύσης της ίδιας της κυψελίδας - εφαρμόζεται εφόσον η κυψελίδα βρίσκεται στην κατάσταση *OnFire*.

Συνοπτικά, η παραπάνω θεώρηση περιγράφεται από τις εξής σχέσεις:

$$\Delta T_{cell} = \Delta T_{ignition} + \Delta T_{neighbors} + \Delta T_{combustion} \quad (77)$$

Ο πρώτος παράγοντας αφορά την διαφορά θερμοκρασίας λόγω της αρχικής ανάφλεξης και εφαρμόζεται αν η κυψελίδα αναφοράς βρίσκεται στην γειτονιά μιας ή περισσότερων εικονικών κυψελίδων, με την κάθε μία να επηρεάζει τον συνολικό παράγοντα αθροιστικά και με την ανάλογη βαρύτητα λόγω της απόστασης των δύο κυψελίδων.

$$\Delta T_{ignition} = \sum_{k=1}^N w_k \cdot \Delta T_{virtual_conduction}(k) \quad (78)$$

όπου:

$N =$ Οι συνολικές εικονικές κυψελίδες γύρω από τις οποίες βρίσκεται η κυψελίδα αναφοράς.

$w_k =$ Το βάρος λόγω της απόστασης της κυψελίδας αναφοράς από την k -οστή κυψελίδα ανάφλεξης.

Η θερμοκρασία ανανεώνεται με την χρήση του μηχανισμού της θερμικής αγωγιμότητας (Σχέση (46)) εφαρμόζοντας την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της k -οστής κυψελίδας ανάφλεξης και της κυψελίδας αναφοράς.

$$\Delta T_{virtual_conduction}(k) = \lambda' \cdot \Delta t \cdot \Delta T_{virtual_cell}(k) \quad (79)$$

$$\Delta T_{virtual_cell}(k) = T_{k-th_virtual_cell_around_cell}^t - T_{cell}^t \quad (80)$$



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ο δεύτερος παράγοντας της Σχέσης (77) αφορά τον βασικό τρόπο διάδοσης θερμότητας του μοντέλου, δηλαδή την ανταλλαγή θερμότητας μιας κυψελίδας με την γειτονιά της. Όπως έχει αναφερθεί, η γειτονιά αποτελείται από 6 κυψελίδες και οι μηχανισμοί που εφαρμόζονται σε αυτήν την περίπτωση είναι αυτοί της θερμικής αγωγιμότητας και συναγωγής. Καθένας από αυτούς εφαρμόζεται με διαφορετικό βάρος ανάλογα το ζευγάρι κυψελίδων που αξιολογείται κάθε φορά. Για παράδειγμα, αν η κυψελίδα αναφοράς είναι σε στερεή κατάσταση και η γειτονική κυψελίδα που εξετάζεται είναι και αυτή σε στερεή κατάσταση τότε δεν εφαρμόζεται η διάδοση μέσω συναγωγής, συνεπώς τα βάρη για την αγωγιμότητα και συναγωγή είναι αντίστοιχα $w_{cond} = 1$ και $w_{conv} = 0$.

$$\Delta T_{neighbors} = \sum_{k=1}^6 (w_{cond} \cdot \Delta T_{conduction}(k) + w_{conv} \cdot \Delta T_{convection}(k)) \quad (81)$$

Η διαφορά θερμοκρασίας που προκαλείται από τους μηχανισμούς αγωγιμότητας και συναγωγής έχει περιγραφεί από τις Σχέσεις (46) και (52) αντίστοιχα και στην παραπάνω θεώρηση οι σχέσεις αυτές έχουν προσαρμοστεί ώστε να εφαρμόζονται για τον k -οστό γείτονα μίας κυψελίδας.

$$\Delta T_{conduction}(k) = \lambda' \cdot \Delta t \cdot \Delta T_{neig}(k) \quad (82)$$

$$\Delta T_{convection}(k) = h' \cdot \Delta t \cdot \Delta T_{neig}(k)^b \quad (83)$$

$$\Delta T_{neig}(k) = T_{k-th_neighboring_cell_around_cell}^t - T_{cell}^t \quad (84)$$

Ο τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει την διαφορά θερμοκρασίας κατά την εξέλιξη του μοντέλου, είναι λόγω καύσης της κυψελίδας. Αυτός ο παράγοντας έχει αναλυθεί σε προηγούμενη παράγραφο της παρούσας έκθεσης και αποτελεί μια εξαρτημένη παράμετρο του Πίνακα Υλικών που δίνεται από την Σχέση (70).

$$\Delta T_{combustion} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{m \cdot c} \cdot \Delta t = \frac{Q_{step}}{C} \quad (70)$$

Έχοντας ανανεώσει τα πεδία θερμοκρασίας των κυψελίδων, εφαρμόζεται και η ανανέωση του καπνού, ωστόσο μόνο στις κυψελίδες που αναπαριστούν αέρα, όπως έχει ήδη περιγραφεί πλήρως.

Η εκτέλεση ολοκληρώνεται με την ανανέωση της κατάστασης της κυψελίδας. Αυτή συμβαίνει μόνο αν η κυψελίδα αναπαριστά ένα εύφλεκτο υλικό, σύμφωνα με τον Πίνακα Υλικών, και μόνο αν η κυψελίδα δεν έχει



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
καεί ολοκληρωτικά, δηλαδή δεν βρίσκεται στην κατάσταση *Burned*. Συνοπτικά, η διαδικασία ανανέωσης
της κατάστασης περιγράφεται για κάθε κυψελίδα από τον εξής αλγόριθμο:

```
1 fuel_ID <= cell.F_ID;
2 if (fuel_table[fuel_ID].combustible is true and cell.St is not Burned) then
3   T_ignition <= fuel_table[fuel_ID].T_ignition;
4   T_autoignition <= fuel_table[fuel_ID].T_autoignition;
5   t_ignition <= fuel_table[fuel_ID].t_ignition;
6   Q_sub <= fuel_table[fuel_ID].Q_step;
7   t_neighbors_burning <= max time that any of the neighbors are burning;
8   if (cell.St is Unburned) then
9     if ((cell.Tt+1 >= T_ignition and t_neighbors_burning >= t_ignition) or cell.Tt+1 > T_autoignition) then
10      cell.St+1 <= OnFire;
11      cell.t_OnFire <= current simulation step + 1;
12    else if (cell.St is OnFire) then
13      cell.Qtcell <= max(cell.Qtcell - Q_sub, 0);
14      if (cell.Qtcell is 0) then
15        cell.St+1 <= Burned;
```

Σχήμα 69. Ο αλγόριθμος για την διαδικασία ανανέωσης της κατάστασης κάθε κυψελίδας, συνάρτηση *update_state(cell)*.

Σύμφωνα με το Σχήμα 58, στην αρχή της διαδικασίας εξάγονται οι απαραίτητες παράμετροι από την εσωτερική κατάσταση της κυψελίδας και αντίστοιχα από τον Πίνακα Υλικών (σειρές 1 και 3-6) και γίνεται ο έλεγχος για το αν πρέπει η κυψελίδα να συμμετέχει στην ανανέωση της κατάστασης (σειρά 2). Για να είναι εφικτή η ανανέωση της κατάστασης απαιτείται ο προσδιορισμός του μέγιστου χρόνου κατά τον οποίο οποιαδήποτε από τις γειτονικές κυψελίδες βρίσκεται υπό καύση, δηλαδή με άλλα λόγια το χρονικό διάστημα για το οποίο καίγεται η γειτονική κυψελίδα που ξεκίνησε να καίγεται πρώτη από τις υπόλοιπες (σειρά 7). Αν μια κυψελίδα βρίσκεται στην κατάσταση *Unburned* τότε θα μεταβεί στην κατάσταση *OnFire*, μεταβάλλοντάς τα πεδία S^{t+1} και t_{OnFire} της εσωτερικής της κατάστασης (σειρές 8-11). Αν μια κυψελίδα βρίσκεται ήδη στην κατάσταση *OnFire* τότε, σε κάθε βήμα της προσομοίωσης, λόγω της καύσης μειώνεται η ποσότητα θερμικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη σε αυτή (πεδίο Q_{cell}^t , σειρές 12-13). Όταν όλη η θερμική ενέργεια έχει απελευθερωθεί τότε η κυψελίδα θεωρείται ότι έχει καεί πλήρως και μεταβαίνει στην



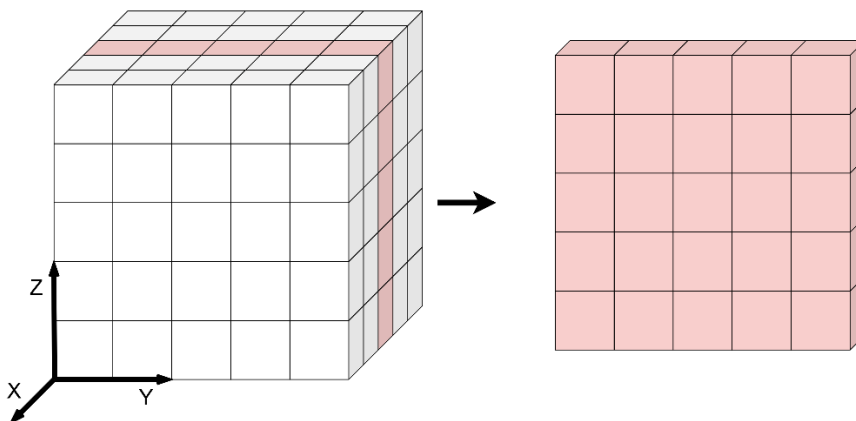
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατάσταση *Burned* (σειρά 14-15) όπου και παραμένει μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, αφού δεν θα μπορεί να συμμετάσχει πλέον στην διαδικασία ανανέωσης της κατάστασης λόγω του αρχικού ελέγχου (σειρά 2).

Αποτελέσματα

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων γίνεται με την χρήση των εργαλείων που παρέχονται από το λογισμικό MATLAB καθώς και σύμφωνα με την χρήση του προτύπου OpenGL, για την τρισδιάστατη αναπαράσταση, που εφαρμόστηκε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού C++. Για την αναπαράσταση του τρισδιάστατου χώρου χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα απαραίτητα λειτουργικά χαρακτηριστικά και συνεπώς δεν υπάρχει υποστήριξη για την μοντελοποίηση του φωτός σε μια σκηνή. Γι' αυτόν τον λόγο οι σκηνές απεικονίζονται χωρίς σκιές, με αποτέλεσμα να μην είναι εμφανές το περίγραμμα των αντικειμένων μεταξύ όμοιων χρωμάτων. Προφανώς, αυτή η λεπτομέρεια δεν επηρεάζει το κομμάτι της εξέλιξης και μπορεί εν μέρει να αντιμετωπιστεί μέσω της ενσωματωμένης λειτουργίας της περιήγησης μέσα στην εικονική σκηνή, ώστε να αποτυπωθεί το περιβάλλον από διαφορετικές οπτικές γωνίες.

Απεικόνιση στο Δισδιάστατο Επίπεδο

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αλληλοεπιδρούν τα επιμέρους συστατικά στοιχεία του μοντέλου θα εξεταστεί αρχικά η εξέλιξη σε ένα δισδιάστατο κομμάτι της τρισδιάστατης διάταξης του Κ.Α. Στην πράξη, αυτό το κομμάτι αποτελεί ένα επίπεδο στον τρισδιάστατο χώρο, πάχους μίας κυψελίδας, και μπορεί να προσδιοριστεί με τον άξονα που είναι κάθετος σε αυτό και με την τιμή αυτού του άξονα στο σημείο που λαμβάνεται το επίπεδο (Σχήμα 59).



Σχήμα 70. Ο προσδιορισμός ενός δισδιάστατου επιπέδου στην τρισδιάστατη διάταξη του Κ.Α. Το επίπεδο του σχήματος έχει κάθετο σε αυτό τον άξονα x .



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ομογενές Περιβάλλον

Η σκηνή η οποία θα εξεταστεί αρχικά αποτελείται από ένα χώρο που καταλαμβάνεται πλήρως από ένα ομογενές, στερεό και εύφλεκτο υλικό, έχοντας μια μοναδική πηγή ανάφλεξης στο κέντρο αυτού. Το σενάριο αυτό χρησιμοποιείται υποθετικά για την παρατήρηση των βασικών μηχανισμών εξέλιξης, αφού στην πράξη δεν είναι εφικτή η ανάφλεξη ενός υλικού από το εσωτερικό του προς την επιφάνεια, λόγω της απουσίας οξυγόνου. Συνεπώς οι περιορισμοί για την θέση της κυψελίδας ανάφλεξης που αναφέρθηκαν νωρίτερα δεν λαμβάνονται υπόψιν.

