



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Παράγοντες επιρροής αποκρουστικών δυνάμεων σε ροές πεζών
κατά την διαδικασία της προσπέρασης



Φώτιος Π. Γιαννής

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

Αθήνα, Μάιος 2014

στην μνήμη του πατέρα μου

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα κα Ελένη Βλαχογιάννη , Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να υλοποιήσω την παρούσα εργασία. Η βοήθεια της και η καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της. Οι γνώσεις και το υλικό που μου παραχώρησε σε ένα αντικείμενο μελέτης το οποίο δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως συνέβαλλαν σημαντικά στη περάτωση της έρευνας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παραχώρησαν και λειτούργησαν ως εφόδιο όχι μόνο για την εκπόνηση της παρούσας έρευνας αλλά και για την γενικότερη διαμόρφωση μου ως Πολιτικό Μηχανικό.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον βοηθό καθηγητή Tzu-Chang Lee του National Cheng Kung University για την βοήθεια του κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης της περιοχής μελέτης καθώς και την παραχώρηση του λογισμικού Trajectory Extractor.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, στη πνευματική μου μητέρα Αδαμαντία Καρκανίδα και στους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής.

Σύνοψη

Η ασφάλεια και η άνεση κατά την κίνηση ενός πεζού που επιδιώκει να προσεγγίσει τον προορισμό του προϋποθέτει τις λιγότερες εμπλοκές μεταξύ των πεζών. Ένας πεζός θα προσπεράσει τον προπορευόμενο από αυτόν πεζό μόλις εισέλθει στην περιοχή επιρροής του. Ως περιοχή επιρροής νοείται η έλλειψη που δημιουργείται γύρω από τον πεζό ο οποίος προσπερνιέται και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η διαφορά των ταχυτήτων των δύο πεζών, το φύλο, την κατεύθυνση, το αν ο πεζός κινείται μόνος ή σε ομάδα κίνησης κλπ. Η έλλειψη αυτή δεν είναι συμμετρική, δηλαδή ο εξεταζόμενος πεζός εισέρχεται σε τροχιά προσπέρασης με διαφορετικό χωρικό διαχωρισμό από αυτό με τον οποίο εξέρχεται και συνεχίζει την κανονική του πορεία. Η βάση δεδομένων της έρευνας δημιουργείται από παρατηρήσεις που προέρχονται από βιντεοσκόπηση πραγματικών προσπεράσεων. Τα δεδομένα που συλλέγονται εξετάζονται με την χρήση του στατιστικού εργαλείου SEM MIMIC Model στο οποίο σαν δείκτες λειτουργούν οι δύο ασύμμετροι ημίμαζονες της ελλειπτικής περιοχής επιρροής. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δίνουν μια πολύ καλή αποτύπωση του φαινομένου της προσπέρασης. Η ελλειπτική περιοχή παρουσιάζει μεγαλύτερο ημίμαζονα κατά την αρχή της προσπέρασης και μικρότερο κατά το πέρας της και επηρεάζεται πρωτίστως από την κατεύθυνση των δύο εμπλεκόμενων πεζών, έπειτα από την διαφορά ταχυτήτων τους, από τα υπάρχοντα εμπόδια εκατέρωθεν τους και από το αν κινούνται μόνοι ή σε ομάδες κίνησης. Το φύλο επηρεάζει σε λιγότερο βαθμό την περιοχή επιρροής.

Λέξεις Κλειδιά: προσπέραση, ροές πεζών, αποκρουστικές δυνάμεις, μη συμμετρική περιοχή επιρροής, structural equation modeling

Abstract

The safety and the comfort on a pedestrian's movement who seeks to reach his destination requires fewer entanglements between pedestrians. The pedestrian will overtake just entered the affected area of another pedestrian. We consider as affected area the ellipse which is created around pedestrians who are overtaken and is influenced by many factors such as the speed difference between the two pedestrians, the gender, the direction, whether the pedestrian moves alone or in a group, etc. This ellipse is not symmetric, ie the examinee pedestrian enters the overtaking trajectory with a spatial separation which is different from the spatial separation that he leaves this trajectory. The research database is created by real observations using advanced video analysis techniques. The data collected are examined using the statistical tool SEM MIMIC model. The indicators of the model are the two different semi-axons of the elliptical affected area. The results of the model provide a good fitting of the phenomenon examined. The semi-axon at the beginning of the overtaking is bigger than the semi-axon at the end of the overtaking trajectory. The elliptical affected area is primarily influenced by the direction of the movement and then by the speed difference, the existence of obstacles left or right the pedestrian and whether the pedestrian moves alone or in a group. The influence of the gender is less significant in the elliptical affected area.

Keywords: overtaking, pedestrian flows, repulsive forces, asymmetric affected area, structural equation modeling

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Jamaraat Bridge	14
Εικόνα 2: Νέα Γέφυρα Jamaraat.....	16
Εικόνα 3: Τροχιά - Προορισμός	22
Εικόνα 4: Ελλειπτική περιοχή επιρροής	27
Εικόνα 5: Επιρροή γωνίας συνάντησης	30
Εικόνα 6: Εισαγόμενα και εξαγόμενα στοιχεία SIMPED	34
Εικόνα 7: Διαθέσιμος Εξοπλισμός.....	38
Εικόνα 8 Παράθυρο εισαγωγής βίντεο	41
Εικόνα 9: Παράθυρο πραγματικών και φανταστικών συντεταγμένων.....	42
Εικόνα 10: Παράθυρο Status	42
Εικόνα 11: Μετατροπή συντεταγμένων βίντεο σε πραγματικές συντεταγμένες.....	43
Εικόνα 12: Παράθυρο Basic Information	44
Εικόνα 13: Παράθυρο Controller.....	45
Εικόνα 14: Παράθυρο Status	46
Εικόνα 15: Παράθυρο εργασίας Trajectory Extractor	48
Εικόνα 16: Διάταξη SEM	51
Εικόνα 17: SEM MIMIC Model.....	52
Εικόνα 18: Είσοδος-Εξοδος μετρό Κατεχάκη.....	55
Εικόνα 19: Τοπικό Σύστημα Αναφοράς Περιοχής Μελέτης.....	56
Εικόνα 20: Ελεύθερη Τροχιά και Τροχιά Προσπέρασης.....	57

Εικόνα 21: Επιφάνεια Επιρροής	85
Εικόνα 22: Οριοθετημένη ροή πεζών προς μία κατεύθυνση.....	87

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής επιλογής συμπεριφοράς κίνησης.....	21
Διάγραμμα 2: Η πιθανότητα της ταχύτητας λόγω εμπλοκής.....	24
Διάγραμμα 3: Διαδικασία Εξαγωγής Δεδομένων	40
Διάγραμμα 4: Ιστόγραμμα Μεταβλητής spatial	62
Διάγραμμα 5: Διασπορά spatial-dir	63
Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα Μεταβλητής spatial_fronde.....	64
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Διασποράς Μεταβλητών spatial – spatial_fronde	65
Διάγραμμα 8: Ιστόγραμμα μεταβλητής speed_a	66
Διάγραμμα 9: Ιστόγραμμα Μεταβλητής speed_b.....	67
Διάγραμμα 10: : Ιστόγραμμα Μεταβλητής speed_b (nonzero).....	68
Διάγραμμα 11: Ιστόγραμμα μεταβλητής s_a-s_b.....	69
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα Διασποράς s_a-s_b – spatial	70
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα Διασποράς s_a-s_b – spatial_fronde.....	71
Διάγραμμα 14: Διάγραμμα Ροής SEM MIMIC Model	76

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Καταγραφή Ατυχημάτων Γέφυρας Jamaraat	15
Πίνακας 2: Επιλογή στατιστικού τρόπου αντιμετώπισης	19
Πίνακας 3: Τιμές ελεύθερης ταχύτητας ανά τον κόσμο	25
Πίνακας 4: Περιγραφική στατιστική	61
Πίνακας 5: Κατανομές Μεταβλητών	61
Πίνακας 6: : Κατανομή κατηγορικών μεταβλητών	71
Πίνακας 7: Modification indices.....	73
Πίνακας 8: Δείκτες AIC – BIC	74
Πίνακας 9: Αξιολόγηση Μοντέλου SEM	78
Πίνακας 10: Εκτίμηση Παραμέτρων	79
Πίνακας 11: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής influence	80
Πίνακας 12: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής s_a-s_b.....	81
Πίνακας 13: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής spatial	82
Πίνακας 14: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής spatial_fron.....	82

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Η δυναμική του πλήθους

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η τάση ότι η διάταξη των χώρων σε κατασκευές , που εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό χρηστών , να εξαρτάται εκτός από την λειτουργικότητα τους και από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χρηστών αυτών. Ακόμα σε κατασκευές που παρουσιάζουν σημαντικό κυκλοφοριακό φόρτο πεζών μελετάται ο επανασχεδιασμός των υποδομών τους διότι συνεισφέρει σε αύξηση της κοινωνικής διαμόρφωσης καθώς και βελτίωση των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων. Πολλά παραδείγματα ατυχημάτων που στοίχησαν την ζωή εκατοντάδων ανθρώπων όπως η πεζογέφυρα Jamaraat στην Σαουδική Αραβία οφείλονται σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης πεζών. Για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων καθώς και για την βελτίωση της λειτουργίας ήδη υπάρχουσών υποδομών έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης , παρακολούθησης και διαχείρισης του πλήθους. Οι τεχνικές αυτές αποτελούν την επιστήμη του πλήθους.

Η δυναμική του πλήθους μπορεί να οριστεί ως η επιστήμη που μελετά το που και το πώς το πλήθος σχηματίζεται και κινείται για πυκνότητες μεγαλύτερες κάποιας κρίσιμης τιμής. Σε υψηλές πυκνότητες υπάρχει η πιθανότητα συνωστισμού και τραυματισμών , γεγονός που καθιστά την κατανόηση της δυναμικής του πλήθους ιδιαίτερα σημαντική (Still , 2000). Ακόμα και στον ελλαδικό χώρο έχουν συμβεί τραγωδίες που οφείλονται σε μη εκτόνωση κορεσμένης μάζας πεζών όπως η τραγωδία της Θύρας 7 τον Φεβρουάριο του 1981 στο στάδιο Καραϊσκάκη. Ο σχεδιασμός πιο ασφαλών και λειτουργικών κτιρίων , σταδίων, χώρων συναυλιών και γενικά τόπων που συγκεντρώνονται πολλοί χρήστες πρέπει να λαμβάνει υπόψη την διάδοση της κίνησης και τις αλληλεπιδράσεις των πεζών σε υψηλές πυκνότητες. Το πώς το πλήθος αντιλαμβάνεται και ερμηνεύει τις πληροφορίες του συστήματος και πως η διαχείριση του συστήματος επηρεάζει την συμπεριφορά του πλήθους αποτελεί το κύριο αντικείμενο μελέτης της δυναμικής του πλήθους.

Στα μαθηματικά μοντέλα το σύστημα αναπαριστάται μέσω λογικών ή ποσοτικών σχέσεων οι οποίες τροποποιούνται και αλλάζουν για να βγουν συμπεράσματα σχετικά με την συμπεριφορά του συστήματος υπό διαφορετικές συνθήκες. Επειδή όμως το μοντέλο είναι μια γενική περιγραφή του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθεί και να συγκρίνει ένα πεπερασμένο αριθμό διαφορετικών εναλλακτικών διατάξεων.

Η επιστήμη της δυναμικής του πλήθους έχει σαν σκοπό την αντιμετώπιση προβλημάτων αποσυμφόρησης του κορεσμένου πλήθους και την κατασκευή ή διαμόρφωση ασφαλών υποδομών τόσο κατά τις συνθήκες λειτουργίας τους όσο και κατά περιστατικά άμεσης εκκένωσης τους. Όπως αναφέρεται παραπάνω το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της επιστήμης αυτής είναι ο επανασχεδιασμός και η αναδιαμόρφωση της γέφυρας Jamaraat στη Σαουδική Αραβία.

1.2 Η Γέφυρα Jamaraat

Η γέφυρα Jamaraat είναι μία πεζογέφυρα στην πόλη Μίνα της Σαουδικής Αραβίας που προσελκύει κάθε χρόνο τεράστιο αριθμό Μουσουλμάνων προσκυνητών. Η πόλη Μίνα βρίσκεται κοντά στην Μέκκα και κατά την διάρκεια του τελετουργικού Hajj οι μουσουλμάνοι προσκυνητές χρησιμοποιούν την γέφυρα για τον λιθοβολισμό του διαβόλου (μέσω του λιθοβολισμού τριών πυλώνων). Η γέφυρα κατασκευάστηκε αρχικά το 1963 , και έχει επεκταθεί αρκετές φορές από τότε . Ο σκοπός της γέφυρας είναι να επιτρέπει στους προσκυνητές να πετάνε πέτρες σε τρεις πυλώνες (jamrah) είτε από το επίπεδο του εδάφους είτε πάνω από τη γέφυρα. Οι πυλώνες εκτείνονται μέσα από τρία ανοίγματα στη γέφυρα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Jamaraat Bridge

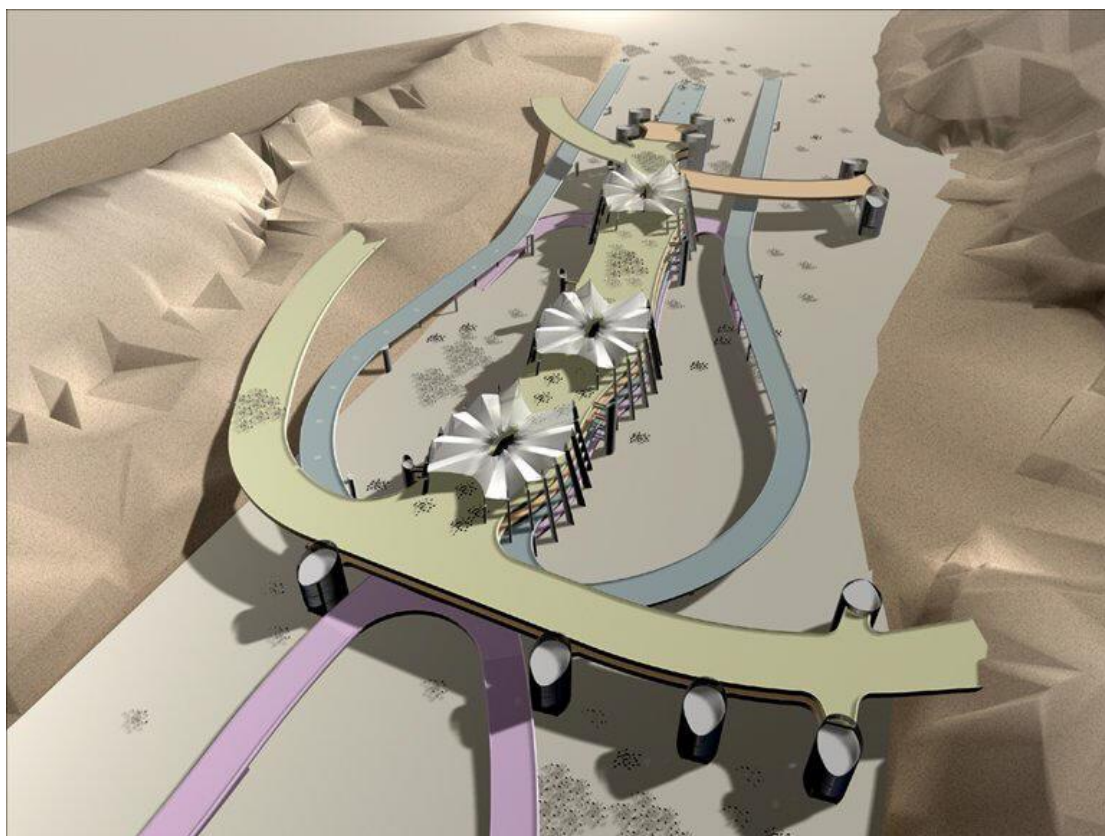
Όπως προαναφέρθηκε κατά την διάρκεια του Hajj η γέφυρα προσελκύει τεράστιο όγκο προσκυνητών οι οποίοι την τελευταία μέρα αυτού του εθίμου έχουν μαζί τους τις αποσκευές τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο συνωστισμό ο οποίος δύσκολα μπορεί να αποσυμφορηθεί και οδηγεί τις περισσότερες φορές σε τραυματισμούς και θανάτους εκατοντάδων πεζών. Έχουν καταγραφεί πολλές περιπτώσεις όπου μια άτακτη φυγή οδήγησε σε ποδοπάτημα των προσκυνητών προκαλώντας τραυματισμό ή ακόμα και θάνατο (Πίνακας 1).