Όπως έχει αναφερθεί, η κύρια πληροφορία που ανταλλάσσουν οι κυψελίδες του μοντέλου είναι η θερμοκρασία. Κατ' επέκταση, η κύρια χρήση των παραμέτρων του Πίνακα Υλικών είναι ο προσδιορισμός των κατάλληλων συντελεστών ώστε να επιτυγχάνεται διάδοση της θερμότητας, που προσομοιώνει σε ένα βαθμό το πραγματικό φαινόμενο. Συνεπώς, η διαφορά θερμοκρασίας που προκαλείται σε ένα κελί, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του με ένα γειτονικό κελί μπορεί να δοθεί απλοποιημένα από τον παρακάτω τύπο.

$$\Delta T_{cell} = f(\text{υλικό, μηχανισμός}) \cdot \Delta T_{neig} \quad (85)$$

Εφόσον το περιβάλλον το οποίο θα συζητηθεί είναι ομογενές, όλες οι κυψελίδες μοιράζονται τις ίδιες τιμές για τις παραμέτρους που παρουσιάζει ο Πίνακας 5 και ο Πίνακας 6, με αποτέλεσμα ο συντελεστής της Σχέσης (85) να μπορεί να υπολογιστεί εκ των προτέρων για κάθε μηχανισμό. Συγκεκριμένα, αφού η περίπτωση που θα εξεταστεί αφορά στερεό υλικό, θα εφαρμοστεί μόνο ο μηχανισμός αγωγιμότητας. Συνολικά, οι ενδεικτικές τιμές που καθορίζουν την συμπεριφορά της θερμοκρασίας κατά την εξέλιξη που επιλέχθηκαν για αυτήν την περίπτωση είναι οι εξής:

Θερμική Αγωγιμότητα: $\Delta T_{cell} = 0.094 \cdot \Delta T_{neig}$

Καύση: $\Delta T_{cell} = 83.68^\circ\text{C}$

Η πρώτη σχέση δείχνει τον συντελεστή για την διαφορά θερμοκρασίας λόγω αγωγιμότητας που θα εφαρμοστεί στην περίπτωση της αρχικής ανάφλεξης και της αλληλεπίδρασης με την γειτονιά και η δεύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας που προκαλείται στην κυψελίδα λόγω καύσης της ίδιας που μπορεί να υπολογιστεί εκ των προτέρων για κάθε υλικό, ακόμη και σε μη ομογενές περιβάλλον, αφού εξαρτάται μόνο από την ίδια την καύσιμη ύλη (Σχέση (70)). Η αρχική ανάφλεξη θα διαρκεί για τα πρώτα 10 βήματα της προσομοίωσης μέσω μιας εικονικής κυψελίδας που τίθεται σε θερμοκρασία 1000°C , ενώ τα χαρακτηριστικά του υλικού που απαιτούνται για την περιγραφή της συγκεκριμένης εξέλιξης είναι τα εξής:



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Χρόνος Ανάφλεξης: $t_{ignition} = 3$ βήματα

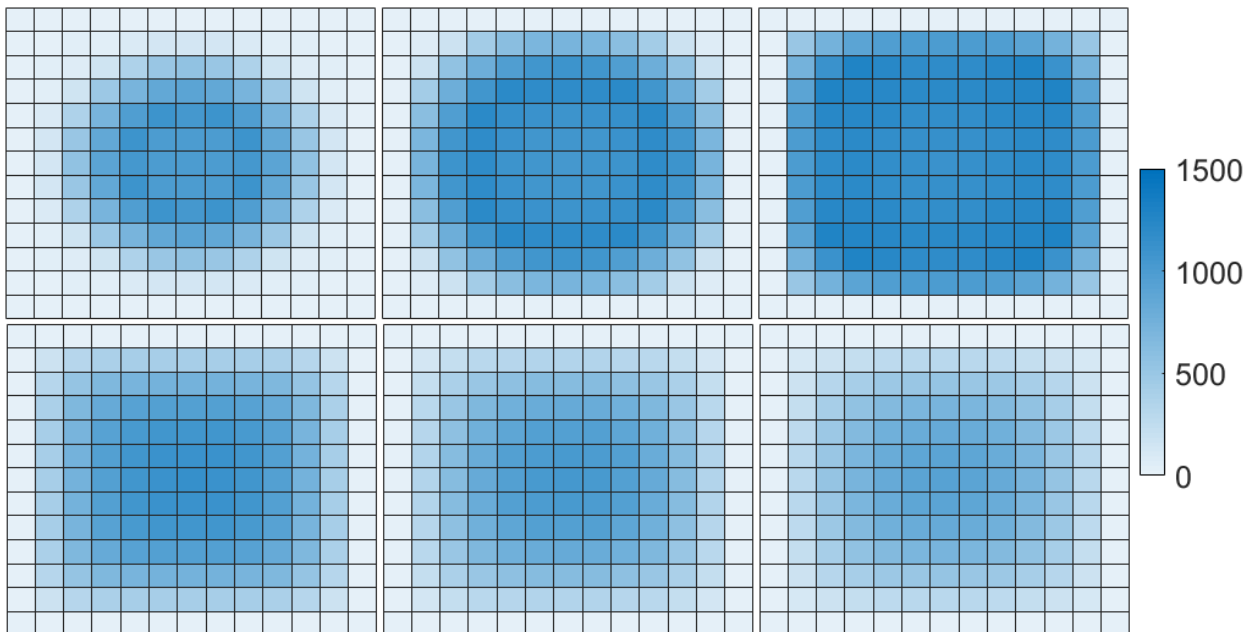
Θερμοκρασία Ανάφλεξης: $T_{ignition} = 170^{\circ}\text{C}$

Χρόνος μέχρι την πλήρη καύση: $N_b = 20$ βήματα

Το επίπεδο στο οποίο θα γίνει η παρατήρηση της εξέλιξης μπορεί να είναι οποιοδήποτε επίπεδο τέμνεται με το σημείο ανάφλεξης, αφού οι συνθήκες είναι συμμετρικές. Οι οριακές συνθήκες του Κ.Α. έχουν επιλεγεί ως αμετάβλητες. Αρχικά, όλες οι κυψελίδες τίθενται σε θερμοκρασία δωματίου στους 21°C , όπως φαίνεται στο Σχήμα 60, για το βήμα 0. Στην κεντρική θέση της διάταξης έχει τοποθετηθεί μια κυψελίδα ανάφλεξης, η οποία θεωρείται ότι έχει αναφλεγεί στο βήμα 0 και θα επηρεάζει τις γειτονικές κυψελίδες σε κάθε βήμα μέχρι και το βήμα 10. Κατά το βήμα 3, η κεντρική κυψελίδα μαζί με τις πλευρικές της κυψελίδες έχουν ξεπεράσει την θερμοκρασία ανάφλεξης και αφού βρίσκονται στην γειτονιά μιας (εικονικής) κυψελίδας που βρίσκεται υπό καύση τότε στο επόμενο βήμα θα τεθούν και αυτές στην κατάσταση *OnFire* (βλέπε Σχήμα 51). Αυτό θα προκαλέσει την επιπρόσθετη διαφορά θερμοκρασίας στις κυψελίδες που βρίσκονται υπό καύση, $\Delta T_{combustion}$, για τα επόμενα 20 βήματα μετά την αρχική ανάφλεξη. Αυτός είναι ουσιαστικά ο βασικός μηχανισμός μέσω του οποίου διατηρείται ενεργή μια εστία φωτιάς και διαδίδεται, έως ότου εξαντληθεί όλο το θερμικό περιεχόμενο της εκάστοτε κυψελίδας. Μετά το βήμα 10 στο σχήμα Σχήμα 60, η κυψελίδα ανάφλεξης παύει να προκαλεί διαφορά θερμοκρασίας στην γειτονιά της, ωστόσο, όπως είναι εμφανές στα βήματα 11 και 12, η θερμοκρασία εξακολουθεί να μεταβάλλεται ανοδικά, λόγω της παραγωγής θερμότητας των κυψελίδων υπό καύση, διατηρώντας έτσι την εστία φωτιάς.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης λόγω της παραγωγής θερμότητας που παράγεται πλέον από την γύρω περιοχή και η φωτιά εξακολουθεί να διαδίδεται στο ευρύτερο μέτωπο που έχει δημιουργηθεί.



Σχήμα 72. Η συνέχεια της εξέλιξης του ομογενούς μοντέλου, στιγμιότυπα από τα βήματα 30, 40 και 50, στην πάνω σειρά, και 80, 90 και 100, στην κάτω σειρά.

Η εξέλιξη συνεχίζει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 61 με την ακτινική διάδοση της θερμότητας, μέχρι να καούν πλήρως όλες οι κυψελίδες της διάταξης. Αφού συμβεί αυτό, το σύστημα αρχίζει να χάνει ενέργεια, αφού καμία κυψελίδα δεν παράγει κάποια, και το υλικό σώμα που μοντελοποιείται ψύχεται σταδιακά από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του.

Ένα υλικό σε Επαφή με Αέρα

Ως συνέχεια του ομογενούς περιβάλλοντος, θα εξεταστεί η ροή της θερμότητας για μια σκηνή που αποτελείται από ένα ομογενές υλικό που έρχεται σε επαφή με τον αέρα. Τα χαρακτηριστικά του υλικού παραμένουν ίδια με αυτά της προηγούμενης παραγράφου, ενώ η μόνη επιπρόσθετη πληροφορία που απαιτείται είναι ο αριθμητικός συντελεστής που θα μετατρέψει την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο κυψελίδων σε εσωτερική διαφορά θερμοκρασίας για τις κυψελίδες που αναπαριστούν τον αέρα (θερμική συναγωγή). Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζονται οι μηχανισμοί συναγωγής και αγωγιμότητας και οι ενδεικτικοί συντελεστές είναι οι εξής:



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Θερμική Αγωγιμότητα: $\Delta T_{cell} = 0.08 \cdot \Delta T_{neig}$

Θερμική Συναγωγή: $\Delta T_{cell} = 0.11 \cdot \Delta T_{neig}$

Η θερμική συναγωγή εφαρμόζεται μόνο στις κατακόρυφες κυψελίδες του αέρα και όταν συμβαίνει αυτό οι δύο μηχανισμοί επιδρούν ο καθένας με επιπλέον συντελεστή 0.5.

Για να είναι εφικτή η παρατήρηση τόσο του ομογενούς στερεού υλικού, όσο και του αέρα, το επίπεδο παρατήρησης απαιτείται να είναι κάθετο είτε στον άξονα x , είτε στον άξονα y ώστε να γίνονται αντιληπτές οι μεταβολές κατά μήκος του άξονα z , που ταυτίζεται με τον άξονα του ύψους ενός χώρου. Η σκηνή είναι διαμορφωμένη έτσι ώστε να υπάρχει ένα υλικό σώμα στο κάτω μισό που έρχεται σε επαφή με τον αέρα, ο οποίος καταλαμβάνει το υπόλοιπο της σκηνής. Η εξέλιξη αρχίζει και η διάδοση της θερμότητας για το στερεό σώμα γίνεται με όμοιο τρόπο όπως παρουσιάστηκε και στην ομογενή περίπτωση, ενώ ο αέρας λαμβάνει χαμηλότερες θερμοκρασίες, λόγω της χαμηλότερης ικανότητάς του να άγει θερμότητα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 62. Κατά την διάρκεια της εξέλιξης, το στρώμα αέρα πάνω από το στερεό σώμα λαμβάνει αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, όπως φαίνεται για το βήμα 25, ωστόσο αυτές οι θερμοκρασίες είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές στην επιφάνεια του σώματος και φθίνουν σταδιακά προς τα υψηλότερα στρώματα.

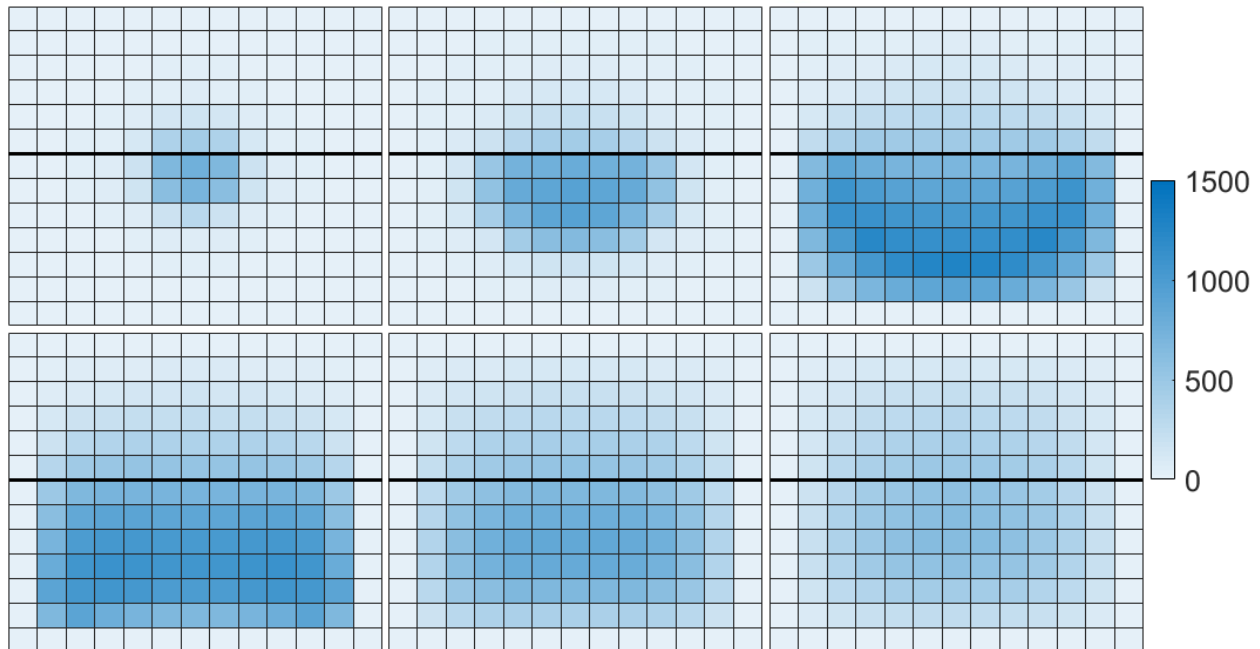
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|-------|-------|-------|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21.11 | 22.31 | 27.56 | 29.73 | 27.56 | 22.31 | 21.11 | 46.71 | 71.77 | 95.15 | 104.7 | 95.15 | 71.77 | 46.71 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 22.12 | 31.17 | 69.06 | 84 | 69.06 | 31.17 | 22.12 | 84.56 | 144.4 | 195.6 | 215.6 | 195.6 | 144.4 | 84.56 |
| 21 | 21 | 79.31 | 103.5 | 79.31 | 21 | 21 | 26.01 | 64 | 262.4 | 329.9 | 262.4 | 64 | 26.01 | 181.6 | 310 | 400.9 | 436.9 | 400.9 | 310 | 181.6 |
| 21 | 21 | 113.2 | 113.2 | 113.2 | 21 | 21 | 29.7 | 100.3 | 506.4 | 583.9 | 506.4 | 100.3 | 29.7 | 503.9 | 743.9 | 761.6 | 809.8 | 761.6 | 743.9 | 503.9 |
| 21 | 21 | 86.17 | 113.2 | 86.17 | 21 | 21 | 27.88 | 84.01 | 420.5 | 522.7 | 420.5 | 84.01 | 27.88 | 539.2 | 820.9 | 882.2 | 923.7 | 882.2 | 820.9 | 539.2 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 22.37 | 33.47 | 84.12 | 102.8 | 84.12 | 33.47 | 22.37 | 416.4 | 687.3 | 868.8 | 932.9 | 868.8 | 687.3 | 416.4 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21.13 | 22.37 | 27.9 | 29.91 | 27.9 | 22.37 | 21.13 | 140 | 427.9 | 587.6 | 644.1 | 587.6 | 427.9 | 140 |

Σχήμα 73. Στιγμιότυπα από τα βήματα 1, 6 και 25 από την εξέλιξη για υλικό σε επαφή με τον αέρα. Στο κάτω μέρος της πιο έντονης μαύρης γραμμής βρίσκεται το υλικό σώμα και στο πάνω ο αέρας.

Στο Σχήμα 63 φαίνεται ποιοτικά η κατανομή της θερμοκρασίας κατά την εξέλιξη, για το συγκεκριμένο σενάριο. Καθώς περισσότερες κυψελίδες του στερεού σώματος μεταβαίνουν στην κατάσταση *OnFire*, περισσότερη θερμική ενέργεια απελευθερώνεται και διαχέεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα πάνω από το σώμα, έως ότου καούν όλες οι εύφλεκτες κυψελίδες και το σύστημα αρχίσει να ψύχεται. Συνολικά, η περίπτωση εύφλεκτου στερεού σε επαφή με αέρα μπορεί να ερμηνευτεί και με πιο γενικό τρόπο, ως η διάδοσης της θερμότητας μεταξύ ενός εύφλεκτου υλικού και ενός διαφορετικού μη εύφλεκτου υλικού, με μικρότερο συντελεστή αγωγιμότητας.



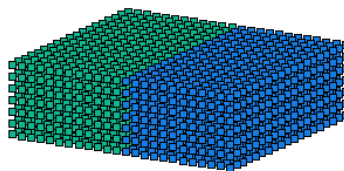
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 74. Τα στιγμιότυπα για τα βήματα 10, 25 και 40 στην πάνω σειρά, και για τα βήματα 60, 80, 100 στην κάτω σειρά, από την εξέλιξη για υλικό σε επαφή με τον αέρα, τα οποία χωρίζονται από την έντονη μαύρη γραμμή.

Αγωγή Υλικά σε Επαφή

Το επόμενο παράδειγμα εξέλιξης που θα παρουσιαστεί, αφορά τον τρόπο διάδοσης της φωτιάς μεταξύ δύο αγωγίμων υλικών, που έχουνε όμως διαφορετική φυσική σύσταση. Η σκηνή στην οποία θα παρατηρηθεί η εξέλιξη αποτελείται από δύο υλικά σώματα σε επαφή, τα οποία έχουνε πρόσβαση στον αέρα από το πάνω μέρος τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 64.



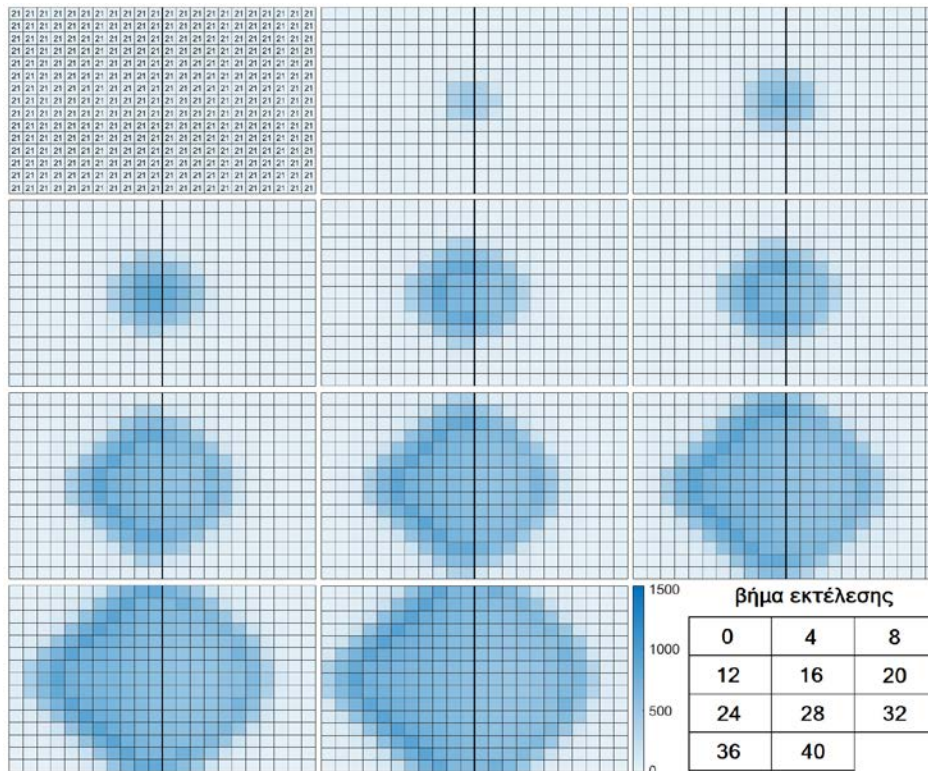
Σχήμα 75. Σκηνή με δύο υλικά σώματα σε επαφή που αναπαρίστανται με διαφορετικά χρώματα.

Για την αρχική ανάφλεξη τοποθετούνται δύο κυβελίδες ανάφλεξης στην επιφάνεια των υλικών, εκατέρωθεν της διαχωριστικής επιφάνειας και στο μέσω αυτής, ώστε η επίδρασή τους να είναι συμμετρική ως προς τα δύο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

σώματα. Η φυσική σύσταση των υλικών, είναι τέτοια ώστε το υλικό του αριστερού σώματος, να έχει μεγαλύτερο συντελεστή αγωγιμότητας από το δεξί, καθώς και να παράγει περισσότερη ενέργεια κατά την καύση αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των υλικών μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι όμοια. Το επίπεδο στο οποίο θα παρατηρηθεί η εκτέλεση είναι αυτό της άνω επιφάνειας του σώματος. Στο Σχήμα 65 φαίνεται ποιοτικά η κατανομή της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της εκτέλεσης για ένα τέτοιο σενάριο. Στην αρχή όλες οι κυψελίδες βρίσκονται στην θερμοκρασία δωματίου. Στην συνέχεια, καθώς αναφλέγονται οι πρώτες κυψελίδες, είναι εμφανές ότι η διάδοση της θερμότητας συμβαίνει με μεγαλύτερη ευκολία για το αριστερό σώμα, αφού η θερμοκρασία είναι υψηλότερη για πιο απομακρυσμένες κυψελίδες από την πηγή, σχετικά με το δεξί σώμα. Συγκεκριμένα, αυτό μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί στο βήμα 8, όπου η 3^η κυψελίδα από την διαχωριστική επιφάνεια, στο μέσω αυτής, έχει λάβει μεγαλύτερη θερμοκρασία, στα αριστερά από ότι στα δεξιά. Η εξέλιξη συνεχίζει με παρόμοια λογική, με την φωτιά να φτάνει πιο γρήγορα σε ορισμένη απόσταση από την πηγή για την αριστερή πλευρά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ή διάδοση στα αριστερά να είναι πιο απότομη και να έχει πιο τριγωνικό σχήμα. Παράλληλα, στα δεξιά, οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, ωστόσο οι διάδοση επιτυγχάνεται εξ' ίσου, όμως με πιο ομαλό τρόπο.



Σχήμα 76. Στιγμιότυπα από την εξέλιξη για δύο σώματα σε επαφή. Η έντονη μαύρη γραμμή τονίζει το σημείο στο οποίο γίνεται η επαφή.

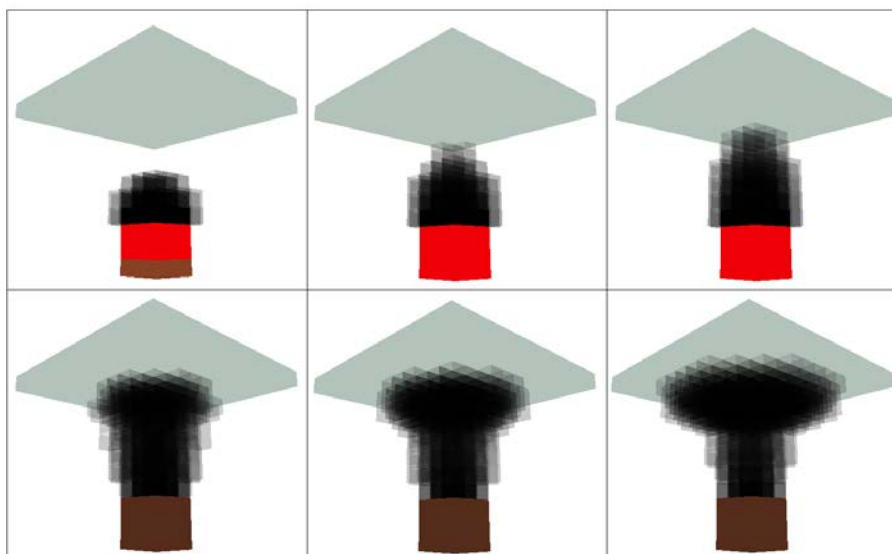


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Απεικόνιση στον Τρισδιάστατο Χώρο

Εξέλιξη του Καπνού

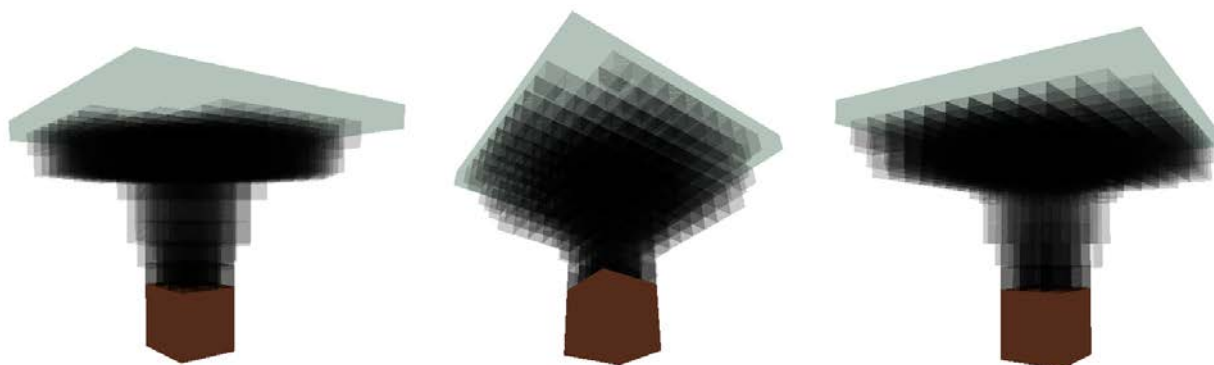
Η σκηνή που θα χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση της εξέλιξης του καπνού αποτελείται από ένα στερεό εύφλεκτο σώμα και μία στερεή μη εύφλεκτη επιφάνεια που ερμηνεύεται έως η οροφή του χώρου. Το σώμα τοποθετείται σε μια απόσταση κάτω από την επιφάνεια και το υπόλοιπο του χώρου καταλαμβάνεται από αέρα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 66. Όπως έχει αναφερθεί, στο πεδίο του καπνού αποθηκεύεται μια κανονικοποιημένη τιμή, που ανήκει στο σύνολο $[0,1]$, που περιγράφει την ποσότητα καπνού στην εκάστοτε κυψελίδα. Στα σχήματα που θα ακολουθήσουν, οι κυψελίδες που περιλαμβάνουν ποσότητα καπνού μικρότερη από 0.1 παραλείπονται από την απεικόνιση. Η εξέλιξη ξεκινάει με την επιφάνεια του σώματος να αναφλέγεται και να προκαλεί την παραγωγή καπνού κατά την καύση. Κατά τα αρχικά βήματα, ο καπνός που παράγεται κινείται κατά κύριο λόγο οριζόντια πάνω από την φωτιά, όπως φαίνεται για τα βήματα 10 – 25 στο Σχήμα 66. Στο υπόλοιπο του χώρου έχει διαδοθεί επίσης καπνός, όμως σε χαμηλές ποσότητες, συνεπώς δεν απεικονίζεται στο σχήμα. Κατά το βήμα 35, ο καπνός έχει έρθει σε επαφή με την οροφή, όπου και ξεκινάει να απλώνεται ακτινικά, αφού δεν μπορεί να διαδοθεί πλέον προς την οριζόντια κατεύθυνση, λόγω του εμποδίου που συναντά. Στο ίδιο βήμα, φαίνεται στο σχήμα ότι οι κυψελίδες του σώματος έχουν καεί πλήρως, ωστόσο εξακολουθούν να εκλύουν καπνό αλλά σε μικρότερες ποσότητες. Η εξέλιξη συνεχίζει με τον καπνό να συσσωρεύεται όλο και περισσότερο στην επιφάνεια κάτω από την οροφή, όπως φαίνεται για τα βήματα 45 και 60 του σχήματος, κάτι που θα ήταν αναμενόμενο για μια φωτιά σε όμοιες πραγματικές συνθήκες.



Σχήμα 77. Στιγμιότυπα για τα βήματα 10, 15, και 20 στην πάνω σειρά, και το βήμα 35, 45 και 60 στην κάτω, από την εξέλιξη για την παρατήρηση της συμπεριφοράς του καπνού.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
Περαιτέρω βήματα της εξέλιξης φαίνονται στο Σχήμα 67 με διαφορετικές οπτικές γωνίες, για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του καπνού. Συνολικά, η ποιοτική συμπεριφορά δείχνει να ταυτίζεται με σενάρια καύσης ομογενούς υλικού σε χώρο με αμελητέες μεταβολές του ανέμου.