Ημερομηνία	Θάνατοι	Τραυματισμοί
23-05-1994	270	άγνωστος αριθμός
09-04-1998	118	180
02-03-2001	35	άγνωστος αριθμός
11-02-2003	14	άγνωστος αριθμός
01-02-2004	251	244
12-01-2006	346	289

Πίνακας 1: Καταγραφή Ατυχημάτων Γέφυρας Jamaraat

Μετά το γεγονός του Φεβρουαρίου του 2004 οι αρχές της Σαουδικής Αραβίας ανακοίνωσαν την ανακατασκευή της γέφυρας. Οι αλλαγές αυτές περιλάμβαναν δημιουργία πρόσθετων τρόπων πρόσβασης , περισσότερες πεζογέφυρες , χτίσιμο εξόδων κινδύνου και οι κυλινδρικοί πυλώνες αντικαταστήθηκαν με μακρύτερα και ψηλότερα τοιχία από σκυρόδεμα προκειμένου να έχουν πρόσβαση σε αυτούς περισσότεροι προσκυνητές ταυτόχρονα (Εικόνα 2).

Οι επεμβάσεις αυτές ήταν αποτέλεσμα σεναρίων σε μοντέλα προσομοίωσης που αφορούν την αποσυμφόρηση του πλήθους σε περίπτωση κινδύνου. Επειδή το έργο δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα δίνεται μεγάλη έμφαση στην τελειοποίηση των υπαρχόντων μοντέλων προσομοίωσης προκειμένου να εξάγουν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα. Πλέον η μελέτη της λειτουργικότητας και της ασφάλειας ενός χώρου που αποτελεί πόλο έλξης πολλών επισκεπτών απαιτεί περισσότερη έμφαση από ότι οι στατικές μελέτες κλπ.



Εικόνα 2: Νέα Γέφυρα Jamaraat

1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Οι υποδομές οι οποίες εξυπηρετούν μεγάλο πλήθος επισκεπτών και διαμορφώνονται σε αυτές τροχιές από μεγάλο αριθμό πεζών πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις προκειμένου οι πεζοί να προσεγγίζουν με άνεση και ασφάλεια τον προορισμό τους. Η μεγαλύτερη ασφάλεια και η άνεση κατά την κίνηση προϋποθέτει λιγότερες εμπλοκές μεταξύ των πεζών. Όταν ένας πεζός εισέρχεται στην περιοχή επιρροής ενός άλλου πεζού δρουν σε αυτόν οι αποκρουστικές δυνάμεις με συνέπεια ο πρώτος είτε να επιδιώξει να προσπεράσει τον δεύτερο είτε να επιβραδύνει προκειμένου να μην συγκρουστεί μαζί του. Η διαδικασία της προσπέρασης ξεκινάει την στιγμή που ο πεζός παρεκκλίνει από την κανονική του πορεία αλλάζοντας προσανατολισμό και τελειώνει όταν έλθει στην αρχική του τροχιά. Σε αντίθεση με την μελέτη των οχημάτων των οποίων οι κινήσεις καθορίζονται από τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας και την γεωμετρία του χώρου ο πεζός έχει άπειρες επιλογές κίνησης και τρόπους να προσεγγίσει τον προορισμό του.

Στην παρούσα έρευνα θα μελετηθεί η μορφή της περιοχής επιρροής του εμπλεκόμενου πεζού καθώς και οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται. Θα δοθεί

ιδιαίτερη έμφαση στο πως αυτοί οι παράγοντες λειτουργούν είτε αποκρουστικά είτε ελκυστικά στην ροή του πεζού σε συνθήκες πραγματικής προσπέρασης.

Τα δεδομένα της έρευνας θα ληφθούν από πραγματικές μετρήσεις με την μέθοδο της βιντεοσκόπησης συνεπώς θα αποτελέσουν πειραματικά στοιχεία και όχι δεδομένα μοντέλων προσομοίωσης. Η επιλογή αυτή γίνεται διότι σκοπός της διπλωματικής είναι να ληφθεί υπόψη ο ανθρώπινος παράγοντας ο οποίος στα μοντέλα προσομοίωσης ρυθμίζεται μέσα από ένα σύνολο εξισώσεων. Το πείραμα θα αφορά συγκεκριμένη περιοχή μελέτης συνεπώς επιδιώκεται οι παράγοντες που μελετούνται να μην επηρεάζονται άμεσα από την γεωμετρία του χώρου προκειμένου τα αποτελέσματα να μπορούν να ανάγονται σε γενικότερη κλίμακα. Η βάση δεδομένων που θα προκύψει θα επεξεργαστεί με την χρήση στατιστικών μοντέλων προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή συνεχών και κατηγορικών μεταβλητών στην περιοχή επιρροής του πεζού.

1.4 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια. Αναλυτικότερα:

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύντομη περιγραφή της επιστήμης που μελετά την δυναμική του πλήθους καθώς και τα προβλήματα που επιδιώκει να αντιμετωπίσει τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπρόσθετα, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός και η διάρθρωση της παρούσας έρευνας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δημοφιλέστερα μοντέλα προσομοίωσης τα οποία παρατηρούνται στη βιβλιογραφία και αφορούν κινήσεις πεζών. Δίνεται έμφαση στον τρόπο με τον οποίο τα μοντέλα αυτά αντιμετωπίζουν την περιοχή επιρροής των πεζών κατά την διαδικασία της προσπέρασης και στους παράγοντες που δεν καλύπτονται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία προκειμένου να μελετηθούν στη παρούσα εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση της έρευνας. Περιγράφεται η διαδικασία της συλλογής των στοιχείων , ο διαθέσιμος εξοπλισμός καθώς και το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των μετρήσεων. Ακόμα αναπτύσσεται και το είδος του μοντέλου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της έρευνας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναλυτικά η περιγραφή του πειράματος η οποία περιλαμβάνει την διαδικασία επιλογής της περιοχής μελέτης καθώς και την διαδικασία εξαγωγής δεδομένων. Ακολουθεί εκτενής ανάλυση των μεταβλητών του μοντέλου καθώς και η περιγραφική στατιστική αυτών. Επιπρόσθετα , παρουσιάζεται η μόρφωση του μοντέλου , τα αποτελέσματα και η τελική αξιολόγηση αυτού.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας όπως αυτά εξάγονται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου. πραγματοποιείται εκτενής ανάλυση πως τα συμπεράσματα αυτά συμβάλουν συμβάλλουν στην εκπλήρωση του σκοπού της έρευνας καθώς και παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Δημοφιλέστερες Τεχνικές Μοντελοποίησης

Η μοντελοποίηση είναι η βασικότερη τεχνική αντιμετώπισης της δυναμικής του πλήθους. Τα μαθηματικά μοντέλα προσπαθούν να περιγράψουν και να εξηγήσουν τα πραγματικά φαινόμενα μέσα από μαθηματικούς τύπους και σχέσεις. Αυτό είναι δυνατό να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με την έμφαση που απαιτείται σε κάθε έρευνα. Γι αυτό το σκοπό σε κάθε μαθηματικό μοντέλο πραγματοποιούνται απλοποιήσεις και παραδοχές προκειμένου να περιοριστεί η πολυπλοκότητα των συστημάτων που περιγράφονται (Πίνακας 2).

Stimulus	simple or standard situations	complex or new situations
Reaction	automatic reaction, reflex	result of evaluation, decision process
Characterization	well predictable	probabilistic
Modeling concept	social force model, etc.	decision theoretical model, etc.
Example	pedestrian motion	destination choice by pedestrians

Πίνακας 2: Επιλογή στατιστικού τρόπου αντιμετώπισης βάση της πολυπλοκότητας του φαινομένου (πηγή: Helbing and Molnar , 1995)

Από τις διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην βιβλιογραφία για να περιγράψουν φαινόμενα που αφορούν στη δυναμική του πλήθους , τρεις είναι αυτές οι οποίες είναι ευρέως αναγνωρισμένες. Τα μοντέλα τύπου Cellular Automata που παρατηρούνται μεταξύ άλλων κυρίως σε έρευνες των Still (2000), Adler και Blue (1999) το Social Force Model με κύριους υποστηρικτές τους Helbing και Molnar (1995) και Helbing et al. (2003), καθώς και τα μοντέλα που στηρίζονται σε υποδείγματα αεροκίνησης όπως παρατηρούνται σε έρευνες των Hoogendoorn and Bovy (2002). Τα μοντέλα τύπου Cellular Automata είναι συστήματα που χρησιμοποιούν απλούς αυτόνομους παράγοντες οι οποίοι υπακούν σε φυσικούς και ενστικτώδεις κανόνες. Χρησιμοποιούν το χώρο που γίνεται η προσομοίωση

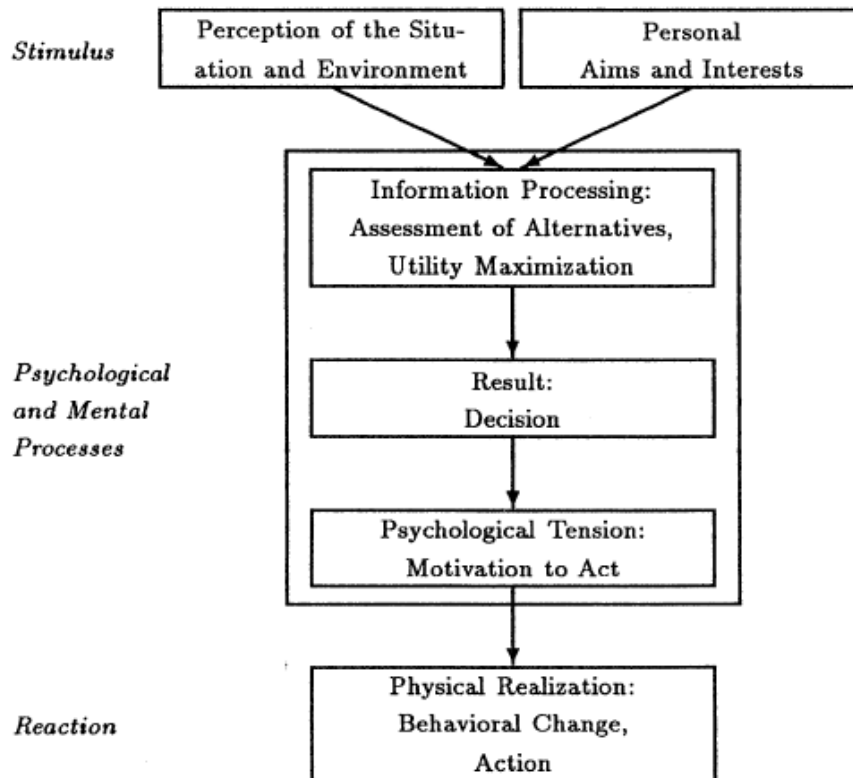
χωρίζοντας τον σε κελιά και βραχυπρόθεσμα οι αντιδράσεις των πεζών και γενικά των παραγόντων που μελετούνται μπορούν να προσεγγιστούν από ένα περιορισμένο σύνολο κανόνων. Το Social Force Model είναι ένα μοντέλο που βασίζεται σε ένα σύνολο εξισώσεων και καθορίζει την κίνηση των πεζών βάση των αποκρουστικών και των ελκυστικών αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν ανάμεσα στους εξεταζόμενους παράγοντες και σε άλλους παράγοντες όπως πεζοί , εμπόδια , βιτρίνες κλπ. Τέλος τα μοντέλα που στηρίζονται σε υποδείγματα της κίνησης των αερίων χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό τύπους που ρυθμίζουν την συμπεριφορά ενός ρευστού προκειμένου να περιγράψουν φαινόμενα δυναμικής του πλήθους.

Προφανώς για να αναπαρασταθεί ένα φαινόμενο μπορούν να εφαρμοστούν πολλά μοντέλα , γεγονός που κάνει την αξιολόγηση των μοντέλων δύσκολη διαδικασία. Ο όρος αυτό το μοντέλο είναι καλύτερο από το άλλο δεν υφίσταται στην ουσία διότι πρέπει να καθοριστεί σε τι υπερτερεί και σε τι μειονεκτεί στην περιγραφή του συστήματος.

2.2 Social Force Model

Η ανθρώπινη συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από πολλούς ως χαοτική , χωρίς να διέπεται από κανόνες και δύσκολα προβλέψιμη και όντως έτσι συμβαίνει κατά κύριο λόγο στις σύνθετες καταστάσεις της καθημερινότητας ενός ατόμου αφού η επιλογή των κινήσεων του οφείλεται καθαρά στην ελεύθερη του βούληση. Παρόλα αυτά , σε σχετικά απλές περιπτώσεις μπορούν να αναπτυχθούν στοχαστικά μοντέλα τα οποία είναι ικανά να περιγράψουν την πιθανή συμπεριφορά ενός ατόμου ή μίας ομάδας ατόμων πάντα μέσα σε ένα πλαίσιο κανόνων. Σε αυτή την ιδέα στηρίχτηκε ο Dirk Helbing και η ομάδα του και δημιούργησαν το Social Force Model (Helbing and Molnar , 1995).