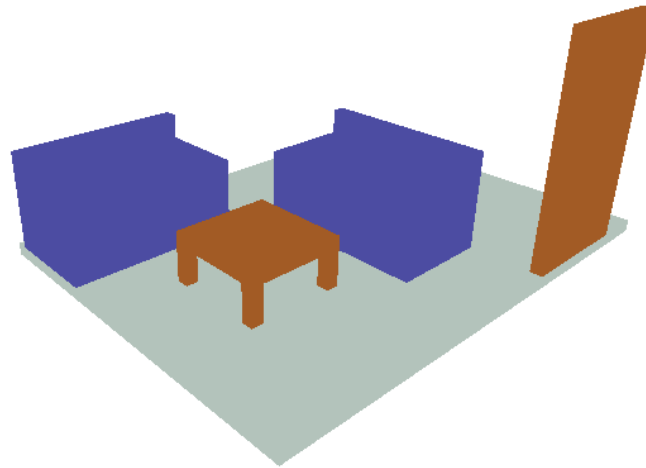
Σχήμα 78. Στιγμιότυπα για τα βήματα 80, 90 και 100, με διαφορετικές οπτικές γωνίες, από την εξέλιξη για την παρατήρηση του καπνού.

Υποθετικό Σενάριο 01 – Καθιστικό Δωμάτιο

Παρακάτω θα παρουσιαστεί η εξέλιξη για μια υποθετική σκηνή μεγαλύτερων διαστάσεων που φέρει αυξημένη πολυπλοκότητα, συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια, στην οποία μοντελοποιείται το καθιστικό δωμάτιο ενός οικιακού χώρου. Το σενάριο που θα εξεταστεί αφορά την περίπτωση οικιακής φωτιάς στο χώρο του καθιστικού, που μπορεί να προκληθεί από αναμμένα κεριά ή είδη καπνού (τσιγάρα) και διάφορους άλλους παράγοντες. Η σκηνή που θα χρησιμοποιηθεί φαίνεται στο Σχήμα 68 και αποτελείται από ένα δάπεδο, ένα τραπέζακι, μία πόρτα και δύο καναπέδες, ενώ οι γύρω τοίχοι και η οροφή έχουν παραληφθεί για χάρη απλότητας και ορατότητας.

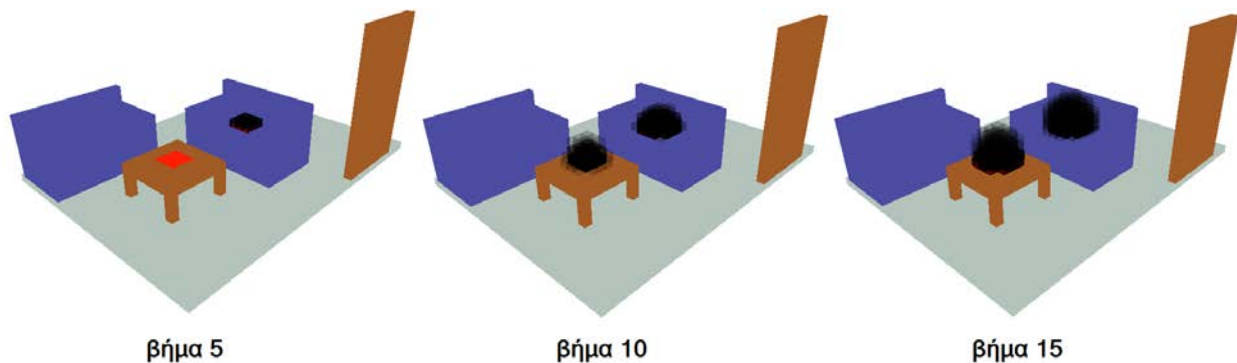


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 79. Η σκηνή που θα χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση του χώρου ενός οικιακού καθιστικού. Κάθε χρώμα αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό υλικό.

Για αυτήν την σκηνή επιλέγονται δύο σημεία ανάφλεξης, ένα στο κέντρο του τραπεζιού και ένα στο κέντρο του καναπέ που βρίσκεται πιο κοντά στην πόρτα, τα οποία ξεκινάνε την ανάφλεξη από το βήμα 0. Για την συγκεκριμένη περίπτωση, το μήκος κυψελίδας, L , επιλέγεται ίσο με $0,1\text{ m}$, συνεπώς κάθε κυψελίδα αναπαριστά έναν χωρικό όγκο μεγέθους 10^{-3} m^3 , το μέγιστο βήμα μέχρι την πλήρη καύση για οποιαδήποτε κυψελίδα, N_{b_max} , ισούται με 20 βήματα και το χρονικό βήμα της προσομοίωσης, Δt , προκύπτει ίσο με 6 sec . Οι υπόλοιπες παράμετροι είναι όμοιες με τις προηγούμενες περιπτώσεις που αναλύθηκαν. Τα αρχικά βήματα της προσομοίωσης φαίνονται στο Σχήμα 69. Κατά το βήμα 5 ξεκινάει η ανάφλεξη για το τραπεζάκι ενώ στον καναπέ έχει ήδη συμβεί όπου και εκλύεται καπνός. Στα επόμενα βήματα, 10 και 15, η φωτιά και ο καπνός αναπτύσσονται τοπικά γύρω από τα αρχικά σημεία ανάφλεξης.

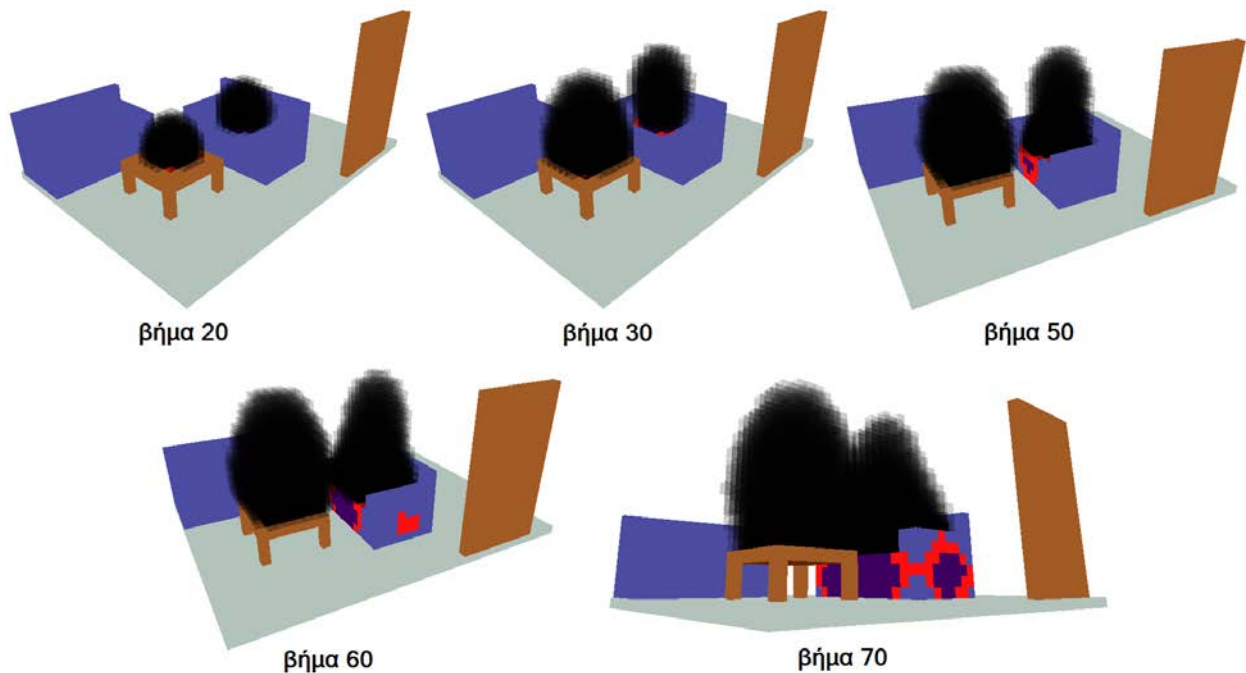


Σχήμα 80. Η αρχική εξέλιξη για το Σενάριο 01.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η συνέχεια της εξέλιξης παρουσιάζεται στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**, όπου ο όγκος του καπνού επεκτείνεται καθώς αυξάνεται η επιφάνεια η οποία βρίσκεται υπό καύση. Όμοια αυξάνεται και το ύψος του καπνού, που όμως δεν φτάνει μέχρι την οροφή για την συγκεκριμένη εκτέλεση. Η καύση για το τραπεζάκι περιορίζεται στη επιφάνεια του ενώ για τον καναπέ συνεχίζει, καίγοντας ένα μεγάλο μέρος του, όπως φαίνεται στα βήματα 50, 60 και 70, καθώς το υλικό του καναπέ είναι πιο εύφλεκτο από το υλικό του τραπέζιού. Το δάπεδο αναπαριστά ένα μη εύφλεκτο υλικό, συνεπώς η φωτιά δεν διαδίδεται σε αυτό και περιορίζεται στα αρχικά αντικείμενα που αναφλέχθηκαν. Τα υπόλοιπα εύφλεκτα αντικείμενα του χώρου δεν αναφλέγονται αφού δεν έρχονται σε επαφή με την φωτιά και η θερμοκρασία τους δεν αυξάνεται πάνω από την θερμοκρασία αυτό-ανάφλεξης.



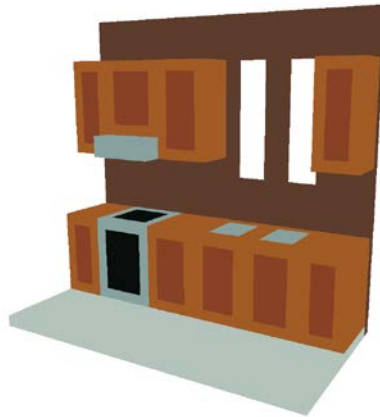
Σχήμα 81. Η συνέχεια της εξέλιξης για το Σενάριο 01.

Υποθετικό Σενάριο 02 – Χώρος Κουζίνας

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η εξέλιξη της φωτιάς και του καπνού, για ένα χώρο που αναπαριστά ένα τυπικό περιβάλλον οικιακής κουζίνας. Το σενάριο που θα εξεταστεί, αφορά την περίπτωση ατυχήματος στον χώρο της κουζίνας, γύρω από τις εστίες του φούρνου, πιθανότατα λόγω μαγειρικής δραστηριότητας. Η σκηνή που θα χρησιμοποιηθεί απεικονίζεται στο Σχήμα 71, όπου φαίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά του χώρου. Αυτά είναι ένας πάγκος, χώροι αποθήκευσης, ένας φούρνος με εστίες και ένα απορροφητήρα, ένα διπλό



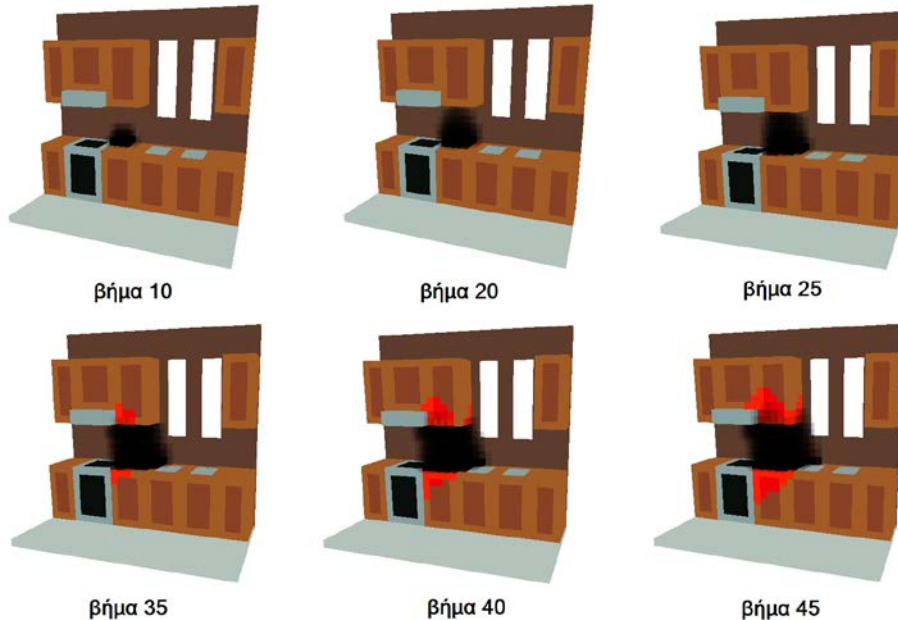
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης παράθυρο και ένας διπλός νεροχύτης. Οι χώροι αποθήκευσης, ο πάγκος και ο τοίχος αποτελούν εύφλεκτα υλικά αφού θεωρείται ότι είναι κατασκευασμένα από ένα τύπο ξύλου.



Σχήμα 82. Η σκηνή που θα χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση του χώρου μιας οικιακής κουζίνας.

Για να ξεκινήσει η ανάφλεξη στην σκηνή έχουν τοποθετηθεί δύο κυψελίδες ανάφλεξης. Η μία βρίσκεται στην επιφάνεια του πάγκου, δεξιά από τον φούρνο, που ενεργοποιείται από το αρχικό βήμα της προσομοίωσης και η άλλη τοποθετείται πάνω από την προηγούμενη, σε επαφή με τον άνω χώρο αποθήκευσης, που ενεργοποιείται σε επόμενο βήμα. Η ανάφλεξη αρχίζει στον πάγκο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 72 κατά το βήμα 10, όπου ήδη έχει ξεκινήσει να εκλύεται ο καπνός από την καύση του υλικού. Λίγο αργότερα αναφλέγεται και ο άνω χώρος αποθήκευσης, όπως είναι εμφανές από τις κόκκινες περιοχές στο βήμα 35 του σχήματος.