Η βασική αρχή του Social Force Model είναι ότι η κίνηση ενός πεζού είναι δυνατόν να περιγραφεί σαν ο εξεταζόμενος πεζός να είναι υποκείμενος σε “κοινωνικές δυνάμεις” . Με τον όρο δύναμη δεν εννοείται η αντίδραση που προκαλείται από τις επαφές ή τις κρούσεις του εξεταζόμενου πεζού με τους άλλους πεζούς ή με εμπόδια αλλά το εσωτερικό του κίνητρο να αναπτύξει μια κίνηση. Αυτό το κίνητρο άλλοτε προκαλεί επιτάχυνση στην κίνηση , όπως για παράδειγμα αν ο πεζός θέλει να προλάβει ένα οικείο πρόσωπο το οποίο προπορεύεται ή να παρακολουθήσει μια έκθεση που λαμβάνει τόπο στον χώρο κίνησης του , και άλλοτε προκαλεί επιβράδυνση , όπως για παράδειγμα όταν ο πεζός συναντήσει πεζούς οι οποίοι κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από αυτόν ή άλλα σταθερά εμπόδια που θα τον αναγκάσουν να παρακάμψει (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής επιλογής συμπεριφοράς κίνησης (πηγή: Helbing and Monlar , 1995)

Γενικά στο Social Force Model πολλοί ορισμοί της κοινωνικής δύναμης είναι ουσιώδεις αναλύοντας την έτσι σε τρεις βασικές συνιστώσες. Η βασικότερη συνιστώσα είναι αυτή που ορίζει την δύναμη ως την μάζα επί την επιτάχυνση που θα αναπτύξει ο πεζός βάση της ταχύτητας με την οποία με την οποία κινείται και με την ελεύθερη ταχύτητα με την οποία επιθυμεί να κινηθεί. Η δεύτερη συνιστώσα είναι αυτή που αντικατοπτρίζει την τάση των πεζών να διατηρούν αποστάσεις ασφαλείας από εμπόδια και άλλους πεζούς και τέλος σημαντική είναι και η συνιστώσα της δύναμης που προκαλεί ελκυστική επιρροή στην κίνηση του πεζού. Παρακάτω θα γίνει εκτενέστερη ανάλυση αυτών των συνιστωσών καθώς και θα ερμηνευτεί η φυσική τους σημασία προκειμένου να γίνει το μοντέλο κατανοητότερο.

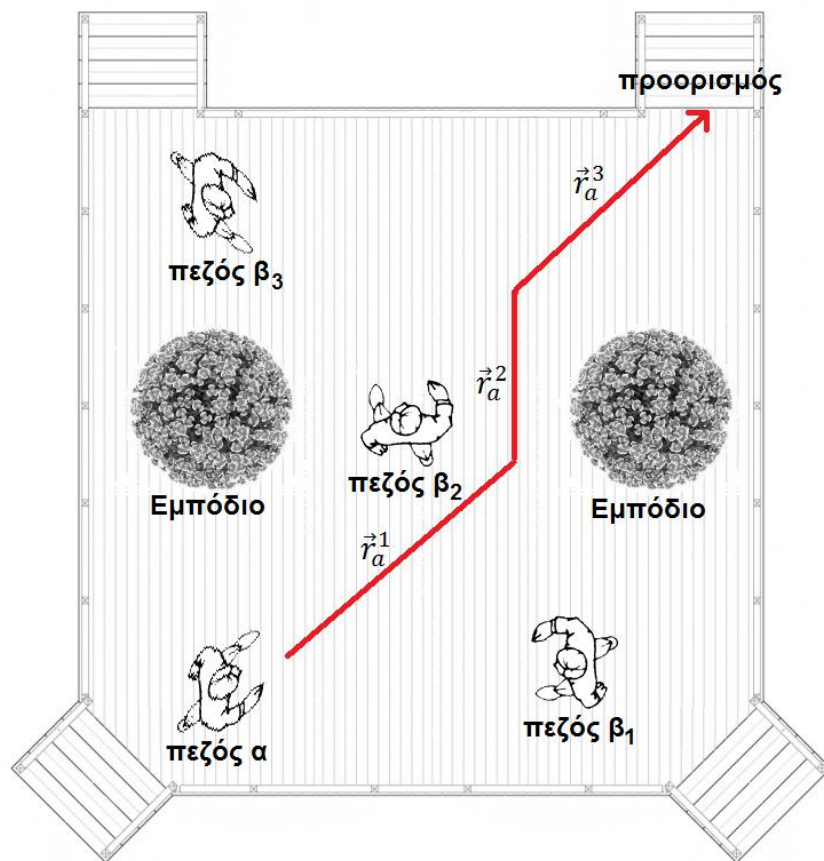
2.2.1 Ανάλυση του Social Force Model

Το Social Force Model είναι ένα “equation-based model” προσπαθεί δηλαδή να αναπαραστήσει την κίνηση των πεζών μέσα από ένα σύνολο εξισώσεων . Οι εξισώσεις της κίνησης που προκύπτουν είναι διπλές εξισώσεις Langevin (coupled Langevin equations) οι οποίες προσδίδουν στο μοντέλο στοχαστικό χαρακτήρα. Για την καλύτερη κατανόηση του μοντέλου ακολουθεί αναλυτική ανάπτυξη των

εξισώσεων που το διέπουν καθώς και των παραμέτρων και γενικά όλων των εννοιών που προκύπτουν από αυτές.

Προορισμός (destination) \vec{r}_a^0 (1)

Ο πεζός α θέλει να φθάσει σε αυτόν όσο το δυνατόν πιο σύντομα πιο άνετα και αποφεύγοντας τις παρακάμψεις. Στην ουσία ο προορισμός είναι το πολύγωνο με τις πλευρές $\vec{r}_a^1, \vec{r}_a^2, \dots, \vec{r}_a^n$ όπως αυτό παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Τροχιά - Προορισμός

Κατεύθυνση \vec{e}_a

Η κατεύθυνση $\vec{e}_a(t)$ ορίζεται από την ακριβή θέση του πεζού α σε χρόνο t $[\vec{r}_a(t)]$ και την αμέσως επόμενη πλευρά του πολυγώνου προορισμού στην οποία θέλει να κινηθεί $[\vec{r}_a^k]$ από την σχέση:

$$\vec{e}_a(t) = \frac{\vec{r}_a^k - \vec{r}_a(t)}{\|\vec{r}_a^k - \vec{r}_a(t)\|} \quad (2)$$

Επειδή οι πεζοί κατευθύνονται προς εισόδους/εξόδους ή γενικά περιοχές και όχι προς ένα συγκεκριμένο σημείο το \vec{r}_a^k μπορώ να το εκφράσω και ως $\vec{r}_a^k(t)$ δηλαδή ως το κοντινότερο σημείο προορισμού.

Επιθυμητή ταχύτητα (desired speed) \vec{u}_a^0

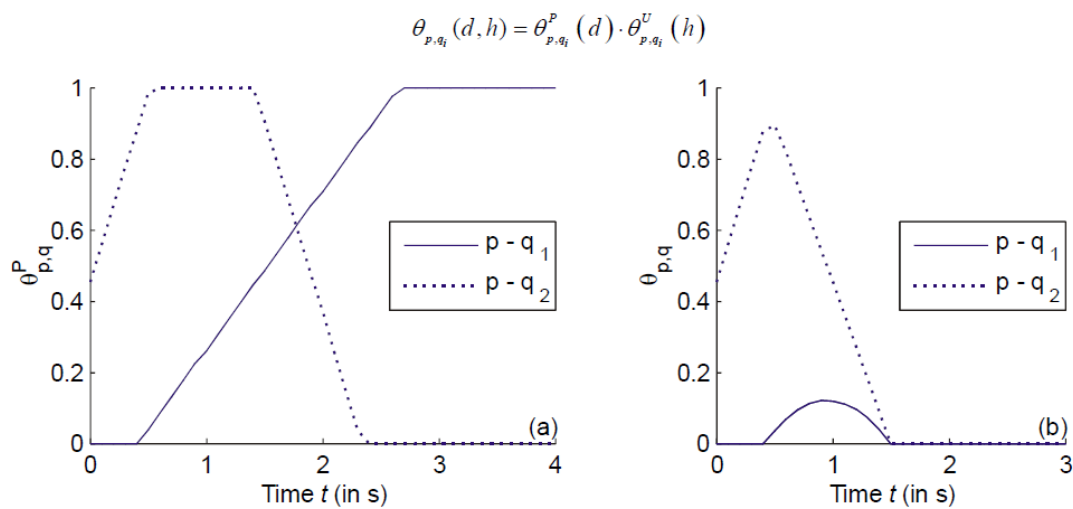
Επιθυμητή είναι η ταχύτητα την οποία αναπτύσσει ο πεζός a προκειμένου να προσεγγίσει τον προορισμό του χωρίς να έχει κάτι ή κάποιον που να εμποδίζει την κίνηση του με κατεύθυνση $\vec{e}_a(t)$ και εκφράζεται ως $\vec{u}_a^0(t) = \vec{u}_a^0 \vec{e}_a(t)$. Όπως είναι προφανές αυτή προκύπτει σε χαμηλές πυκνότητες πεζών όταν δηλαδή ο πεζός μπορεί να αξιοποιήσει όλο τον διαθέσιμο χώρο προκειμένου να πλησιάσει με άνεση το σημείο προορισμού. Η επιθυμητή ταχύτητα η ελεύθερη ταχύτητα όπως αυτή αναφέρεται στην βιβλιογραφία είναι δύσκολο να καθοριστεί διότι, όντας παρατηρητές, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε αν ο πεζός a χρησιμοποιεί την ελεύθερη ταχύτητα η κινείται με μια μικρότερη.

Παράγοντες που επηρεάζουν την επιθυμητή ταχύτητα του πεζού είναι τα φυσικά χαρακτηριστικά του (φύλο, ηλικία, διασκελισμός κλπ), τα χαρακτηριστικά της υποδομής του βαδίσματος δηλαδή το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται το βάδισμα (επίπεδο, μήκος, πλάτος, τύπος της εγκατάστασης), ο καιρός, η χώρα καθώς και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες. Ακόμα οι πεζοί που επαναλαμβάνουν την ίδια διαδρομή σε καθημερινή βάση παρατηρείται να αναπτύσσουν μεγαλύτερη ελεύθερη ταχύτητα στις αντίστοιχες τιμές πυκνότητας πεζών που εμφανίζεται. Στο παρόν μοντέλο πολλά από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ποικίλουν καθιστώντας αδύνατον να καθορίσουμε την επιθυμητή ταχύτητα βάση αυτών συνεπώς η τιμή της θα καθοριστεί με κατανομή μιας στοχαστικής μεταβλητής.

Η ελεύθερη ταχύτητα είναι πάντα μεγαλύτερη από την ταχύτητα που παρατηρείται σε μικρές πυκνότητες και οι διαθέσιμες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση της σε ροή οχημάτων (π.χ. headway criterion) δεν είναι κατάλληλες να εφαρμοστούν και για την ροή πεζών. Στους πεζούς υπάρχει ελευθερία να επιλέξουν κατεύθυνση πράγμα που δεν συμβαίνει στα οχήματα. Ένα όχημα μπορεί να παρεμποδιστεί να αναπτύξει την ελεύθερη του ταχύτητα από ένα άλλο όχημα που κινείται προς στην ίδια κατεύθυνση αλλά στους πεζούς η παρεμπόδιση μπορεί να πραγματοποιηθεί από όλες τις κατευθύνσεις (Διάγραμμα 2).

Ένα ακόμα φαινόμενο που δυσχεραίνει τον προσδιορισμό της ελεύθερης ταχύτητας είναι η τάση των πεζών είτε να περπατάνε μόνοι τους είτε να ακολουθούν άλλον πεζό

με συνέπεια για να μην προβούμε σε υποαξιολόγηση της επιθυμητής ταχύτητας να πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας μόνο αυτούς που κινούνται ελεύθερα. Ακόμα προσοχή στον καθορισμό της επιθυμητής ταχύτητας πρέπει να δοθεί και στο γεγονός ότι αυτοί που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να περιοριστούν από αυτούς με σχετικά μικρή ταχύτητα. Προκειμένου να εντοπιστεί ο βαθμός παρεμπόδισης στην ελεύθερη ταχύτητα δεν αρκεί να μελετήσουμε μόνο την απόσταση των πεζών αλλά και τον παράγοντα του χρόνου. Αν κάποιος έρθει πολύ κοντά για μικρό χρονικό διάστημα δευτερολέπτων θα επιφέρει μικρότερη παρεμπόδιση από κάποιον που θα βρίσκεται στην ίδια απόσταση για περισσότερο χρόνο.



Διάγραμμα 2: Η πιθανότητα η ταχύτητα ενός πεζού p να περιοριστεί από την εμπλοκή με πεζούς q1 q2 (Πηγή: Daamen et al , 2006)

Οι ακραίες της τιμές που έχουν παρατηρηθεί κατά την βιβλιογραφία είναι 1.08 m/s (Koushki) στην Σαουδική Αραβία και 1.6 m/s (Hankin and Wright) στις Η.Π.Α. και βάση αυτών προκύπτει ένας μέσος όρος ίσος με 1.34 m/s και μια τυπική απόκλιση 0.37 m/s ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στα ήδη υπάρχοντα μοντέλα προσομοίωσης. Γενικά, από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί οι μέσοι όροι της τιμής της επιθυμητής ταχύτητας είναι σε κάθε ήπειρο: 1.41 m/s στην Ευρώπη , 1.35 m/s στην Αμερική , 1.44 m/s στην Αυστραλία και 1.24 m/s στην Ασία (Πίνακας 3).

Πηγή	Μέση Τιμή (m/s)	Τυπική Απόκλιση (m/s)	Χώρα
CROW	1.40		Ολλανδία
Daamen	1.41	0.215	Ολλανδία
Daly et al.	1.47		Ηνωμένο Βασίλειο
FHWA	1.20		ΗΠΑ
Fruin	1.40	0.15	ΗΠΑ
Hankin and Wright	1.60		Ηνωμένο Βασίλειο
Henderson	1.44	0.23	Αυστραλία
Hoel	1.05	0.20	ΗΠΑ
Institute of Transportation Engineers	1.20		ΗΠΑ
Knoflachner	1.45		Αυστρία
Koushki	1.08		Σαουδική Αραβία
Lam et al.	1.19	0.26	Χονγκ Κονγκ
Morrall et al.	1.25		Σρι Λάνκα
Morrall et al.	1.40		Καναδάς
Navin and Wheeler	1.32		ΗΠΑ
O'Flaherty and Parkinson	1.32	1.00	Ηνωμένο Βασίλειο
Older	1.30	0.30	Ηνωμένο Βασίλειο
Pauls	1.25		ΗΠΑ
Roddin	1.60		ΗΠΑ
Sarkar and Janardhan	1.46	0.63	Ινδία
Sleight	1.37		ΗΠΑ
Tanariboon et al.	1.23		Σιγκαπούρη
Tanariboon and Cuyano	1.22		Ταϊλάνδη
Tregenza	1.31	0.3	Ηνωμένο Βασίλειο
Virkler and Elayadath	1.22		ΗΠΑ
Young	1.38	0.27	ΗΠΑ
M.O.	1.34	0.37	

Πίνακας 3: Τιμές ελεύθερης ταχύτητας ανά τον κόσμο (Πηγή: Daamen et al , 2006)

Πραγματική ταχύτητα (actual speed) \vec{u}_a

Η επιθυμητή ταχύτητα λόγω διαδικασιών επιβράδυνσης ή αποφυγής εμποδίων παρεκκλίνει σε μία πραγματική ταχύτητα \vec{u}_a η οποία τείνει να γίνει επιθυμητή σε χρόνο χαλάρωσης τ_a . Η πραγματική ταχύτητα εκφράζεται και ως

$$\vec{u}_a(t) = \frac{d\vec{r}_a}{dt} \quad (3)$$

Αρχική Επιτάχυνση \vec{F}_a^0

Ο πεζός a όπως προαναφέρθηκε έχει την τάση να επανακτήσει την επιθυμητή του ταχύτητα σε χρόνο χαλάρωσης τ_a . Η τάση του αυτή εκφράζεται με την μορφή της αρχικής επιτάχυνσης δηλαδή

$$\vec{F}_a^0(t) = \frac{1}{\tau_a} [\vec{u}_a^0 \vec{e}_a(t) - \vec{u}_a(t)] \quad (4)$$

Αποκρουστικές και ελκυστικές επιδράσεις

Στο Social Force Model υπάρχουν δύο αποκρουστικά αποτελέσματα το πρώτο προέρχεται από τους άλλους πεζούς και το δεύτερο από τα σταθερά εμπόδια. Συνεπώς αναπτύσσονται και δύο αποκρουστικές επιδράσεις οι οποίες εκφράζονται με την μορφή επιτάχυνσης:

- άλλοι πεζοί

Η κίνηση του πεζού a επηρεάζεται από τους άλλους πεζούς. Συγκεκριμένα ο πεζός a διατηρεί μια καθορισμένη απόσταση από τους άλλους πεζούς η οποία εξαρτάται από την πυκνότητα των πεζών καθώς και από την επιθυμητή ταχύτητα $\vec{u}_a^0(t)$. Στο SFM το προσωπικό εκτόπισμα κίνησης του κάθε πεζού το οποίο ερμηνεύεται ως εδαφική επίδραση αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ένας πεζός υπό κανονικές συνθήκες νιώθει όλο και λιγότερο άνετα καθώς πλησιάζει έναν άγνωστο πεζό ο οποίος μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτόν με επιθετικό τρόπο. Αυτό το αποτέλεσμα των άλλων πεζών β μπορεί να αναπαρασταθεί με τις διανυσματικές ποσότητες οι οποίες όπως προαναφέρθηκε έχουν μορφή επιτάχυνσης.

$$\vec{f}_{a\beta} = -\nabla_{\vec{r}_{a\beta}} V_{a\beta} [b(\vec{r}_{a\beta})] \quad (5)$$

όπου $V_{a\beta}$ είναι η αποκρουστική δυνατότητα των άλλων πεζών β , μια μονοτονική γνησίως φθίνουσα συνάρτηση η οποία εξαρτάται από το b .

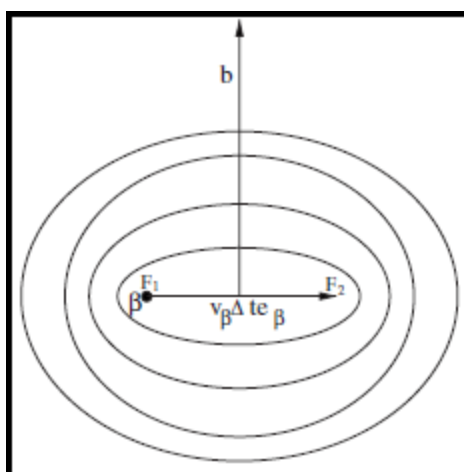
Αποκρουστική δυνατότητα ($V_{\alpha\beta}$)

Η αποκρουστική δυνατότητα είναι όπως έχει προαναφερθεί μία εκθετικά φθίνουσα συνάρτηση του $b_{\alpha\beta}$ η οποία επηρεάζεται από την γωνία των πεζών α και β το μέγεθος του βήματος τους καθώς και από την ταχύτητα τους (Εικόνα 4).

$$V_{\alpha\beta}(b_{\alpha\beta}) = AB e^{-b_{\alpha\beta}/B} \quad (6)$$

όπου A και B σταθεροί (χάρην απλοποίησης για το παρόν μοντέλο) παράμετροι που αφορούν:

- A : την δύναμη της επίδρασης και μετριέται σε [N]
- B : το εύρος της επίδρασης και μετριέται σε [m]



Εικόνα 4: Ελλειπτική περιοχή επιρροής (πηγή: Helbing et al , 2006)

Για τον υπολογισμό της αποκρουστικής δύναμης έχουν αναπτυχθεί δύο θεωρίες η σφαιρική και η ελλειπτική. Κατά την σφαιρική θεώρηση η αποκρουστική δυνατότητα επηρεάζεται καθαρά και μόνο από την απόσταση των δύο πεζών και ο τύπος της δίνεται από την σχέση $V_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta}) = Ae^{-\vec{r}_{\alpha\beta}/B}$. Η ελλειπτική θεώρηση έχεις δύο υποκατηγορίες την ελλειπτική θεώρηση I η οποία υπολογίζει και την ταχύτητα με την οποία κινείται ο πεζός β και την ελλειπτική θεώρηση II η οποία υπολογίζει και εκείνη την ταχύτητα κίνησης των πεζών αλλά παράλληλα τους αντιμετωπίζει συμμετρικά. Αυτό σημαίνει ότι κατά την δεύτερη θεώρηση ο πεζός β μπορεί να θεωρηθεί ως α και το αντίστροφο ενώ κατά την θεώρηση I ο πεζός β αντιμετωπίζεται σαν ένα εμπόδιο με ταχύτητα.

Παρόλο που η ελλειπτική είναι πιο σύνθετη από την σφαιρική θεώρηση εφαρμόζεται στο παρόν μοντέλο διότι πλεονεκτεί στο γεγονός ότι οι αλληλεπιδράσεις δεν εξαρτώνται μόνο από την απόσταση αλλά και από την σχετική ταχύτητα και στο ότι η δύναμη δεν έχει αυστηρά την διεύθυνση των πεζών α και β άλλα έχει μια πλευρική συνιστώσα. Εφαρμόζοντας την ελλειπτική θεώρηση έχουμε λιγότερους ελιγμούς καθιστώντας το μοντέλο πιο ρεαλιστικό.

Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε φυσικό περιβάλλον στην Βουδαπέστη και στην Στουτγάρδη από τον Anders Johansson , τον Dirk Helbing και την ομάδα τους και παρουσιάζονται στο σύγγραμμα "Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data" έγινε προσπάθεια να εκτιμηθούν οι παράμετροι A και B . Αρχικά παρατήρησαν τις τροχιές των πεζών παρακολουθώντας τους με κάμερες και έπειτα προσομοίωσαν την κίνηση τους με το social force model και έτσι εκτίμησαν τους καλύτερους συνδυασμούς A και B για τους οποίους η προσομοίωση αντικατόπτριζε καλύτερα τις τροχιές που βιντεοσκοπήθηκαν. Προέκυψε ένα μεγάλο εύρος συνδυασμών ο καλύτερος όμως που καθρεπτίζει ακριβέστερα την συμπεριφορά το μέσου Ευρωπαίου πολίτη είναι ο $A = 0.04$ και $B = 3.22$.

Το $b_{\alpha\beta}$ είναι ο μικρός ημιάξονας της έλλειψης και προκύπτει από την σχέση

$$2b_{\alpha\beta} = \sqrt{(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\| + \|\vec{r}_{\alpha\beta} - (\vec{u}_\beta - \vec{u}_\alpha)\Delta t\|)^2 - \|(\vec{u}_\beta - \vec{u}_\alpha)\Delta t\|^2} \quad (7)$$

όπου Δt είναι ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί ένα βήμα και στο μοντέλο μας θεωρείται $\Delta t = 0.5$ s. Το γινόμενο $(\vec{u}_\beta - \vec{u}_\alpha)\Delta t$ είναι στην ουσία η διαφορά των διασκελισμών των πεζών α και β και τονίζει την συμμετρική τους αντιμετώπιση η οποία δεν γίνεται στην ελλειπτική θεώρηση I στην οποία το $b_{\alpha\beta}$ μόνο τον διασκελισμό του β ως αποκρουστικό φαινόμενο.

- εμπόδια (φράχτες, δέντρα, δρόμοι κλπ)

Ο πεζός α διατηρεί μια καθορισμένη θέση από εμπόδια όπως κτήρια , τοίχους , φράχτες , δρόμους δέντρα κλπ. Καθώς πλησιάζει τα εμπόδια η κίνηση του γίνεται λιγότερο άνετη διότι πρέπει να δίνει προσοχή στο να μην τραυματιστεί ακουμπώντας για παράδειγμα έναν τραχύ τοίχο. Συνεπώς το εμπόδιο B προκαλεί την επιτάχυνση

$$\vec{F}_{\alpha B} = -\nabla_{\vec{r}_{\alpha B}} U_{\alpha B}(\|\vec{r}_{\alpha B}\|) \quad (8)$$

όπου $U_{\alpha B}$ είναι η αποκρουστική δυνατότητα των εμποδίων , μια μονοτονική γνησίως φθίνουσα συνάρτηση η οποία εξαρτάται από το $\vec{r}_{\alpha B} = \vec{r}_\alpha - \vec{r}_B^\alpha$ με το \vec{r}_B^α να είναι η εγγύτερη στον πεζό α θέση.

Όσον αφορά την αποκρουστική δυνατότητα λόγω αντικειμένων και γενικότερα εμποδίων εφαρμόζεται η θεώρηση της αποκρουστικής δυνατότητας λόγω άλλων πεζών β με την διαφορά ότι ο πεζός β έχει μηδενική ταχύτητα οπότε θα επιδρά μόνο η γωνία μεταξύ του α και του εμποδίου B , η μεταξύ τους απόσταση καθώς και η ταχύτητα του α .

Ελκυστική δυνατότητα (W_{ai})

Ελκυστική επίδραση στους πεζούς έχουν αντικείμενα (π.χ. εκθέσεις, βιτρίνες, παράθυρα κλπ.) καθώς και άλλοι πεζοί (φίλοι, οικεία πρόσωπα κλπ.) έτσι έχουμε και την $W_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t)$ που αποτελεί την ελκυστική δυνατότητα. Σε αντίθεση με την αποκρουστική η ελκυστική δυνατότητα είναι μια γνησίως αύξουσα εκθετική συνάρτηση η οποία λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με την αποκρουστική δυνατότητα με την διαφορά ότι οι αλληλεπιδράσεις που προκαλεί έχουν μεγαλύτερο εύρος. Ένας άγνωστος πεζός ή ένα εμπόδιο οδηγεί τον πεζό α να καταφύγει σε ελιγμό ή ελάττωση της ταχύτητας του προκειμένου να προσεγγίσει τον προορισμό του. Η ελκυστική δυνατότητα μπορεί να προκαλέσει την δημιουργία μιας ομάδας πεζών , την επιτάχυνση ακλουθώντας ένα οικείο πρόσωπο ή την αλλαγή πορείας προκειμένου να παρακολουθήσει μία έκθεση. Μια ακόμα διαφορά με την αποκρουστική δυνατότητα είναι ότι η ελκυστική φθίνει σε συνάρτηση με τον χρόνο όσο μειώνεται το ενδιαφέρον που προκαλεί την παρακίνηση.

Συνεπώς προκύπτει η ελκυστική επίδραση

$$\vec{f}_{ai} = -\nabla_{\vec{r}_{ai}} W_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t) \quad (9)$$

όπου $\vec{r}_{ai} = \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i$

Βάρος οπτικής γωνίας $w(\vec{e}, \vec{f})$

Οι τύποι της αποκρουστικότητας και της ελκυστικότητας έχουν ισχύ όταν γίνονται αντιληπτοί οι πεζοί ή τα αντικείμενα στην επιθυμητή κατεύθυνση $\vec{e}_\alpha(t)$. Όταν βρίσκονται πίσω από τον πεζό α έχουν μία μειωμένη επιρροή c (όπου $0 < c < 1$).

Η οπτική γωνία του πεζού είναι 2φ και βάση αυτής ορίζω το βάρος το οποίο εξαρτάται από την κατεύθυνση (Εικόνα 5).

$$w(\vec{e}, \vec{f}) = \begin{cases} 1 & \text{αν } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \varphi \\ c & \text{αλλιως} \end{cases} \quad (10)$$

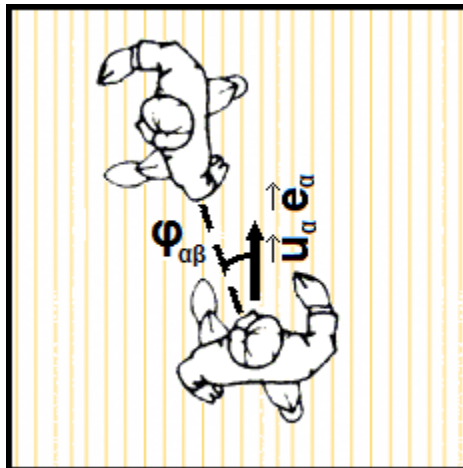
η σχέση αυτή αποδεικνύεται εύκολα διότι

$$\text{το εσωτερικό γινόμενο } \vec{e} \cdot \vec{f} = \|\vec{e}\| \|\vec{f}\| \cos \omega$$

πρέπει $\hat{\omega} < \hat{\varphi}$ και ως γνωστόν η συνάρτηση $\cos \varphi$ είναι γνησίως φθίνουσα στο $(0, \pi/2)$

$$\text{άρα } \cos \omega > \cos \varphi \Leftrightarrow \frac{\vec{e} \cdot \vec{f}}{\|\vec{e}\| \|\vec{f}\|} > \cos \varphi \Leftrightarrow \vec{e} \cdot \vec{f} > \|\vec{e}\| \|\vec{f}\| \cos \varphi$$

και επειδή $\|\vec{e}\| > 0$ έχουμε ότι $\vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \varphi$



Εικόνα 5: Επιρροή γωνίας συνάντησης

Πολλαπλασιάζοντας τις αποκρουστικές και τις ελκυστικές επιδράσεις με το βάρος αυτό προκύπτουν οι τελικές επιταχύνσεις (που έχουν το νόημα της επίδρασης στο SFM) που αφορούν την επιρροή του περιβάλλοντος και των άλλων πεζών που βρίσκονται στο οπτικό πεδίο το πεζού a .

$$\vec{F}_{a\beta}(\vec{e}_a, \vec{r}_a - \vec{r}_\beta) = w(\vec{e}_a, -\vec{f}_{a\beta}) \vec{f}_{a\beta}(\vec{r}_a - \vec{r}_\beta) \quad (11)$$

$$\vec{F}_{ai}(\vec{e}_a, \vec{r}_a - \vec{r}_i, t) = w(\vec{e}_a, \vec{f}_{ai}) \vec{f}_{ai}(\vec{r}_a - \vec{r}_i, t) \quad (12)$$

Συνολική παρακίνηση $\vec{F}_a(t)$

$$\vec{F}_a(t) = \vec{F}_a^0(t) + \sum_{\beta} \vec{F}_{a\beta}(t) + \sum_B \vec{F}_{aB}(t) + \sum_i \vec{F}_{ai}(t) \quad (13)$$

Από αυτήν την σχέση προκύπτουν και οι δύο βασικές σχέσεις που ορίζουν το εφαρμοζόμενο μοντέλο.

$$\frac{d\vec{u}_a}{dt} = \vec{F}_a(t) + \vec{\xi}_a(t) \quad (14)$$

$$\frac{d\vec{r}_a}{dt} = \vec{u}_a(t) \quad (15)$$

Όπου $\vec{\xi}_a(t)$ οι διακυμάνσεις οι οποίες αναφέρονται στις διάφορες επιλογές απόφασης και συμπεριφοράς που μπορούν να θεωρηθούν σωστές καθώς και σε αποκλίσεις από τους κανόνες της ταχύτητας.