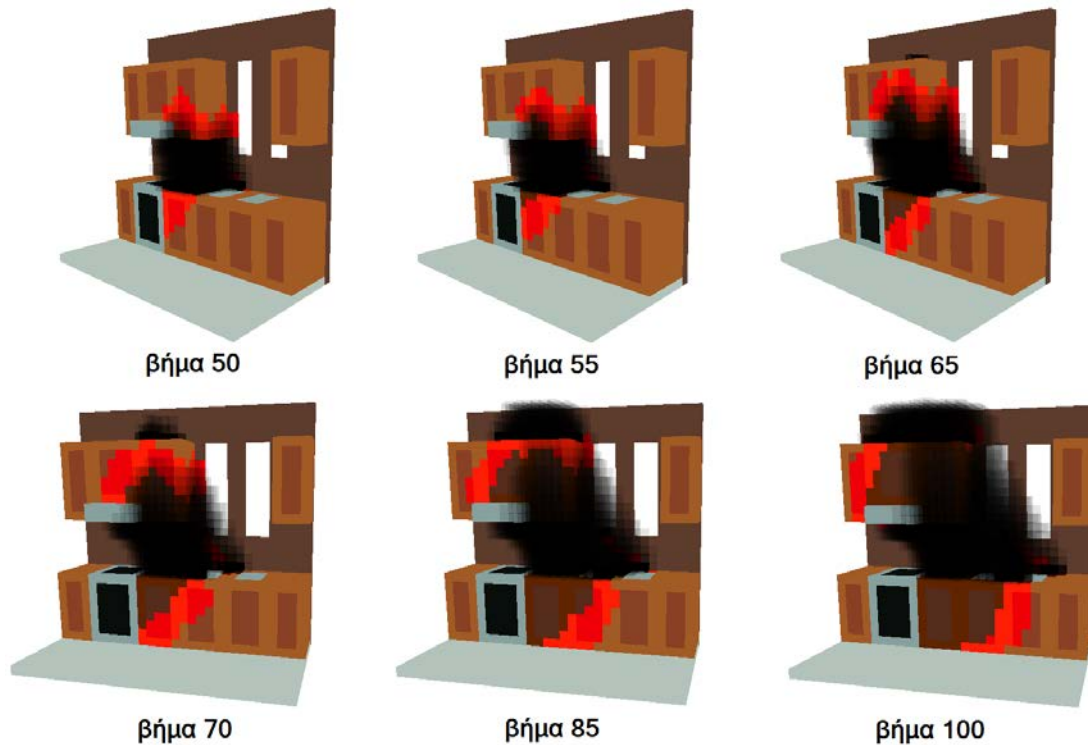
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 83. Η αρχική εξέλιξη για το Σενάριο 02.

Η εξέλιξη του σεναρίου συνεχίζει με την φωτιά να επεκτείνεται και στο υπόλοιπο της διάταξης καθώς και στον ξύλινο τοίχο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 73. Ο φούρνος, θεωρείται ότι είναι κατασκευασμένος από μεταλλικό υλικό το οποίο ως μη εύφλεκτο εμποδίζει την ανάφλεξη του πάγκου στα αριστερά του. Το ίδιο ισχύει και για τον νεροχύτη, όπου η φωτιά εξελίσσεται περιμετρικά από αυτόν, όπως διακρίνεται στο σχήμα. Η παρατεταμένη καύση του άνω αποθηκευτικού χώρου έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση καπνού σε μεγαλύτερο ύψος, ο οποίος τελικά ενοποιείται με τον καπνό που παράγεται από τις υπόλοιπες εστίες, αυξάνοντας τον συνολικό όγκο καπνού. Εν τέλη, η φωτιά θα διαδοθεί σε όλα τα εύφλεκτα αντικείμενα λόγω του ότι αυτά ενώνονται μέσω του ξύλινου τοίχου.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

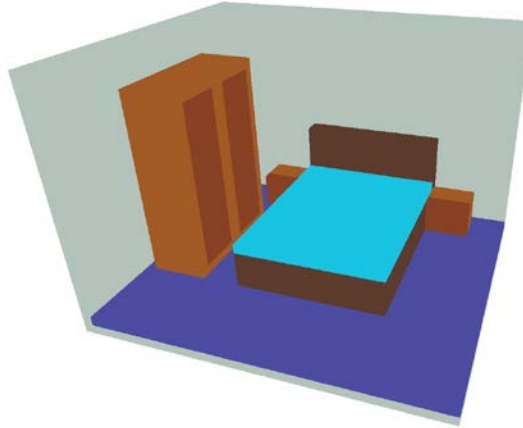


Σχήμα 84. Η συνέχεια εκτέλεσης για το Σενάριο 02.

Υποθετικό Σενάριο 03 – Υπνοδωμάτιο

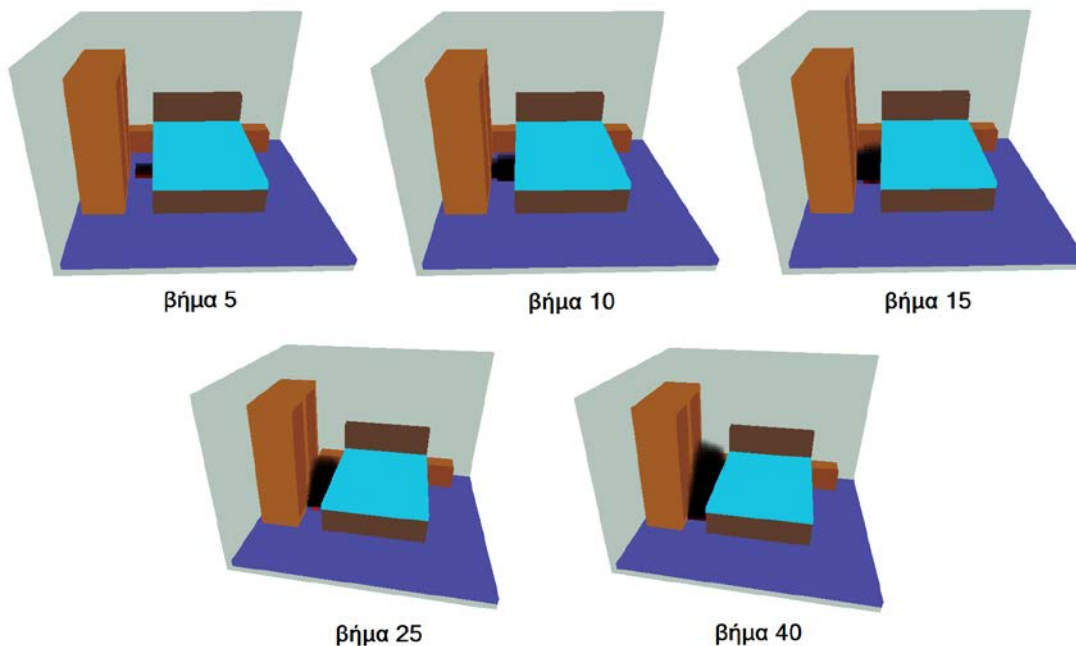
Το επόμενο σενάριο που θα παρουσιαστεί αφορά την περίπτωση ατυχήματος στον χώρο του υπνοδωματίου, μέσω συσκευών θέρμανσης που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση με εύφλεκτα αντικείμενα του χώρου. Η σκηνή που θα χρησιμοποιηθεί για να παρατηρηθεί η εξέλιξη, φαίνεται στο Σχήμα 74, η οποία αποτελείται από ένα κρεβάτι, δύο έπιπλα αποθήκευσης (κομοδίνο) αριστερά και δεξιά του κρεβατιού και μια ντουλάπα. Επίσης, θεωρείται ότι το πάτωμα καλύπτεται από χαλί εύφλεκτου υλικού και ότι τα τοιχώματα είναι κατασκευασμένα από τσιμέντο, συνεπώς δεν αναφλέγονται.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 85. Η σκηνή που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της εξέλιξης της φωτιάς σε ένα υπνοδωμάτιο, σύμφωνα με το Σενάριο 03.

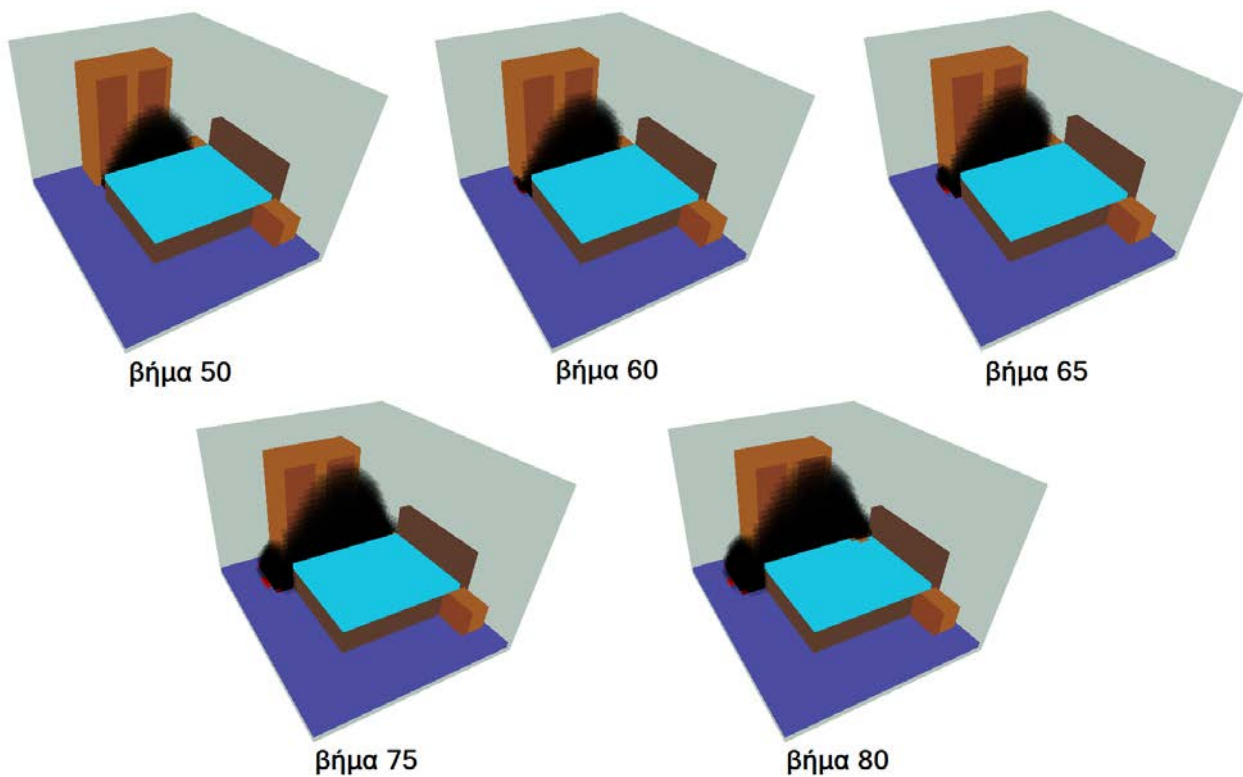
Η εξέλιξη ξεκινάει με την ανάφλεξη του χαλιού πιθανότατα λόγω κάποιας συσκευής θέρμανσης που είναι τοποθετημένη στο πάτωμα, αριστερά του κρεβατιού, από την οπτική γωνία του παρατηρητή. Στην αρχή, η φωτιά διαδίδεται μόνο κατά μήκος του χαλιού, καθώς η έντασή της δεν είναι αρκετή για να αναφλέξει την ντουλάπα ή και το κρεβάτι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 75. Κάθε διαδοχική κυψελίδα που αναφλέγεται παράγει καπνό με αποτέλεσμα ο όγκος του καπνού να έχει την μορφή που φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 86. Η αρχική εξέλιξη για το Σενάριο 03. Η φωτιά διαδίδεται στο χαλί.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στα επόμενα βήματα, η φωτιά καίει πλήρως το διάδρομο στα αριστερά του κρεβατιού και φτάνει μέχρι και το αριστερό κομοδίνο, το οποίο και αναφλέγεται. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι κομμάτι που ήρθε σε επαφή με την φωτιά είναι κατασκευασμένο με διαφορετικό υλικό από ότι η ντουλάπα και το κρεβάτι, με αποτέλεσμα να απαιτεί λιγότερη ένταση φωτιάς ώστε να αναφλεγεί. Με αυτόν τον τρόπο, η φωτιά καταφέρνει να φτάσει μέχρι και το στρώμα του κρεβατιού και να δημιουργήσει εκεί ένα νέο μέτωπο όπως είναι εμφανές στο Σχήμα 76 για το βήμα 80.

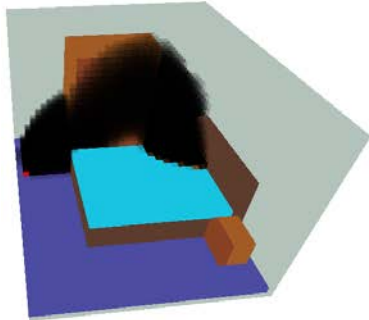


Σχήμα 87. Η συνέχεια της εξέλιξης για το Σενάριο 03. Η φωτιά είναι ικανή να αναφλέξει το κομοδίνο το οποίο μεταδίδει την φωτιά στο στρώμα του κρεβατιού.

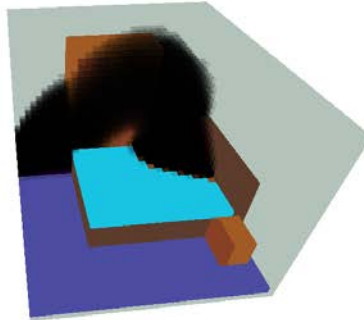
Μαζί με το στρώμα του κρεβατιού, η φωτιά από το κομοδίνο αναφλέγει επίσης και τον σκελετό του κρεβατιού, όπως φαίνεται για τα βήματα 100 και 110 στο Σχήμα 77. Η διάδοση συνεχίζεται περαιτέρω στο στρώμα, καταλαμβάνοντας όλο και μεγαλύτερη περιοχή, μέχρι που φτάνει στην δεξιά πλευρά του κρεβατιού. Εκεί, η φωτιά έχει αρκετή ένταση ώστε να φέρει σε ανάφλεξη και το δεξί κομοδίνο. Παράλληλα, οι περιοχές από τις οποίες ξεκίνησε η αρχική ανάφλεξη της σκηνής, σταδιακά σταματάνε να εκλύουν καπνό. Έτσι, ο όγκος του καπνού που παράχθηκε συνεχίζει να μετακινείται προς τα πάνω, αφήνοντας την περιοχή κοντά στο πάτωμα σε χαμηλότερη περιεκτικότητα καπνού.