2.2.2 Μειονεκτήματα του Social Force Model

Στόχος όλων των μοντέλων προσομοίωσης είναι να αναπαραστήσουν όλη τη δυναμική του συστήματος και συγκεκριμένα όλους τους σημαντικούς μηχανισμούς των αλληλεπιδράσεων του πλήθους (Davidich και Koster , 2012). Ένας τρόπος για να ελεγχθεί το κατά πόσο καλά περιγράφει ένα μοντέλο την πραγματικότητα είναι να συγκριθεί η προσομοίωση με δεδομένα από πραγματικά γεγονότα. Το Social Force Model δίνει αξιόλογα αποτελέσματα ακόμα και σε μεγάλες πυκνότητες , υπάρχουν όμως παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τα εξαγόμενα αποτελέσματα που δεν μπορεί να τους λάβει υπόψη.

Οι πληροφορίες που παίρνουμε από πραγματικές μετρήσεις ποικίλουν σε σημαντικό βαθμό και το εύρος αυτών των πληροφοριών εξαρτάται από το τι μελετάται κάθε φορά. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από κάθε μέτρηση επηρεάζονται από την αρχιτεκτονική του χώρου , τις υποδομές , το κοινωνικό υπόβαθρο , την χώρα , και γενικά παράγοντες που ποικίλουν από σενάριο σε σενάριο. Παραδείγματος χάριν , η ταχύτητα κίνησης των πεζών σε μια πολυσύχναστη περιοχή στην Ινδία επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από την πυκνότητα συγκριτικά με την ταχύτητα κίνησης των πεζών σε μια πολυσύχναστη περιοχή στην Γερμανία η οποία μειώνεται αισθητά καθώς αυξάνεται η πυκνότητα (Chattaraj et al. , 2009). Ακόμα έχει παρατηρηθεί ότι η συμπεριφορά των πεζών ποικίλει από λεπτό σε λεπτό μέσα στην διάρκεια της ημέρα. Αυτή η διακύμανση δεν αφορά μόνο στις ώρες αιχμής ή μη, αλλά ακόμα και χρονικές

περιόδους μέσα σε αυτές. Για παράδειγμα , παρατηρείται αλλαγή στην συμπεριφορά των πεζών την στιγμή που θα αντιληφθούν ότι πλησιάζει ένας συρμός (Davidich και Koster , 2012). Ένα ακόμα παράδειγμα του εύρους των αποτελεσμάτων είναι και το γεγονός ότι άλλα εξαγόμενα αποτελέσματα λαμβάνονται κατά την μέτρηση οπαδών ποδοσφαίρου κατά την συγκέντρωση τους στο στάδιο και άλλα κατά την μέτρηση ατόμων που θέλουν να επισκεφθούν ένα εκθεσιακό χώρο κατά την συγκέντρωση τους στον χώρο αυτόν. Παρόλο που το Social Force Model προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα υστερεί στο να λαμβάνει υπόψη τέτοιου είδους λεπτομέρειες που επηρεάζουν τα εξαγόμενα αποτελέσματα.

Ένα ακόμα μειονέκτημα που έχουν γενικά τα μοντέλα προσομοίωσης είναι οι πολλές παράμετροι που εμπλέκονται σε αυτά. Ένα μοντέλο πρέπει να πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις προκειμένου να λειτουργεί σαν αποτελεσματικό εργαλείο για την αντιμετώπιση θεμάτων ασφαλείας και εκκένωσης. Συγκεκριμένα , πρέπει να είναι εύρωστο (robust) , δηλαδή ότι μία μικρή αλλαγή στο συνδυασμό των παραμέτρων θα πρέπει να μην επιφέρει σημαντικές αλλαγές στα εξαγόμενα αποτελέσματα του μοντέλου τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα . Για την σωστή λειτουργία του συνεπώς θα πρέπει το μοντέλο να απαλλαγεί από αυτόν τον κίνδυνο διότι σε ενδεχόμενα λάθη μετρήσεων ή ακόμα και αλλαγή σεναρίων δεν θα μπορεί να ανταποκριθεί σωστά.

Το Social Force Model για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιεί τις μεταβλητές A (δύναμη της επίδρασης) , B (εύρος επίδρασης) , c (μειωμένη επιρροή) και φ (γωνία επίδρασης). Είναι μεταβλητές οι οποίες αλληλοεπηρεάζονται και πρέπει να γίνει σωστός συνδυασμός μεταξύ τους προκειμένου το μοντέλο να περιγράψει καλά την πραγματικότητα. Στο σύγγραμμα με τίτλο “Specifications of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data” (Johansson , Helbing and Shukla , 2006) έγινε προσπάθεια να πραγματοποιηθεί ο σωστός συνδυασμός των A και B με την μέθοδο της σύγκρισης των τροχιών των πεζών που προέκυπταν από την προσομοίωση με πραγματικές τροχιές πεζών που καταγράφηκαν από βίντεο και βασίστηκαν στις τροχιές της προσομοίωσης. Από τον τύπο:

$$\chi\omega\rho\iota\kappa\acute{o}\ \sigma\phi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha = \frac{\|\bar{r}_a^{simulated}(t+T) - \bar{r}_a^{tracked}(t+T)\|}{\|\bar{r}_a^{tracked}(t+T) - \bar{r}_a^{tracked}(t)\|} \quad (16)$$

που υπολογίζει το χωρικό σφάλμα (δει – εστί) παρατήρησαν τον καλύτερο συνδυασμό των A και B ο οποίος προσεγγίζει την πραγματικότητα στην τιμή -0.39 . Επιτακτική ανάγκη όμως είναι και ο προσδιορισμός και των υπολοίπων παραμέτρων

με την ίδια τεχνική προκειμένου να αποδίδει καλύτερα το συνολικό μοντέλο. Γενικά η μαθηματική σταθερότητα όλων των μοντέλων προσομοίωσης δεν έχει αποδειχθεί αλλά θεωρείται ότι υφίσταται (Davidich και Koster , 2012).

Το Social Force Model στην τελική εξίσωση (13) για την εξαγωγή της ταχύτητας στο επόμενο βήμα λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις $\xi_a(t)$ οι οποίες αφορούν τις ποικίλες επιλογές απόφασης και συμπεριφοράς του εξεταζόμενου πεζού που μπορούν να θεωρηθούν σωστές καθώς και τις αποκλίσεις από τους κανόνες της ταχύτητας. Παραδείγματος χάριν, η προσπέραση ενός εμποδίου μπορεί να πραγματοποιηθεί και από δεξιά και από αριστερά αν ο προορισμός απέχει ίδια απόσταση και από τις δύο κατευθύνσεις και δεν παρεμβάλλεται τίποτα άλλο βραχυπρόθεσμα σε αυτές.

Για ένα στοχαστικό μοντέλο επιτακτική είναι η ανάγκη χρήσης στατιστικών μεθόδων προκειμένου τα εξαγόμενα αποτελέσματα του να προσεγγίζουν την πραγματικότητα με περισσότερη ακρίβεια. Παράγοντες που δεν μπορούν να εκτιμηθούν από το Social Force Model μπορούν να υπολογιστούν με την χρήση στατιστικών προσεγγίσεων καθώς και σύγχρονων τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης.

2.3 Μοντέλο Προσομοίωσης SIMPED

Το SIMPED είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης το οποίο υπολογίζει την μέση τιμή και την μεταβλητότητα του χρόνου βαδίσματος που προκύπτει κατά την μεταφορά επιβατών καθώς και απεικονίζει πρότυπα βαδίσματος εντός χώρων όπου πραγματοποιούνται ροές πεζών (Daamen , 2002).

Είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης το οποίο περιγράφει τόσο μικροσκοπικά φαινόμενα όπως οι αλληλεπιδράσεις των πεζών όσο και μακροσκοπικά όπως τα χαρακτηριστικά της ροής των πεζών. Στο SIMPED συμβάλλουν εξίσου οι πεζοί και οι υποδομές οι οποίες προσομοιώνονται συνεπώς σκοπός του μοντέλου είναι να μπορεί να προσαρμόζεται στις χωρικές διακυμάνσεις καθώς και σε διακυμάνσεις της συμπεριφοράς των επιβατών προκειμένου να αποτελέσει λειτουργικό εργαλείο αντικατοπτρισμού της πραγματικότητας όχι μόνο στο συγκεκριμένο πρόβλημα που εξετάζεται αλλά στο σύνολο των εφαρμογών της δυναμικής του πλήθους.

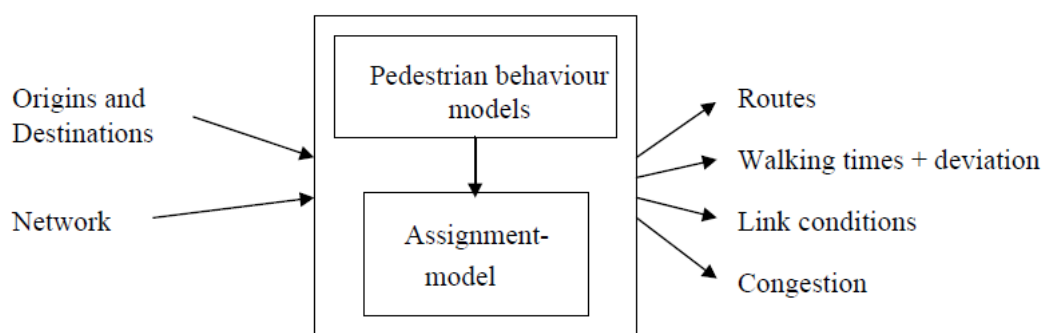
Το SIMPED παρουσιάζει ευρεία εφαρμογή σε προβλήματα που αφορούν υποδομές μέσω μαζικής μεταφοράς όπως για παράδειγμα σταθμοί μετρό , αεροδρόμια , αφετηρίες λεωφορείων κλπ. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα χαρακτηριστικά των μέσω μαζικής μεταφοράς να πρέπει να εισάγονται στο μοντέλο διότι οι αφίξεις και οι αποχωρήσεις τους επηρεάζουν τις προκύπτουσες ροές πεζών και ιδιαίτερα τους χρόνους παραμονής και βαδίσματος στον εξεταζόμενο χώρο.

Συμπερασματικά όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 6 στο μοντέλο εισάγονται:

1. Τα χαρακτηριστικά των πεζών (φύλο , ηλικία , ταχύτητα , κλπ.)
2. Τα χαρακτηριστικά των υποδομών (γεωμετρικά στοιχεία)
3. Τα χαρακτηριστικά των μέσων μαζικής μεταφοράς (χρόνοι αφίξεων και αναχωρήσεων)

και εξάγονται:

1. Πρότυπα βαδίσματος (ροές)
2. Τρόποι συμπεριφοράς πεζών (τρόποι προσπέρασης, επιτάχυνσης, επιβράδυνσης κλπ.)
3. Χρόνοι βαδίσματος
4. Σημεία κυκλοφοριακής συμφόρησης



Εικόνα 6: Εισαγόμενα και εξαγόμενα στοιχεία SIMPED (Πηγή: Daamen , 2002)

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των πεζών στο παρόν μοντέλο τον κυριότερο ρόλο παίζει η ταχύτητα κίνησης. Η ταχύτητα του εξεταζόμενου πεζού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως τα φυσικά χαρακτηριστικά των πεζών (φύλο, ηλικία, μέγεθος , υγεία κλπ) τα χαρακτηριστικά της διαδρομής (αν η διαδρομή επαναλαμβάνεται τακτικά, αν μεταφέρουν βαλίτσες, ο σκοπός του ταξιδιού κλπ) τις ιδιότητες των υποδομών (αν είναι εκτιθέμενη στις καιρικές συνθήκες, τύπος, βαθμός ελκυστικότητας, αν είναι στεγασμένη) και τέλος τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά (Daamen και Hoogendoorn , 2003).

Αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τους παραπάνω παράγοντες σημαντικό ρόλο στην επιρροή της ταχύτητας του πεζού έχει και η πυκνότητα των πεζών. Είναι σημαντικός και ο πλευρικός και ο διαμήκης χώρος που καταλαμβάνει ο εξεταζόμενος πεζός. Ως γνωστόν είναι αδύνατον ένας πεζός να προσεγγίσει τον προορισμό του με μία ευθεία γραμμή. Το πλάτος της διαδρομής του εξαρτάται από την ταχύτητα βαδίσματος. Εμπειρικές μελέτες έχουν δείξει η επιφάνεια κίνησης που μπορεί να πραγματοποιηθεί

κατά την εκτέλεση ενός βήματος δίνεται από την παρακάτω σχέση (Weidmann , 1993):

$$A(V) = A_{jam} - 0.52 \ln(1 - \frac{V}{V_f}) \quad (17)$$

Όπου

A_{jam} : η μεγαλύτερη περιοχή όπου το βάδισμα είναι εφικτό ($A_{jam} \approx 0.19 \text{ m}^2$)

V : η ταχύτητα βαδίσματος

V_f : η μέση ελεύθερη ταχύτητα κίνησης ($V_f \approx 1,34 \text{ m/s}$)

Η τοπική πυκνότητα εκφράζει και την ένταση της κυκλοφορίας σε κάθε χρόνο βήματος του πεζού που εξετάζεται συνεπώς ο υπολογισμός της είναι καθοριστικός για την εκτίμηση της ασφάλειας. Γενικά η ασφάλεια σε ένα πλήθος δεν καθορίζεται από την μέση πυκνότητα που παρατηρείται αλλά από την μέγιστη πυκνότητα που μπορεί να συμβεί στον εξεταζόμενο χώρο. Εμπειρικά η μέγιστη πυκνότητα που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια περιοχή είναι δύο φορές μεγαλύτερη από την μέση πυκνότητα που μετρείται σε αυτήν την περιοχή αλλά αυτό ποικίλει διότι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η χώρα που διεξάγεται το πείραμα (π.χ. οι Ασιάτες είναι πιο αδύνατοι από τους Ευρωπαίους και σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία παρατηρούνται μέγιστες πυκνότητες για μεγαλύτερες τιμές ατόμων) την χρήση του χώρου , σε τι άτομα απευθύνεται κατά κύριο λόγο (παιδιά , ενήλικες , ηλικιωμένοι) κλπ. Βέβαια, τιμές άνω των τεσσάρων ατόμων ανά τετραγωνικό μέτρο θα ήταν προτιμότερο να αποφεύγονται (Davidich και Koster , 2011).

2.4 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας

Η περιοχή επιρροής που δημιουργείται γύρω από κάθε πεζό ποικίλει από μοντέλο σε μοντέλο προσομοίωσης. Έχουν παρατηρηθεί πολυγωνικές οι οποίες εφαρμόζονται σε μοντέλα cellular automata (Blue και Adler , 1999), κυκλικές (Helbing , 1995), ελλειπτικές (Johansson et al , 2006) και ορθογώνιες (Weidmann , 1993). Όσο αναπτύσσεται η έρευνα γύρω από την επιστήμη της δυναμικής του πλήθους αρχίζει να επικρατεί η αντίληψη ότι γύρω από τον πεζό αναπτύσσεται μια νοητή έλλειψη η οποία έχει μεγάλο άξονα το διάνυσμα το οποίο είναι παράλληλο στην ταχύτητα του πεζού και μικρό άξονα το κάθετο διάνυσμα σε αυτό. Η περιοχή αυτή είναι ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιούνται οι προσπεράσεις. Όταν ένας πεζός εισέρχεται στην ελλειπτική περιοχή που δημιουργείται γύρω από έναν άλλο εμπλεκόμενο πεζό

αρχίζουν να δρουν στον πρώτο οι αποκρουστικές δυνάμεις του δεύτερου συνεπώς προκειμένου να προσεγγίσει με άνεση τον προορισμό του προβαίνει σε προσπέραση. Η λήξη της διαδικασίας της προσπέρασης συμβαίνει όταν ο πρώτος πεζός εξέλθει από την περιοχή επιρροής του δεύτερου πεζού.

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία η ελλειπτική περιοχή επιρροής νοείται ως συμμετρική δηλαδή ο πεζός λειτουργεί ως το κέντρο της έλλειψης και οι δύο ημιάξονες μπρος και πίσω από αυτόν είναι ίσοι. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή τη θεώρηση προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την περιγραφή του φαινομένου υστερούν όμως στο γεγονός ότι σε καταστάσεις πραγματικής προσπέρασης ο πεζός ο οποίος επιθυμεί να προσπεράσει εισέρχεται στην περιοχή επιρροής του εμπλεκόμενου πεζού με ημιάξονα διαφορετικό από αυτόν με τον οποίο εξέρχεται. Συνεπώς η περιοχή αυτή αποτελείται από δύο ελλείψεις με ημιάξονες εισόδου και εξόδου από την περιοχή προσπέρασης.

Η μελέτη της ασύμμετρης περιοχής επιρροής των πεζών θα έχει μεγάλη εφαρμογή στα υπάρχοντα μοντέλα προσομοίωσης. Συνεπώς θα πρέπει να μελετηθεί η σχέση αυτή των δύο ημιαξόνων και η εξάρτησή τους από τα χαρακτηριστικά των πεζών καθώς και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος κίνησης. Οι παράγοντες που αυξάνουν ή μειώνουν την περιοχή αυτή λειτουργούν και ως παράγοντες επιρροής των αποκρουστικών ή ελκυστικών δυνάμεων κατά την διαδικασία της προσπέρασης.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογική Προσέγγιση

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο συμπληρώνεται η βάση δεδομένων για το πειραματικό στάδιο της έρευνας καθώς και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η επεξεργασία της προκειμένου να εξαχθούν τα αποτελέσματα και τα τελικά συμπεράσματα.

3.1 Λήψη Δεδομένων

Η λήψη των πληροφοριών για την δημιουργία της βάσης δεδομένων θα πραγματοποιηθεί με βιντεοσκόπηση. Τα βιντεοσκοπημένα δείγματα προκειμένου να μπορέσουν να παρέχουν εξαγόμενες πληροφορίες πρέπει να επεξεργαστούν κατάλληλα. Η επεξεργασία αυτή απαιτεί συγκεκριμένη ψηφιακή μορφή ώστε να επιτευχθεί με ακρίβεια η εξαγωγή των τροχιών των πεζών καθώς και όλων των άλλων χρήσιμων στοιχείων της έρευνας.

3.1.1 Διαθέσιμος Εξοπλισμός

Για την καταγραφή της κυκλοφορίας των πεζών στον εξεταζόμενο χώρο χρησιμοποιήθηκε κάμερα χειρός υψηλής ανάλυσης και συγκεκριμένα η SONY Handycam HDR-SR7E. Η συγκεκριμένη κάμερα , η οποία ανήκει στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου , παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα λήψης δείγματος υψηλής ποιότητας το οποίο αποθηκεύεται κατ ευθείαν σε ψηφιακή μορφή και μπορεί να επεξεργαστεί εύκολα από οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Επιπρόσθετα , επειδή οι βιντεοσκοπήσεις πρέπει να απεικονίζουν ένα σταθερό περιβάλλον , μέσα στο οποίο θα διαδραματίζονται οι ροές των πεζών , απαραίτητη είναι η χρήση ενός τριπόδου προκειμένου να επιτευχθεί με ακρίβεια το καλιμπράρισμα. Συνεπώς για την σταθερότητα του πλάνου λήψης χρησιμοποιήθηκε τρίποδο το οποίο ανήκει κι αυτό στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τέλος , για την αντιστοίχιση των πραγματικών συντεταγμένων με αυτών του βίντεο (για την οποία θα πραγματοποιηθεί εκτενέστερη ανάλυση σε παρακάτω παράγραφο) χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό όργανο μέτρησης μηκών τύπου Laser Bosch Dle 150. Για την αποφυγή σφαλμάτων κατά την καταγραφή των μηκών η μέτρηση έγινε με την μέθοδο ALLER-RETOUR.



Εικόνα 7: Διαθέσιμος Εξοπλισμός

3.2 Εξαγωγή Μετρήσεων

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η βιντεοσκόπηση απαραίτητη είναι η επεξεργασία των ληφθέντων βίντεο προκειμένου να εξαχθούν οι μετρήσεις και οι παρατηρήσεις οι οποίες θα μορφώσουν τη βάση δεδομένων του πειράματος. Για την διαδικασία αυτή έχουν αναπτυχθεί διάφορα λογισμικά , αυτό όμως που πληροί εξολοκλήρου τις ανάγκες της παρούσας έρευνας είναι το λογισμικό trajectory extractor.

3.2.1 Το Λογισμικό Trajectory Extractor

Ορισμός – Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Το trajectory extractor είναι ένα λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε για να καταγράφει τροχιές οχημάτων μέσα από αλληλουχίες καρέ βίντεο (Lee , 2007). Ο σκοπός δημιουργίας του ήταν η εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής του Lee με τίτλο “An agent-based model to simulate motorcycle behavior in mixed traffic flow”.

Η χρήση της βιντεοσκόπησης στη λήψη κυκλοφοριακών δεδομένων είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία η οποία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Καταρχάς , το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του είναι ότι παρέχεται η δυνατότητα να καταγραφθούν όλες οι τροχιές και τα κυκλοφοριακά μεγέθη των εξεταζόμενων οχημάτων σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας αντικειμενικά. Επιπλέον , οποιοδήποτε βίντεο μπορεί να επανεξεταστεί και να μελετηθεί ξανά προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα των δεδομένων που εξάγονται. Είναι ένα λογισμικό το οποίο μπορεί να αποδώσει αποτελεσματικά ακόμα και με την επίδραση πολλαπλών οχημάτων. Επειδή

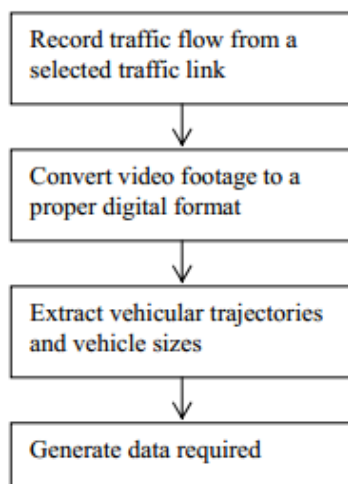
εξασφαλίζεται ότι η σωστή συμπεριφορά των οχημάτων μπορεί να παρατηρηθεί και οι πληροφορίες να συλλεχθούν κατά την ανάλυση δεν είναι απαραίτητη η παρουσία του ερευνητή κατά την διάρκεια της βιντεοσκόπησης. Τέλος , είναι απλό στην χρήση και δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη εκμάθηση.

Συνεπώς με το trajectory extractor παρέχεται η δυνατότητα στον ερευνητή να καταγράψει καιρία μικροσκοπικά μεγέθη ενός οχήματος όπως η ταχύτητα , ο προορισμός , η επιτάχυνση και η επιβράδυνση καθώς και αλληλεπιδράσεις οχημάτων όπως ο χωρικός διαχωρισμός και η διαφορά ταχυτήτων.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το παραπάνω λογισμικό υπάρχουν και κάποιοι παράγοντες στους οποίους υστερεί. Συγκεκριμένα , επειδή είναι ένα σχετικά καινούργιο λογισμικό το οποίο δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως έχει αρκετά λάθη στον κώδικα. Ακόμα , θέτει στον ερευνητή συγκεκριμένα όρια μελέτης διότι η περιοχή μελέτης οριοθετείται στα 200 μέτρα καθώς και επηρεάζεται χρονικά από τα στοιχεία που απαιτούνται και από τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Πολύ σημαντικό είναι ότι η λήψη του βίντεο πρέπει να πραγματοποιηθεί από υπερυψωμένο σημείο για να υπάρχει μία μορφή κάτοψης σε κάθε πλάνο. Τέλος , το μεγαλύτερο μειονέκτημα του είναι ότι η διαδικασία με την οποία γίνεται η εξαγωγή των δεδομένων είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και μονότονη , γεγονός που την καθιστά μια επίπονη διαδικασία ανάλυσης και απαιτεί από τον ερευνητή αρκετό χρόνο συλλογής για την δημιουργία της βάσης δεδομένων.

3.2.2 Διαδικασία εξαγωγής των τροχιών

Η διαδικασία εξαγωγής των τροχιών ακολουθεί την εξής πορεία. Αρχικά πραγματοποιείται καταγραφή της κυκλοφοριακής ροής από ένα επιλεγμένο σημείο κυκλοφορίας σε βίντεο. Έπειτα ακολουθεί η μετατροπή των βιντεοσκοπημένων δειγμάτων σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη για επεξεργασία όπως απαιτεί το κάθε λογισμικό. Τέλος η διαδικασία ολοκληρώνεται με την εξαγωγή των τροχιών και των κυκλοφοριακών μεγεθών των οχημάτων (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Διαδικασία Εξαγωγής Δεδομένων (πηγή: Lee et al 2008)

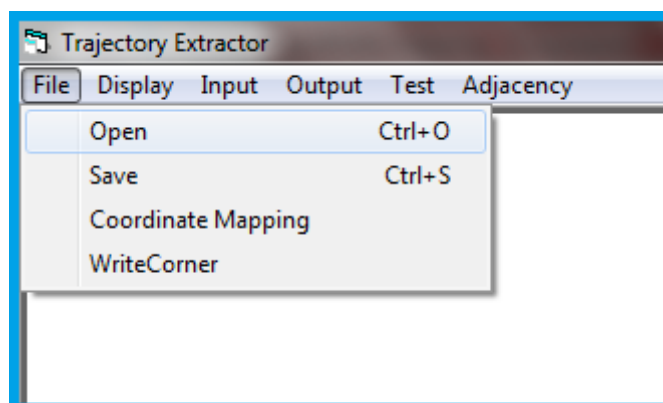
Συγκεκριμένα τα ληφθέντα πλάνα πρέπει να μετατραπούν σε αρχεία μορφής DivX. Το trajectory extractor είναι σε θέση να τρέξει τα επεξεργασμένα βίντεο καρέ-καρέ τα οποία αλλάζουν με το πάτημα ενός πλήκτρου διευκολύνοντας έτσι τον χρήστη να εξάγει τα αποτελέσματα με τον δικό του τρόπο χωρίς να χρειάζεται να ακολουθήσει μια αυτοματοποιημένη διαδικασία. Οι συντεταγμένες της οθόνης όπου τοποθετείται ο κέρσορας του ποντικιού μετατρέπονται σε πραγματικές συντεταγμένες και έτσι προκύπτουν οι τροχιές και όλα τα άλλα κυκλοφοριακά μεγέθη. Δηλαδή, οι τροχιές και τα μεγέθη που προκύπτουν είναι συνάρτηση μόνο των συντεταγμένων (x,y) του εξεταζόμενου οχήματος σε κάθε καρέ.

3.2.3 Διαδικασία Βαθμονόμησης

Το trajectory extractor χρησιμοποιεί το Projective model προκειμένου να μετατρέψει τις διαστάσεις του βίντεο σε πραγματικές συντεταγμένες. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει να δοθούν οι συντεταγμένες από τέσσερα πραγματικά σημεία τα οποία είτε μετρούνται από τον ερευνητή βάσει ενός δικού του συστήματος αναφοράς είτε λαμβάνονται βάσει του εθνικού συστήματος αναφοράς αν αυτό είναι εφικτό. Βασική απαίτηση του μοντέλου είναι τα τέσσερα αυτά σημεία να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και να μην βρίσκονται στην ίδια ευθεία ανά τρία. Ακόμα, πρέπει τα σημεία αυτά να είναι σταθερά καθ' όλη την διάρκεια των δειγμάτων και η οπτική τους να μην επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως πεζοί, μικροπωλητές καθώς και καιρικές συνθήκες τουλάχιστον κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης. Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι τέτοια σημεία είναι οι αρμοί από τα πλακάκια στα πεζοδρόμια, μία κολώνα ή η άκρη ενός πεζουλιού αλλά πρέπει να αποφευχθούν

σημεία όπως φορητοί κάδοι , γλάστρες κλπ. Ένα από αυτά τα σημεία θα είναι και η αρχή των αξόνων αν το σύστημα αναφοράς είναι του ερευνητή προκειμένου να διευκολυνθούν οι υπολογισμοί και των υπολοίπων.