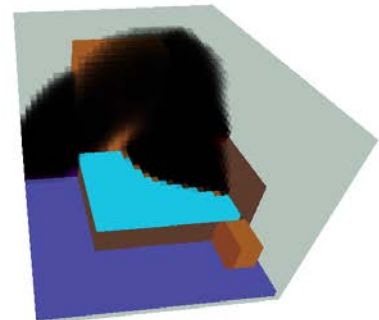
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



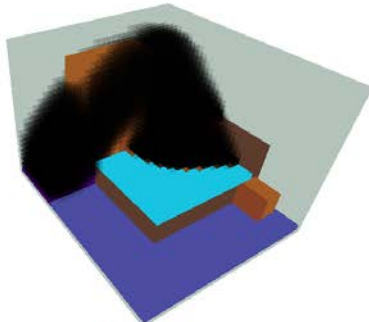
βήμα 100



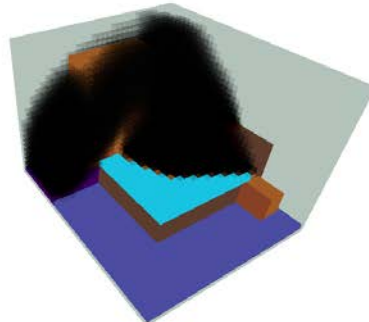
βήμα 110



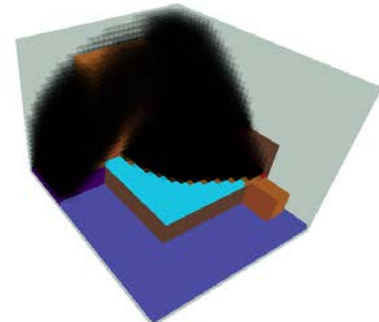
βήμα 120



βήμα 125



βήμα 135

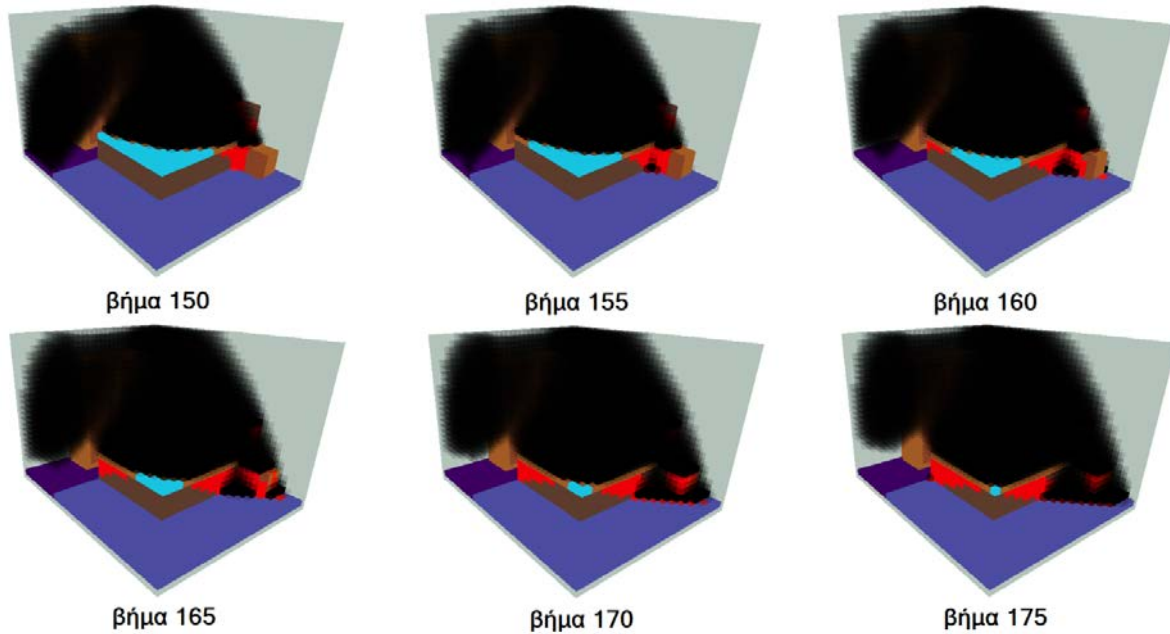


βήμα 140

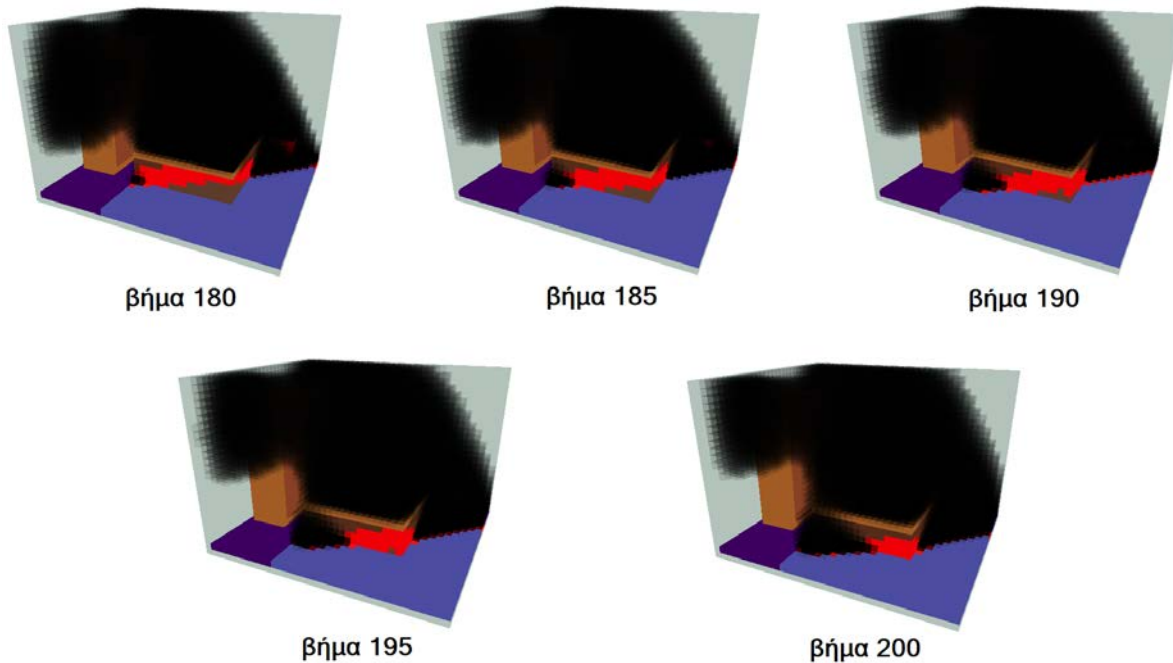
Σχήμα 88. Στιγμιότυπα από τα βήματα 100 μέχρι 140 για την εξέλιξη από το Σενάριο 03. Η φωτιά διαδίδεται στο στρώμα του κρεβατιού που προκαλεί την ανάφλεξη στον σκελετό του. Επίσης, η περιοχή που καιγόταν αρχικά σταμάτησε να παράγει καπνό.

Στην περαιτέρω εξέλιξη της σκηνής, το στρώμα καίγεται ολοκληρωτικά ενώ η φωτιά διαδίδεται και πάλι στο πάτωμα, αρχικά μέσω του κομοδίνου στα δεξιά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 78, και έπειτα μέσω του κρεβατιού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 79. Οι χαμηλές περιοχές, στις οποίες συνέβη η αρχική ανάφλεξη καταλαμβάνονται από όλο και λιγότερο καπνό, αφού αυτός μετακινείται προς τα πάνω, και η φωτιά μεταδίδεται τελικά και στο υπόλοιπο εύφλεκτο κομμάτι της σκηνής. Η ντουλάπα που βρισκόταν σε κοντινή απόσταση από το αρχικό σημείο ανάφλεξης τελικά δεν τέθηκε σε ανάφλεξη καθόλου, λόγω του ότι δεν βρισκόταν σε επαφή με υλικό που να μπορεί να την προκαλέσει. Αντίθετα, το κρεβάτι που και αυτό δεν αναφλέχθηκε από την αρχική ανάφλεξη τελικά τέθηκε υπό καύση με την φωτιά να διαδίδεται από το χαλί όχι όμως απευθείας, αλλά μέσω του κομοδίνου.

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σχήμα 89. Στιγμιότυπα από τα βήματα 150 μέχρι 175 για την εξέλιξη από το Σενάριο 03. Η φωτιά καίει όλο το στρώμα και σταματάει να εκλύεται καπνός από την αρχική καύση στα αριστερά του πατόματος.



Σχήμα 90. Στιγμιότυπα από τα βήματα 180 μέχρι 200 για την εξέλιξη από το Σενάριο 03. Η φωτιά έχει κάψει όλο το κρεβάτι και έχει διαδοθεί ξανά στο πάτωμα. Η ντουλάπα δεν έχει αναφλεγεί καθόλου.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

3.4. Διάχυση και Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

- Ιστοσελίδα έργου: <https://zarifopoulos.com/system-for-monitoring-and-detecting-people-in-emergencies/>
- Δημοσιεύσεις σε κοινωνικά δίκτυα της Εταιρείας

<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6600293667263528961>

https://www.facebook.com/zarifopoulos.gr/posts/2546811665540932?_tn=-R

https://twitter.com/Zarifopoulos_SA/status/1194525770087051265

- Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια:
 1. Πραγματοποιήθηκε η ανάλυση, προβολή και διάχυση των αντίστοιχων πληροφοριών σε εμπλεκόμενους φορείς, με στόχο τη βελτιστοποίηση: των μεθόδων διαχείρισης πλήθους κατά την εξέλιξη έκτακτων καταστάσεων και των αντίστοιχων μεθόδων αντιμετώπισης των ίδιων επικίνδυνου φαινομένου σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, με συμμετοχή στο συνέδριο **All Things Security Conference 2020** την Τετάρτη 27 Ιανουαρίου 2021 (<https://www.securityconference.gr/>).
 2. C. Kyriakou, I.G. Georgoudas, N.P. Papanikolaou, G.Ch. Sirakoulis, “[A GIS-aided cellular automata system for monitoring and estimating graph-based spread of epidemics,](#)” Natural Computing 21 (3), 463-480, 2022.
 - 3.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

4. Συμπεράσματα

Οι εργασίες του έργου με τίτλο: «**Ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα με στόχο την παρακολούθηση και ανίχνευση ατόμων σε έκτακτες περιπτώσεις εκκένωσης κτιρίων**», ολοκληρώθηκαν επιτυχώς και εντός της εγκεκριμένης χρονικής διάρκειας του έργου – όπως αυτή διαμορφώθηκε με τη 2η τροποποίηση της απόφασης ένταξης Πράξεων Κρατικών Ενισχύσεων στο πλαίσιο της πρόσκλησης «Πρόσκληση Υποβολής Προτάσεων Καινοτομίας, Έρευνας και Ανάπτυξης Επιχειρήσεων των κλάδων Παραγωγής Ηλεκτρονικών & Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού» (ΑΑ6213, Πρόσκληση 2846).

Τα αποτελέσματα του έργου ανέδειξαν ότι με την προτεινόμενη μεθοδολογία, κατέστη εφικτή η υλοποίηση του συστήματος περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: α) τη συλλογή δεδομένων σχετικά με i) την εκδήλωση/εξάπλωση της φωτιάς και ii) την κίνηση του πλήθους, β) την επεξεργασία τους, και την ενσωμάτωσή τους στα μοντέλα που αναπτύχθηκαν, γ) την ανάλυση, προβολή και διάχυση των αντίστοιχων πληροφοριών σε εμπλεκόμενους φορείς, με στόχο τη βελτιστοποίηση i) των μεθόδων διαχείρισης πλήθους κατά την εξέλιξη έκτακτων καταστάσεων και ii) των αντίστοιχων μεθόδων αντιμετώπισης του ίδιου του επικίνδυνου φαινομένου (εξάπλωση φωτιάς), σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και δ) την ολοκλήρωση και παρουσίαση του συστήματος.