Προκειμένου το trajectory extractor να τρέξει τα βιντεοσκοπημένα δείγματα πρέπει να μετατραπούν σε μορφή DivX μέγιστης ανάλυσης 960x540. Όταν δείγματα είναι αυτής της ψηφιακής μορφής εισάγονται στο λογισμικό μέσω του μενού File->Open και έπειτα επιλογή του επιθυμητού προς ανάλυση δείγματος (Εικόνα 8).

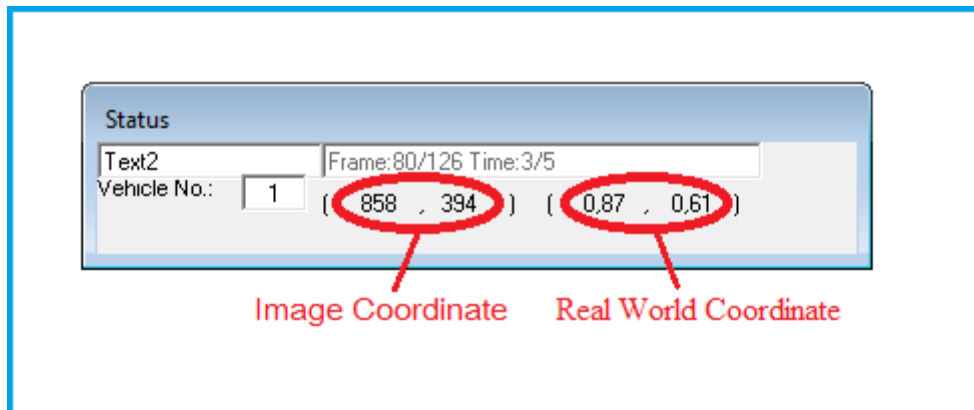


Εικόνα 8 Παράθυρο εισαγωγής βίντεο

Όταν έχει ανοίξει το δείγμα μπορεί να πραγματοποιηθεί η βαθμονόμηση. Από το μενού File->Coordinate_Mapping εμφανίζεται ένα παράθυρο με συντεταγμένες (x,y) Real World Coordinate και Image Coordinate (Εικόνα 9). Μετακινούμε τον κέρσορα στο πρώτο από τα τέσσερα σημεία που έχουν μετρηθεί οι πραγματικές τους συντεταγμένες που όπως προαναφέρθηκε σε αυτό το στάδιο πρέπει να είναι εμφανή και τα τέσσερα στο πλάνο. Θα εμφανιστούν στον πίνακα με τίτλο status όπως φαίνεται και στην εικόνα οι εικονικές συντεταγμένες στα αριστερά οπότε στο παραπάνω παράθυρο με που είχε ανοίξει κάνουμε την αντιστοιχία (Εικόνα 10). Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται και στα άλλα τρία σημεία και ολοκληρώνεται κλείνοντας το παράθυρο.

	Real World Coordinate		Image Coordinate	
	x	y	x	y
1	62.57	0.00	641	18
2	80.00	8.54	936	621
3	59.05	8.54	626	488
4	5.42	0.00	343	141

Εικόνα 9: Παράθυρο πραγματικών και φανταστικών συντεταγμένων



Εικόνα 10: Παράθυρο Status

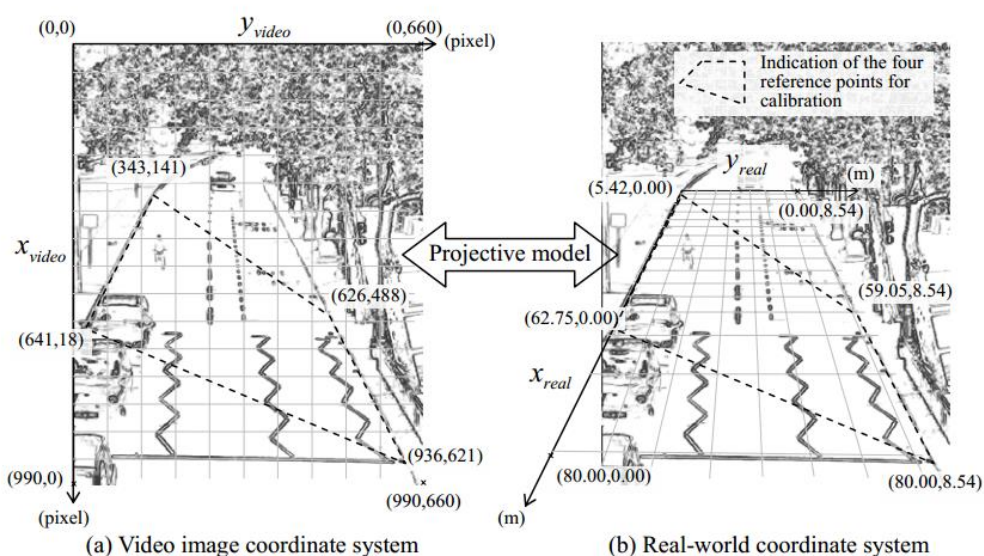
3.2.4 Το προβολικό μοντέλο (Projective Model)

Για τον υπολογισμό όλων των πραγματικών συντεταγμένων του βίντεο, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τον παρακάτω τύπο της φωτομετρίας:

$$x_{real} = \frac{a_1 x_{video} + a_2 y_{video} + a_3}{a_4 x_{video} + a_5 y_{video} + 1}$$

$$y_{real} = \frac{a_6 x_{video} + a_7 y_{video} + a_8}{a_4 x_{video} + a_5 y_{video} + 1}$$

όπου τα (x_{real}, y_{real}) είναι οι πραγματικές συντεταγμένες, τα (x_{video}, y_{video}) οι φανταστικές συντεταγμένες του βίντεο και τα a_{1-8} σταθερές του προγράμματος. Ο παραπάνω τύπος μπορεί να υπολογίσει τις πραγματικές συντεταγμένες έχοντας τις φανταστικές και αντίστροφα αφού υπολογίσει πρώτα τις σταθερές (Εικόνα 11). Ο υπολογισμός των σταθερών επιτυγχάνεται από το μοντέλο αφού δοθούν οι πραγματικές και οι φανταστικές συντεταγμένες από τα τέσσερα γνωστά σημεία. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν πρέπει να είναι ανά τρία στην ίδια ευθεία όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 11: Μετατροπή συντεταγμένων βίντεο σε πραγματικές συντεταγμένες

3.2.5 Διαδικασία λήψης τελικών αποτελεσμάτων

Το trajectory extractor προσφέρει στον χρήστη μεγάλο εύρος επιλογών για τα αποτελέσματα που επιθυμεί να εξάγει. Τα αποτελέσματα αυτά καταγράφονται σε ένα αρχείο .txt μετά την ολοκλήρωση της εξαγωγής της τροχιάς του εξεταζόμενου οχήματος. Συγκεκριμένα το λογισμικό μπορεί να καταγράψει τα συγκεκριμένα μεγέθη

- Αριθμός και τύπος εξεταζόμενου οχήματος
- Μήκος και πλάτος εξεταζόμενου οχήματος
- Πραγματικές και φανταστικές (βίντεο) συντεταγμένες (x,y)
- Ταχύτητες εξεταζόμενου και ακολουθούντος οχήματος
- Επιταχύνσεις/Επιβραδύνσεις εξεταζόμενου και ακολουθούντος οχήματος

- Θέσεις (x,y) του εξεταζόμενου οχήματος σε διάφορα σημεία (συγκεκριμένα: μπροστά , πίσω , μπροστά/αριστερά , μπροστά/δεξιά , πίσω/αριστερά , πίσω/δεξιά)

Η εξαγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων γίνεται με την χρήση των τριών βασικών πινάκων του λογισμικού:

Πίνακας Basic Information

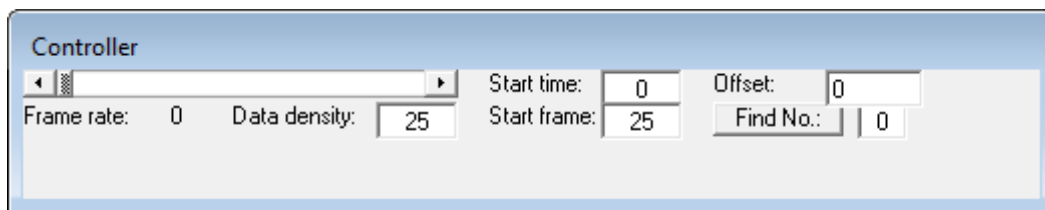
Εικόνα 12: Παράθυρο Basic Information

Στον πίνακα αυτόν (Εικόνα 12), ο οποίος εμφανίζεται πάνω δεξιά κατά την εκκίνηση του προγράμματος , παρατηρούνται οι εξής επιλογές:

- Tracking Point: βάσει αυτού επιλέγεται πιο σημείο πάνω στο εξεταζόμενο όχημα θα συμβάλει για την καταγραφή της τροχιάς του. Οι επιλογές των σημείων που διατίθενται για τον χρήστη είναι οι:
 1. FrontMid: Μπροστά και Κέντρο
 2. FrontRight: Μπροστά και Δεξιά
 3. FrontLeft: Μπροστά και Αριστερά
 4. BackMid: Πίσω και Κέντρο
 5. BackRight: Πίσω και Δεξιά
 6. BackLeft: Πίσω και Αριστερά
- Length: όπου ορίζεται το μήκος του εξεταζόμενου οχήματος καθώς και όλα τα μήκη στο εξεταζόμενο καρέ. Βάση αυτού πατώντας πάνω σε ένα σημείο και έπειτα στο επόμενο είναι δυνατόν να βρεθεί η απόσταση αυτών των σημείων. Ακόμα πατώντας σε κάποιο σημείο σε ένα καρέ και επιλέγοντας το ίδιο σημείο στο επόμενο καρέ (με τρόπο που αναλύεται παρακάτω) βρίσκει την απόσταση που διάνυσε το όχημα κατά την μεσολάβηση των καρέ αυτών.
- Width: ορίζει το πλάτος και η λειτουργία του είναι ακριβώς ίδια με του μήκους.
- File name: αναφέρεται στο αρχείο .txt καταγραφής των αποτελεσμάτων
- Στα δεξιά του File name υπάρχει η επιλογή της ηλικίας του οδηγού του οχήματος με δυνατότητα επιλογής μεταξύ:
 1. 20 ετών

2. 35 ετών
 3. 55 ετών
 4. 80 ετών
- Vehicle Type: επιλογή του τύπου του οχήματος μεταξύ:
 1. Moped: Μοτοποδήλατο ή Μοτοσυκλέτα Μικρού Κυβισμού
 2. Motorbike: Μοτοσυκλέτα Μεγάλου Κυβισμού
 3. Car: Αυτοκίνητο ΙΧ
 4. Van: Μικρό Φορτηγό
 5. Bus: Λεωφορείο
 6. Bicycle: Ποδήλατο
 7. Cab: Ταξί
 - Στα δεξιά του Vehicle Type εμφανίζεται η επιλογή του φύλου του οδηγού του εξεταζόμενου οχήματος.

Πίνακας Controller (Εικόνα 13)

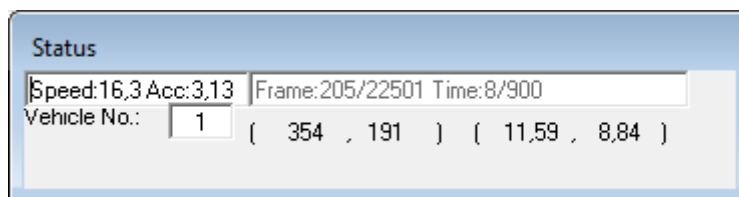


Εικόνα 13: Παράθυρο Controller

Στα αριστερά παρατηρείται μια μπάρα με δύο βέλη εκατέρωθεν με τα οποία δίνεται η δυνατότητα επιλογής των καρέ χειροκίνητα. Ακριβώς από κάτω υπάρχει το frame rate και το data density τα οποία επιτρέπουν στον χρήστη επιλέξει την χρονική διαφορά ανάμεσα στα καρέ του βίντεο. Συγκεκριμένα αν ο προγραμματιστής επιλέξει frame rate = 25 rates/sec τότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον χρόνο που τον ενδιαφέρει να εξετάσει ανάλογα με το data density. Για παράδειγμα αν θέλει να εξετάσει τι συμβαίνει στο επόμενο 0,5 sec τότε επιλέγει data density = 12,5 ενώ για data density = 50 εξετάζει τι συμβαίνει στα επόμενα 2 sec και ου το καθεξής.

Με τις επιλογές start time και start frame επιλέγεται ο χρόνος ή το καρέ έναρξης της καταγραφής. Ακόμα υπάρχει η επιλογή του αντισταθμίσιματος offset καθώς και η εύρεση συγκεκριμένου καρέ με την εντολή find No.

Πίνακας Status



Εικόνα 14: Παράθυρο Status

Ο πίνακας status (Εικόνα 14) ο οποίος εμφανίζεται κάτω και δεξιά κατά την εκκίνηση του λογισμικού είναι αυτός που παρέχει τις βασικές πληροφορίες για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της έρευνας.

Επιλέγοντας το εξεταζόμενο όχημα και ρυθμίζοντας τα καρτέ όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση του προηγούμενου πίνακα εμφανίζει τις εξής πληροφορίες:

- Speed (Ταχύτητα)
- Acc (Επιτάχυνση)
- Frame (Καρτέ Βίντεο)
- Time (Χρόνος)
- Vehicle No. (Αριθμός Εξεταζόμενου Οχήματος)
- Image Coordinates (Συντεταγμένες Βίντεο)
- Real World Coordinates (Πραγματικές Συντεταγμένες)

Στην ουσία αυτός ο πίνακας είναι ο βασικός πίνακας εξαγωγής αποτελεσμάτων βάσει των επιλογών που έγιναν στους δύο προηγούμενους πίνακες. Όλα τα αποτελέσματα είναι συνάρτηση των συντεταγμένων που τροποποιήθηκαν κατά την βαθμονόμηση και του χρόνου που ρυθμίζεται από τον πίνακα Controller. Δηλαδή η ταχύτητα είναι η μετατόπιση του εξεταζόμενου οχήματος που υπολογίζεται από την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς των αντίστοιχων του συντεταγμένων προς τον χρόνο που χρειάστηκε για να διανύσει αυτήν την απόσταση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιτάχυνση μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές δίνοντας έτσι στην ουσία την τυχόν επιβράδυνση του εξεταζόμενου οχήματος.