Τα επόμενα σχέδια της Σύμπραξης του Έργου, περιλαμβάνουν την πλήρη ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης εφαρμογής προληπτικής και έγκαιρης διαχείρισης έκτακτων καταστάσεων, που θα λαμβάνει και θα επεξεργάζεται δεδομένα από ένα προεγκατεστημένο αλλά και εύκολα επεκτάσιμο δίκτυο ηλεκτρονικών (και όχι μόνο) αισθητήρων, θα αρχικοποιεί δυναμικά και θα ενεργοποιεί ένα μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο θα μπορεί να εκτιμά για το πολύ άμεσο μέλλον, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, την πορεία εξέλιξης της φωτιάς και της κίνησης του πλήθους. Ως τέτοια, η προτεινόμενη εφαρμογή θα αποτελέσει ένα μοναδικό για τα ελληνικά δεδομένα σύστημα δυνητικής ενεργοποίησης ενεργητικής και παθητικής ασφάλειας και θα προσδώσει ιδιαίτερη δυναμική στην ήδη υπάρχουσα της εταιρείας Ζαριφόπουλος Α.Ε., με χρόνια εμπειρία και πληθώρα εφαρμογών ασφάλειας στον συγκεκριμένο θεματικό χώρο. Ως εκ τούτου τα αποτελέσματα θα βοηθήσουν στην αύξηση της ενεργητικής και παθητικής ασφάλειας των μελετώμενων κτιρίων και υποδομών καθώς και στην πρωτοπόρα χρήση κατάλληλων υπολογιστικών εργαλείων για τη μελέτη και την αποτίμηση υπάρχοντος ηλεκτρονικού εξοπλισμού για την ενεργητική ασφάλεια των μελετώμενων κτιρίων και υποδομών. Αντίστοιχα το προτεινόμενο υπολογιστικό εργαλείο μελέτης θα αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για την πρόταση για ανάπτυξη κατάλληλου ηλεκτρονικού υλικού σε επίπεδο αισθητήρων και συναφών ηλεκτρονικών συσκευών σε νεόδμητα κτίρια και υποδομές για την αντιμετώπιση των προαναφερόμενων φαινομένων αλλά και για τη δημιουργία υποδομής για την ανάπτυξη πλήρους ολοκληρωμένου



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης αυτοματοποιημένου συστήματος έγκαιρης πρόβλεψης και λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο για την πυροπροστασία και την ασφάλεια των ατόμων σε κτίρια και χώρους συνάθροισης αποτελώντας σημείο αναφοράς στα προϊόντα της εταιρείας για τα επόμενα χρόνια.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

5. Βιβλιογραφία – Πηγές

- [1] S. Regelous, K. Mannion, MassiveSoftware–SimulatingLife (2011)
- [2] C.W. Reynolds, Comput. Graph. 21, 25 (1987)
- [3] J. Snape, Reciprocal collision avoidance and navigation for video games, in Game Developers Conf., San Francisco, 2012
- [4] R.E. Ensemble Studios, Big Huge Games, Age of empires (2013), <http://ageofempiresonline.com/en/>
- [5] D. Helbing, P. Molnar, Phys. Rev. E 51, 4282 (1995)
- [6] V. Viswanathan, M. Lees, in Transactions on Computational Science, edited by M.L. Gavrilova, K.C. Tan, C.V. Phan (Springer, 2012), pp. 1–20
- [7] S.J. Guy, J. Chhugani, S. Curtis, P. Dubey, M. Lin, D. Manocha, in Proceedings of the 2010 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, Aire-la-Ville, 2010, SCA '10, pp. 119–128
- [8] L. Henderson, Transportation Res. 8, 509 (1974)
- [9] J.M. Watts Jr., Fire Safety Journal 12, 237 (1987)
- [10] S. Paris, J. Pettre, S. Donikian, Computer Graphics Forum 26, 665 (2007)
- [11] A Pattern-based Modeling Framework for Simulating Human-like Pedestrian Steering Behaviors, edited by S.Z. Nan Hu, Michael Lees (ACM, 2013) (to appear)
- [12] A. Johansson, D. Helbing, H.Z. Al-abideen, S. Al-bosta, Adv. Compl. Syst. 11, 497 (2008)
- [13] R. Hughes, Ann. Rev. Fluid Mech. 35, 169 (2003)
- [14] D. Helbing, P. Mukerji, Europhys. J. Data Sci. 1, 1 (2012)
- [15] Reynolds, C.W.: Steering behaviors for autonomous characters. In: Game Developers Conference (1999)
- [16] Allbeck, J., Badler, N. (2002). Embodied Autonomous Agents. Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation and Applications. K. Stanney(ed.). Lawrence Erlbaum Associates, Philadelphia.
- [17] McDonnell R., Newell F., O'Sullivan C. (2007). Smooth Movers: Perceptually Guided Human Motion Simulation. Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation. San Diego, CA, ACM Press. New York, USA.
- [18] McDonnell R., Larkin M., Dobbyn S., Collins S., O'Sullivan C. (2008). CloneAttack! Perception of Crowd Variety. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2008). Allbeck, J., Badler,
- [19] McDonnell, R., Dobbyn, S., O'Sullivan, C. (2005). LOD Human Representations: A Comparative Study. In. Proc. International Workshop on Crowd Simulation (V CROWDS), Lausanne, Switzerland.
- [20] Ahn, J., Oh, S., Wohn, K. (2006). Optimized Motion Simplification for Crowd Animation. Computer Animation and Virtual Worlds.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [21] Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A., Werner, T. (2005). Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics. *Transportation Science*.
- [22] Treuille, A., Cooper, S., Popovic, Z. (2006). Continuum Crowds. In. *Proc. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2006)*.
- [23] Pelechano, N., Allbeck, J., Badler, N. (2007). Controlling Individual Agents in High-Density Crowd Simulation. In. *Proc. ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA), San Diego, CA, ACM Press. New York, USA.*
- [24] Sud, A., Andersen, E., Curtis, S., Lin, M., Manocha, D. (2007). Real-time Path Planning for Virtual Agents in Dynamic Environments. In. *Proc. IEEE VirtualReality, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA.*
- [25] Shao, W., Terzopoulos, D. (2005). Autonomous Pedestrians. In. *Proc. ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation, Los Angeles, California ACM Press. New York, USA.*
- [26] Pelechano, N., Badler, N. (2006). Modeling Crowd and Trained Leader Behavior during Building Evacuation. *IEEE Computer Graphics and Applications*.
- [27] Yu, Q., Terzopoulos, D. (2007). A Decision Network Framework for the Behavioral Animation of Virtual Humans In. *Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, San Diego, California Eurographics Association.*
- [28] Musse, S. R., Thalmann, D. (2000). From One Virtual Actor to Virtual Crowds: Requirements and Constraints. In. *Proc. Autonomous Agents, ACM Press. New York, USA.*
- [29] Pelechano, N., O'Brien, K., Silverman, B., Badler, N. (2005). Crowd Simulation Incorporating Agent Psychological Models, Roles and Communication. In. *Proc. First International Workshop on Crowd Simulation. (V-CROWDS '05), Lausanne, Switzerland.*
- [30] Durupinar, F., Allbeck, J., Pelechano, N., Badler, N. (2008). Creating Crowd Variation with the OCEAN Personality Model. In. *Proc. Autonomous Agents and Multi-Agents Systems, Estoril, Portugal, ACM Press. New York, NY, USA.*
- [31] Cassell, J., Bickmore, T., Billinghurst, M., Campbell, L., Chang, K., Vilhjalmsen, H., Yan, H. (1999). Embodiment in Conversational Interfaces. In. *Proc. Special Interest Group on Computer-Human Interaction SIGCHI, Pittsburgh, USA.*
- [32] Saad Ali - Ko Nishino, Dinesh Manocha, Mubarak Shah. Modeling, simulation and visual analysis of crowds, a multidisciplinary perspective
- [33] Golledge, R. G. (1999). Wayfinding behavior: cognitive mapping and other spatial processes. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA.
- [34] Wray, R., Chong, R., Phillips, J., Rogers, S., Walsh, B. A Survey of Cognitive and Agent Architecture. from <http://ai.eecs.umich.edu/cogarch0/>.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [35] Tu, X., Terzopoulos, D. (1994). Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior. In. Proc. ACM SIGGRAPH, ACM Press. New York, USA.
- [36] Funge, J., Tu, X., Terzopoulos, D. (1999). Cognitive Modeling: Knowledge, Reasoning, and Planning for Intelligent Characters. In. Proc. SIGGRAPH, Los Angeles, USA.
- [37] Reynolds, C. (1987). Flocks, Herds, and Schools: a Distributed Behavior Model. In. Proc. ACM SIGGRAPH.
- [38] Brogan, D., Hodgins, J. (1997). Group Behaviors for Systems with Significant Dynamics. Autonomous Robots.
- [39] Brogan, D., Hodgins, J. (2002). Simulation Level of Detail for Multiagent Control. In. Proc. Autonomous Agents and Multiagent Systems, Italy, ACM Press. New York, USA.
- [40] Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T. (2000). Simulating Dynamical Features of Escape Panic. Nature.
- [41] Helbing, D., Farkas, I., Molnar, P, Vicsek, T. (2002). Simulation of Pedestrians Crowds in Normal and Evacuation Situations. In. Proc. Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer-Verlag. Berlin.
- [42] Lerner, A., Y., C. Lischinski, D. (2007). Crowds by Example. Computer Graphics Forum. Blackwell Publishing Ltd.
- [43] Lee, K. H., Choi, M. G., Hong, Q, Lee, J. (2007). Group Behavior from Video: A Data-Driven Approach to Crowd Simulation. In. Proc. ACM SIGGRAPH /Eurographics Symposium on Computer Animation, San Diego, EurographicsAssociation Aire-la-Ville, Switzerland.
- [44] Braun, A., Musse, S. R., de Oliveira, L. P. L, Bodmann, B. E. J. (2003). Modeling Individual Behaviors in Crowd Simulation. In. Proc. Computer Animation and Social Agents (CASA), IEEE Computer Society. Washington, DC, USA.
- [45] Weaver, R., Silverman, B., Shin, H, Dubois, R. (2001). Performance Moderator Functions for Modeling Adversary Organizations in Asymmetric Conflicts. In. Proc. 10th Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation.
- [46] Bouvier, E, Guilloteau, P. (1996). Crowd Simulation in Immersive Space Management. In. Proc. Eurographics Workshop on Virtual Environments and Scientific Visualization, Springer- Verlag. Berlin.
- [47] Musse, S. R, Thalmann, D. (2001). Hierarchical Model for Real Time Simulation of Virtual Human Crowds. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics.
- [48] Still, G. K. (2000). Crowd Dynamics, Warwick University, Coventry, UK.
- [49] Farenc, N., Musse, S., Schweiss, E. (2000). A Paradigm for Controlling Virtual Humans in Urban Environment Simulations. Applied Artificial Intelligence.
- [50] Bindiganavale, R., Schuler, W., Allbeck, J., Badler, N., Joshi, A., Palmer, M. (2000). Dynamically Altering Agent Behaviors Using Natural Language Instructions. In. Proc. Autonomous Agents, ACM New York, NY, USA.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [51] Pan, X., Han, C. S., Law, K. H. (2005). A Multi-agent Based Simulation Framework for the Study of Human and Social Behavior in Egress Analysis. In. Proc. The International Conference on Computing in Civil Engineering, Cancun, Mexico.
- [52] Massive Software, Inc. "3D animation system for crowd-related visual effects." Massive Software, Inc. <http://www.massivesoftware.com> (accessed 2005).
- [53] Farenc, N., Boulic, R., Thalmann, D. (1999). An Informed Environment Dedicated to the Simulation of Virtual Humans in Urban Context. In. Proc. Eurographics.
- [54] Thomas, G., Donikian, S. (2000). Virtual Humans Animation in Informed Urban Environments. In. Proc. Computer Animation, IEEE Computer Society. Washington, DC, USA.
- [55] Reynolds, C. (2006). Big Fast Crowds on PS3. In. Proc. Sandbox (ACM SIGGRAPH symposium on Videogames), Boston, USA.
- [56] Lamarche, F., Donikian, S. (2004). Crowd of Virtual Humans: a New Approach for Real Time Navigation in Complex and Structured Environments. ComputerGraphics Forum.
- [57] Sud, A., Gayle, R., Andersen, E., Guy, S., Lin, M., Manocha, D. (2007). Real - time Navigation of Independent Agents Using Adaptive Roadmaps. In. Proc. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Newport Beach, CA, USA.
- [58] McGrath, J. E. (1970). A Conceptual Formulation for Research on Stress. Social and Psychological Factors in Stress. J. E. McGrath (ed.). Holt Rinehart and Winston, New York.
- [59] Rastegary, H., Landy, F. J. (1993). The Interaction Among Time Urgency, Uncertainty, and Time Pressure. Time Pressure and Stress in Human Judgement and Decision Making. O.Svenson and A. J. Maule (eds.). Plenum Publishing Corporation, New York.
- [60] Wiggins, J. S. (1996). The Five-Factor Model of Personality: Theoretical Perspectives. The Guilford Press, New York.
- [61] Burgoon, J. K., Buller, D. B., Woodall, W. G. (1989). Nonverbal Communication, The UnSpoken Dialogue. Harpor and Row, New York.
- [62] Knapp, M. L, Hall, J. A. (1992). Nonverbal Communication in Human Interaction. Harcourt Brace Jovanovich College Publisher, Fort Worth, TX.
- [63] GIRARD M., AMKRAUT S.: Eurhythm: Concept and process. The Journal of Visualization and Computer Animation 1, 1 (1990), 15–17. Presented at The ElectronicTheater at SIGGRAPH'85.
- [64] HODGINS J., BROGAN D.: Robot herds: Group behaviors for systems with significant dynamics. In Proc. Artificial Life IV (1994), pp. 319–324.
- [65] Cheney S. (2004). Flow Tiles. In. Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, Grenoble, France.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [66] Le Bon, G.: *The Crowd: A Study of the Popular Mind* Macmillan, New York (1896). Reprint available from Dover Publications
- [67] Hughes, R.: A continuum theory for the flow of pedestrians. *Transp. Res. B Methodol.* 36(6), 507–535 (2002)
- [68] Hughes, R.L.: The flow of human crowds. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 35, 169–182 (2003)
- [69] Narain, R., Golas, A., Curtis, S., Lin, M.C.: Aggregate dynamics for dense crowd simulation. *ACM Trans. Graph.* 28(5), 1–8 (2009)
- [70] LaValle, S.M.: *Planning Algorithms*. Cambridge University Press (2006). Also available at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/>
- [71] Latombe, J.C.: *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers, Boston (1991)
- [72] Simeon, T., Leroy, S., Laumond, J.: Path coordination for multiple mobile robots: a geometric algorithm. In: *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pp. 1118–1123 (1999)
- [73] Warren, C.W.: Multiple path coordination using artificial potential fields. In: *Proceedings of IEEE Conference on Robotics and Automation*, 13–18 May 1990, vol. 1, pp. 500–505.
- [74] Bayazit, O.B., Lien, J.-M., Amato, N.M.: Better group behaviors in complex environments with global roadmaps. In: Standish, R.K., Bedau, M.A., Abbass, H.A. (eds.) *International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems (ICAL 2003) (Alife)*, pp. 362–370. MIT, Cambridge (2002)
- [75] Kamphuis, A., Overmars, M.: Finding paths for coherent groups using clearance. In: *Proceedings of ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA '04)*, pp. 19–28. Eurographics Association, Aire-la-Ville (2004). <http://dx.doi.org/10.1145/1028523.1028526>
- [76] Gayle, R., Sud, A., Andersen, E., Guy, S., Lin, M., Manocha, D.: Interactive navigation of independent agents using adaptive roadmaps. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 15(1), 34–48 (2009)
- [77] Sud, A., Andersen, E., Curtis, S., Lin, M., Manocha, D.: Real-time path planning for virtual agents in dynamic environments. In: *ACM SIGGRAPH 2008 classes (SIGGRAPH '08)*, Article 55, 9pp. ACM, New York (2008)
- [78] Daniel Thalmann – Soraia Raupp Musse. *Crowd simulation*, second edition
- [79] Nuria Pelechano, Jan Allbeck, Norman Badler. *Virtual crowds, Methods, simulation, and control*
- [80] Dijkstra, J., Timmermans, H. J. P. and Jessurun, A. J. (2000). A Multi-Agent Cellular Automata System for Visualizing Simulated Pedestrian Activity. In: *Proc. Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata. Cellular Automata for research and Industry*, Springer-Verlag. Berlin: 29–36.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [81] Kirchner, A., Namazi, A., Nishinari, K. and Schadschneider, A. (2003). Role of Conflicts in the Floor Field Cellular Automaton Model for Pedestrian Dynamics. In. Proc. 2nd International Conference on Pedestrians and Evacuation Dynamics. (PED), London, UK: 51–62.
- [82] Wolfram, S. (1983). Statistical Mechanics of Cellular Automata. *Reviews of Modern Physics*. 55(3): 601–644. doi:10.1103/RevModPhys.55.601
- [83] Tecchia, F., Loscos, C., Conroy, R. and Chrysanthou, Y. (2001). Agent Behavior Simulator (ABS): A Platform for Urban Behavior Development. In. Proc. ACM/EG Games Technology Conference.
- [84] Chenney, S. (2004). Flow Tiles. In. Proc. ACM SIGGRAPH/ Eurographics Symposium on Computer Animation, Grenoble, France: 233–242. doi:10.1145/1028523.1028553
- [85] Torrens, P. M. (2007). Behavioral intelligence for geospatial agents in urban environments. In. Proc. IEEE Intelligent Agent Technology, Los Alamitos, CA, IEEE: 63–66.
- [86] Loscos, C., Marchal, D. and Meyer, A. (2003). Intuitive Crowd Behaviour in Dense Urban Environments using Local Laws. *IEEE Theory and Practice of Computer Graphics*: 122. doi:10.1109/TPCG.2003.1206939
- [87] Thalmann D., Musse S. and Kallmann M. (1999). Virtual Human's Behavior: Individuals, Groups and Crowds. In. Proc. Digital Media Futures.
- [88] Milazzo, J. S., Roupail, N. M., Hummer, J. E. and Allen, D. P. (1998). The Effect of Pedestrians on the Capacity of Signalized Intersections. *Transportation Research Record*.
- [89] Hoogendoorn, S. P. (2003). Pedestrian Travel Behavior Modeling. In. Proc. Travel Behavior Research Lucerne, Elsevier.
- [90] Lovas, G. C. (1994). Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic Flow. *Transportation Research*.
- [91] Henderson, L. F. (1971). The Statistics of Crowd Fluids. *Nature*.
- [92] R. Livi, S. Ruffo, S. Ciliberto, and M. Buiatti, editors, *Chaos and Complexity*. Singapore: World Scientific, 1988.
- [93] G. Doolen, editor, *Discrete Kinetic Theory, Lattice Gas Dynamics and Foundations of Hydrodynamics*. Singapore: World Scientific, 1988.
- [94] P. Manneville, N. Boccara, G. Y. Vichniac, and R. Bideau, editors, *Cellular Automata and Modeling of Complex Physical Systems*. Proceedings in Physics 46, Berlin: Springer Verlag, 1989.
- [95] A. Pires, D. P. Landau, and H. Herrmann, editors, *Computational Physics and Cellular Automata*. Singapore: World Scientific, 1990.
- [96] J. M. Perdang and A. Lejeune, editors, *Cellular Automata: Prospect in Astrophysical Applications*. Singapore: World Scientific, 1993.
- [97] Minnesota IMA cellular automata bibliography. <http://www.ima.umn.edu/bibtex/ca.bib>



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [98] Santa-Fe cellular automata bibliography. <ftp://alife.santafe.edu/pub/topics/cas/ca-faq.bib>
- [99] T. Toffoli, D. Farmer, and S. Wolfram, editors, "Cellular Automata, Proceedings of an Interdisciplinary Workshop," *Physica D*, vol. 10, no. 1-2, 1984.
- [100] J.-P. Boon, editor. "Advanced Research Workshop on Lattice Gas Automata Theory, Implementations and Simulation," *Journal of Statistical Physics*, vol. 68, no. 3, 1992.
- [101] J. von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata*. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1966.
- [102] S. Ulam, "Random processes and transformations," in *Proceedings of the International Congress on Mathematics*, vol. 2, pp. 264-275, 1952.
- [103] A.W. Burks, editor, "Von Neumann's self-reproducing automata." In A.W. Burks, editor, *Essays on Cellular Automata*, pp. 3-64, University of Illinois Press, 1970.
- [104] U. Pesavento, "An implementation of von Neumann's self-reproducing machine," *Artificial Life*, vol. 2, no. 4, pp. 337-354, 1995.
- [105] J.-L. Beuchat and J.-O. Haenni, "Von Neumann's 29-State Cellular Automaton: A Hardware Implementation," *IEEE Transactions on Education*, vol. 43, no. 3, pp. 300-308, August 2000.
- [106] R. P. Feynman, "Simulating physics with computers," *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 21, no. 6/7, pp. 467-488, 1982.
- [107] A. Reggia, S. L. Armentrout, H.-H. Chou, and Y. Peng, "Simple systems that exhibit self-directed replication," *Science*, vol. 259, pp. 1282-1287, 1993.
- [108] E. F. Codd, *Cellular Automata*. New York, NY: Academic Press, 1968.
- [109] C. G. Langton, "Self-reproduction in cellular automata," *Physica D*, vol. 10, no. 1-2, pp. 135-144, 1984.
- [110] J. Byl, "Self-reproduction in small cellular automata," *Physica D*, vol. 34, pp. 259-299, 1989.
- [111] C. G. Langton, C. Taylor, J. D. Farmer, and S. Rasmussen, editors, *Artificial Life II*, volume X of Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity. Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.
- [112] C. G. Langton, "Editor's Introduction," *Artificial Life*, vol. 1, no. 1-2, pp. v-viii, 1994.
- [113] M. Gardner, "The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game life," *Scientific American*, vol. 220, no. 4, pp. 120, 1970.
- [114] E. R. Berlekamp, J. O. Conway, and R. K. Guy, "Winning Ways for your Mathematical Plays," vol. 2, chapter 25. New York, NY: Academic Press 1982.
- [115] M. Gardner, *Wheels, Life and Other Mathematical Amusements*. San Francisco, CA: Freeman, 1983.
- [116] K. Preston and M. Duff, *Modern Cellular Automata: Theory and Applications*. New York, NY: Plenum Press, 1984.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [117] S. Wolfram, Theory and Applications of Cellular Automata. Singapore: World Scientific, 1986.
- [118] S. Wolfram, Cellular Automata and Complexity. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.
- [119] G. Ch. Sirakoulis, I. Karafyllidis, and A. Thanailakis, "A CAD system for the construction and VLSI implementation of Cellular Automata algorithms using VHDL," Microprocessors and Microsystems, vol. 27, no. 8, pp. 381-396, 2003.
- [120] C. S. Lent, P. D. Tougaw, W. Porod, and G. H. Bernstein, "Quantum cellular automata," Nanotechnology, vol. 4, no. 1, pp. 49-57, 1993.
- [121] C. S. Lent and D. Tougaw, "A Device Architecture for Computing with Quantum Dots," Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 4, pp. 541-557, 1997.
- [122] I. Amlani, A. O. Orlov, G. Toth, G. H. Bernstein, C. S. Lent, and G. L. Snider, "Digital Logic Gate Using Quantum-dot Cellular Automata," Science, vol. 284, pp. 289-291, 1999.
- [123] G. L. Snider, A. O. Orlov, I. Amlani, X. Zuo, G. Toth, G. H. Bernstein, C. S. Lent, and W. Porod, "Quantum-Dot cellular automata: Review and recent experiments (invited)," Journal of Applied Physics, vol. 85, no. 8, pp. 4283-4285, 1999.
- [124] A. I. Csurgay, W. Porod, and C. S. Lent, "Signal Processing with Near-Neighbor-Coupled Time-Varying Quantum-Dot Arrays," IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, vol. 7, no. 8, pp. 1212-1223, 2000.
- [125] Dirk Helbing, Illes Farkas, Tamas Vicsek, "Simulating dynamical features of escape panic", nature, Macmillan Magazines Ltd, vol. 407, pp. 487 – 490, (2000)
- [126] Johansson, A., Helbing, D., Al-Abideen, Al-Bosta, H.Z.S. (2008): From crowd dynamics to crowd safety: A video-based analysis. In. Advances in Complex Systems.
- [127] Koltsidas Georgios, diplomathesis, Μελέτη και μοντελοποίηση εκκένωσης χώρων από πλήθος ανθρώπων (2010)
- [128] Weidmann, U. (1993): Transporttechnik der Fußgänger (Schriftenreihe des Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau 90), ETH Zurich, Zurich.
- [129] Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, A., Zittartz, J. (2001): Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. Physica A.
- [130] Mori, M., Tsukaguchi, H. (1987): A new method for evaluation of level of service in pedestrian facilities. In. Transportation Research.
- [131] Polus, A., Schofer, J.L., Ushpiz, A. (1983): Pedestrian flow and level of service. In. Journal of Transportation Engineering.
- [132] Fruin, J.J. (1971): Designing for pedestrians: A level-of-service concept. Highway Research Record.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- [133] Seyfried, A., Steffen, B., Klingsch, W., Boltes, M. (2005): The fundamental diagram of pedestrian movement revisited, *J. Stat. Mech.*
- [134] Karafyllidis, I., Andreadis, I., Tzionas, P., Tsalides Ph., Thanailakis, A.: A Cellular Automaton for the Determination of the Mean Velocity of Moving Objects and its VLSI Implementation. *Pattern Recognition*. 29 (1996) 689-699
- [135] Sirakoulis, G.Ch.: A TCAD system for VLSI implementation of the CVD process using VHDL. *Integration, the VLSI Journal* 37 (2004) 63-81
- [136] P. Viola, M.J. Jones, and D. Snow. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 734–741, 2003.
- [137] R.L. Goldstone, M. A. Janssen. Computational models of collective behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (9), 424-430, 2005.
- [138] I. Haritaoglu, D. Harwood, L. S. Davis. W4: Real-time surveillance of people and their activities, *IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22 (8), 809-822, 2000.
- [139] W. Hu, T. Tan, L. Wang, and S. Maybank. A Survey on Visual Surveillance of Object Motion and Behaviors. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews*, 34 (3), 334-352, Aug. 2004.
- [140] D. Meyer, J. Denzler, and H. Niemann. Model based extraction of articulated objects in image sequences for gait analysis. In: *Proceedings of the IEEE Int. Conf. Image Processing*, 78–81, 1998.
- [141] Y. Kuno, T. Watanabe, Y. Shimosakoda, and S. Nakagawa. Automated detection of human for visual surveillance system. In: *the Proceedings of the Int. Conf. Pattern Recognition*, 865–869, 1996.
- [142] R. Cutler and L.S. Davis. Robust real-time periodic motion detection, analysis, and applications. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 22, 781–796, Aug. 2000.
- [143] P. Remagnino, T. Tan, and K. Baker. Agent orientated annotation in model based visual surveillance. In: *Proceedings of the IEEE Int. Conf. Computer Vision*, 857–862, 1998.
- [144] M. Kilger. A shadow handler in a video-based real-time traffic monitoring system. In: *the Proceedings of the IEEE Workshop Applications of Computer Vision*, Palm Springs, CA, 11–18, 1992.
- [145] A. Mohan, C. Papageorgiou, and T. Poggio. Example-based object detection in images by components. *IEEE Trans. Pattern Recognit. Machine Intell.*, 23, 349–361, Apr. 2001.
- [146] B. Coifman, D. Beymer, P. McLauchlan, and J. Malik. Areal-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance. *Transportation Res.: Part C*, 6 (4), 271–288, 1998.
- [147] G. Recatala, R. Carloni, C. Melchiorri, P. J. Sanz, E. Cervera, and A. P. del Pobil. Vision-based grasp tracking for planar objects. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews*, 38 (6), 844-849, Nov. 2008.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

[148] A. Johansson, D. Helbing, H. Z. A-Abideen, S. Al-Bosta. From crowd dynamics to crowd safety: A video-based analysis. *Advances in Complex Systems*, 11 (4), 497–527, 2008.

[149] N. Alldrin. Detecting Pedestrians.

Available: <http://vision.ucsd.edu/~nalldrin/research/f03/cse252c/cse252c.pdf>

[150] Y. Freund and R.E. Schapire. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Sciences*, 55 (1), 119-139, 1997.

[151] P. Viola, and M. Jones. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: the Proceedings of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 1, 1-511–1-518, 2001.

[152] A. Utsumi, H. Mori, J. Ohya, and M. Yachida. Multiple-view-based tracking of multiple humans. In: the Proceedings Of the Int. Conf. Pattern Recognition, 197–601, 1998.

[153] R.O. Duda, P.E. Hartand, D.G. Stork. *Pattern Classification*. New York: John Wiley and Sons Inc., 2001.