3.2.6 Αποθήκευση και Αναθεώρηση Τροχιών και Αποτελεσμάτων

Όπως προαναφέρθηκε το trajectory extractor αποθηκεύει τα αποτελέσματα σε ένα αρχείο .txt . Η τροχιά του εξεταζόμενου οχήματος εξάγεται μετά από μια σειρά πατημάτων του ποντικιού. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει αυτή την τροχιά από το μενού File->Save στη βάση δεδομένων του. Ταυτόχρονα το λογισμικό

θα επιστρέψει στον αρχικό χρόνο καταγραφής προκειμένου ο χρήστης να καταγράψει όλες τις τροχιές που τον ενδιαφέρουν. Όταν ολοκληρωθεί η καταγραφή ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει τον χρόνο έναρξης καταγραφής και να επαναλάβει αυτή τη διαδικασία για όλα τα οχήματα που τον ενδιαφέρουν.

Για την αναθεώρηση των τροχιών έχουν αναπτυχθεί δύο τεχνικές:

- Η πρώτη είναι να επικαλυφθούν τα αποτελέσματα από την εικόνα του βίντεο. Είναι δυνατόν δηλαδή να προβληθούν πάνω στο αρχικό βίντεο τα αποτελέσματα που εξήχθησαν (με την χρήση ενός προβολικού μοντέλου όπως προαναφέρθηκε) και να εξεταστεί αν τα μεγέθη και οι τροχιές είναι όντως οι πραγματικές.
- Η δεύτερη τεχνική είναι η εικονογραφημένη προβολή των τροχιών από κάθετη γωνία λήψης (στην ουσία κάτοψη του εξεταζόμενου περιβάλλοντος). Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας από το μενού Display->Play. Βέβαια, η καταγραφή της κάτοψης της κίνησης των οχημάτων πραγματοποιείται χωρίς την επίδραση της προοπτικής.

Οι δύο τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο σφαλμάτων που γίνονται κατά την καταγραφή δεδομένου ότι το λογισμικό προσφέρει στον χρήστη μεγάλο εύρος επιλογών και την δυνατότητα να επεξεργάζεται χειροκίνητα τα δείγματα αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα καταγραφής λανθασμένων αποτελεσμάτων.

3.2.7 Οδηγίες κατά την βιντεοσκόπηση

1. Βιντεοκάμερα (the camcorder) : Μία βιντεοκάμερα με υψηλότερη ευκρίνεια δίνει τη δυνατότητα στην εικόνα να έχει καλύτερη ανάλυση. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα που εξάγονται.

2. Τοποθεσία της βιντεοκάμερας (the location of the camcorder) : Για να ελεγχθούν τα σφάλματα λόγω προοπτικής στις εικόνες, η βιντεοκάμερα θα πρέπει να τοποθετηθεί το ψηλότερο δυνατό και η γωνία εγγραφής θα πρέπει να είναι όσο πιο απότομη γίνεται.

3. Το εστιακό μήκος της βιντεοκάμερας (The focal length of the camcorder) : Θα πρέπει η βιντεοκάμερα να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εστιακό μήκος. Αυτό έχει να κάνει με τους φακούς της βιντεοκάμερας και θα πρέπει να αποφευχθούν φακοί με μεγάλη παραμόρφωση στα μεγάλα μήκη.

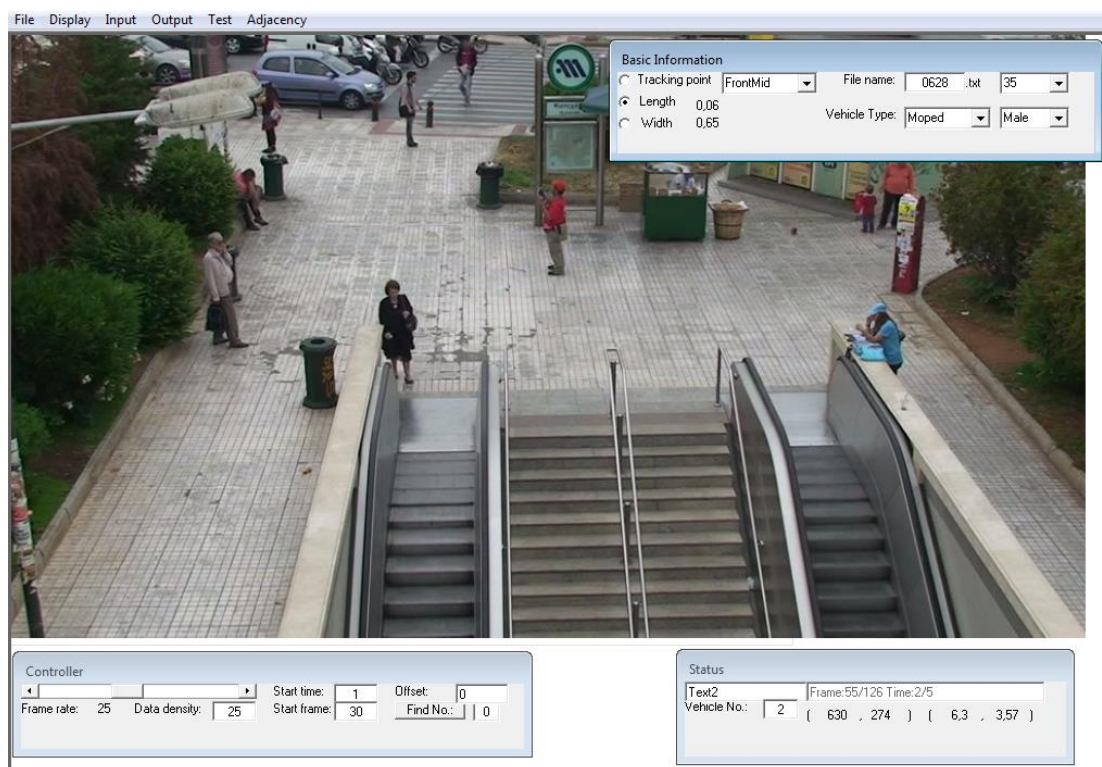
4. Ροή της κυκλοφορίας (the traffic stream) : Θα πρέπει να γίνεται σε ένα ενιαίο επίπεδο, δηλαδή να μην υπάρχουν κοίλες ή κυρτές κλίσεις στην οδό ή στο φέρι.

5. Πραγματικές συντεταγμένες (the real world coordinates) : Προκειμένου να μετατραπούν οι εικονικές συντεταγμένες σε πραγματικές συντεταγμένες, θα πρέπει τα τέσσερα σημεία που έχουν προαναφερθεί να μετρηθούν κατά την εγγραφή του

βίντεο έτσι ώστε να μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές του μοντέλου μετατροπής συντεταγμένων. Ανά τρία σημεία δεν θα πρέπει να βρίσκονται στην ίδια ευθεία και όλα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

3.2.8 Χρήση του λογισμικού για την καταγραφή τροχιών πεζών

Το trajectory extractor δημιουργήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Lee η οποία μελέτησε την συμπεριφορά μοτοσικλετιστών και όπως παρατηρείται και από τον πίνακα Basic Information οι βασικότερες επιλογές αφορούν κυρίως οδηγούς δικύκλων οχημάτων καθώς και οχημάτων με τέσσερις τροχούς. Παρόλα αυτά με τις κατάλληλες παραδοχές το λογισμικό αυτό είναι δυνατόν να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη και τροχιών πεζών.



Εικόνα 15: Παράθυρο εργασίας Trajectory Extractor

Συγκεκριμένα αγνοώντας τις επιλογές οι οποίες αφορούν οχήματα μπορούν να εξαχθούν τροχιές καθώς και κυκλοφοριακά μεγέθη που αφορούν καθαρά κίνηση πεζών:

- Αυτό επιτυγχάνεται δίνοντας έμφαση κυρίως στις συντεταγμένες μέσα στον χώρο που διεξάγεται το πείραμα. Η επιλογή length καθώς και η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς των αντίστοιχων συντεταγμένων παρέχουν την δυνατότητα του υπολογισμού της μετατόπισης του εξεταζόμενου πεζού καθώς και του χωρικού διαχωρισμού αυτού με έναν άλλο πεζό. Ομοίως βρίσκεται η ταχύτητα και η επιτάχυνση του διαιρώντας την μετατόπιση του με τον χρόνο που απαιτήθηκε για να διανύσει αυτό το μήκος.
- Πρέπει να σημειωθεί ότι η κίνηση του πεζού δεν είναι γραμμική αλλά για την χρονική διάρκεια του ενός δευτερολέπτου (στην οποία μεσολαβούν εικοσιπέντε καρέ βίντεο) και κατά προσέγγιση αντιστοιχεί σε δύο διασκελισμούς θεωρείται ότι ο εξεταζόμενος πεζός κινείται γραμμικά.
- Ακόμη προσοχή πρέπει να δοθεί και στο σημείο πάνω στον πεζό που επιλέγουμε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Μετά από πολλές δοκιμές παρατηρήθηκε ότι το καλύτερο σημείο για να εξετάσουμε είναι τα πέλματα του πεζού (και κατ' επέκταση το σημείο στο έδαφος στο οποίο πατάει) διότι έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Αν επιλεγεί για παράδειγμα το κεφάλι του πεζού υπάρχει ο κίνδυνος στο επόμενο καρέ να έχει στρέψει το βλέμμα του , να έχει στρίψει ή ακόμα να έχει προβάλει τον κορμό του περισσότερο προς τον προορισμό του και η συντεταγμένες που θα ληφθεί να μην είναι αυτή που αντιστοιχεί στην πραγματική του μετατόπιση.
- Επιπροσθέτως επειδή κάθε σημείο στο περιβάλλον αντιστοιχεί σε συντεταγμένες στο έδαφος αν επιλεγεί το κεφάλι για υπολογισμό του χωρικού διαχωρισμού θα έχουμε λανθασμένη μέτρηση. Αυτό συμβαίνει διότι δεν έχουν το ίδιο ύψος οπότε η απόσταση μεταξύ τους θα υπολογιστεί η προβολή των κεφαλιών στο έδαφος και όχι η πραγματική τους απόσταση μεταξύ τους. Η μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις επιτυγχάνεται μετρώντας την προβολή των κέντρων των κορμών των πεζών στο έδαφος όπου αυτό είναι εφικτό διαφορετικά θα πρέπει να βρεθούν οι συντεταγμένες των αντίστοιχων πελμάτων τους (δεξί-δεξί , αριστερό-αριστερό αν κινούνται κατά την ίδια κατεύθυνση ή δεξί-αριστερό αν κινούνται αντίθετα).

3.3 Επεξεργασία Βάσης Δεδομένων

Για την επεξεργασία της βάσης δεδομένων αναπτύσσονται άπειρες στατιστικές τεχνικές. Στη συγκεκριμένη έρευνα βασικό κριτήριο επιλογής είναι η εύρεση του μοντέλου το οποίο εκτός από τις παρατηρούμενες μεταβλητές που εξάγονται από το λογισμικό trajectory extractor να μπορεί να επεξεργαστεί και μεταβλητές οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν ή να παρατηρηθούν με συμβατικούς τρόπους (π.χ. επιρροή , εξυπνάδα , παρακίνηση κλπ). Τα SEM MIMIC models αποτελούν το καταλληλότερο εργαλείο για την υλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας.

3.3.1 Structural Equation Model

Ορισμός

Τα μοντέλα SEM είναι μια στατιστική τεχνική η οποία εφαρμόζεται για να ελεγχθούν και να εκτιμηθούν οι σχέσεις και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μεταβλητών και επιτυγχάνεται με την χρήση ενός συνδυασμού στατιστικών στοιχείων και ποιοτικών αιτιακών σεναρίων. Αποτελεί ένα ευέλικτο εργαλείο στατιστικών μοντέλων λόγω των τεχνικών ικανοτήτων του καθώς και του εύρους των εφαρμογών οι οποίες εκτείνονται με ταχείς ρυθμούς. Τα μοντέλα δομικών εξισώσεων είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα μεγάλο αριθμό στατιστικών μοντέλων που στοχεύουν στην αξιολόγηση της εγγύτητας θεωριών με εμπειρικά δεδομένα.

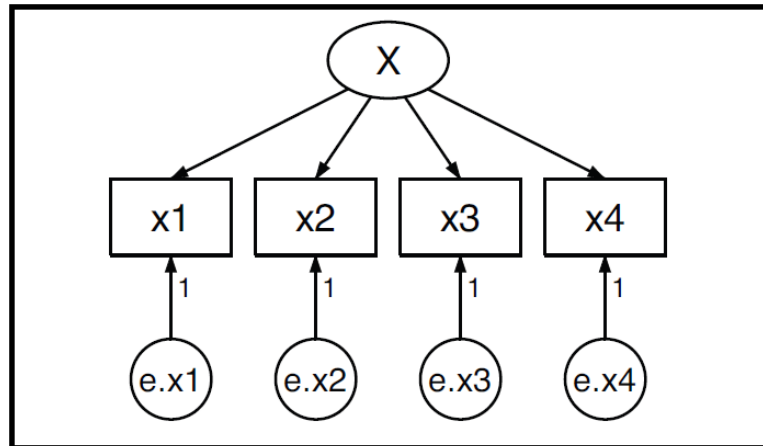
Το βασικότερο πλεονέκτημα των παραπάνω μοντέλων είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να υπολογίσουν τις σχέσεις με μεταβλητές οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν ή να υπολογιστούν με συμβατικούς τρόπους μέτρησης ή παρατήρησης. Αυτές οι μεταβλητές αποκαλούνται μη παρατηρήσιμες (latent) και αφορούν όπως προαναφέρθηκε μεγέθη μη μετρήσιμα στην πράξη όπως η εξυπνάδα, η προτροπή, η επίδραση κοκ. Τα μοντέλα SEM εφαρμόζονται τόσο σε πειραματικές βάσεις δεδομένων όσο και σε μη πειραματικές καθώς και σε σύγχρονα αλλά και διαχρονικά δεδομένα. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι τα μοντέλα αυτά συνιστώνται για μεγάλο δείγμα μετρήσεων/παρατηρήσεων ($N > 200$).

Το SEM ελέγχει υποθέσεις για τις σχέσεις μεταξύ των παρατηρηθέντων και των λανθανουσών μεταβλητών. Και τα δύο είδη μεταβλητών χωρίζονται σε ενδογενείς και εξωγενείς αναλόγως τις αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν σε αυτές. Οι μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν άλλες και δεν αλληλοεπηρεάζονται είναι οι εξωγενείς ενώ ενδογενείς είναι αυτές που επηρεάζονται από τις άλλες. Επειδή κατά την μόρφωση του μοντέλου παρέχεται η δυνατότητα ένδειξη της αλληλοεπίδρασης μεταξύ των εξωγενών μεταβλητών η διάκριση του είναι εμφανής από το γεγονός ότι οι ενδογενείς παρουσιάζουν σφάλμα. Στο γραφικό περιβάλλον του SEM οι μετρήσιμες μεταβλητές αναπαρίστανται με παραλληλόγραμμα και οι μη παρατηρήσιμες με ελλείψεις (Εικόνα 16). Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους αναπαρίστανται με βέλη και έτσι μορφώνεται γραφικά το μοντέλο.

Το SEM ακολουθεί τα βασικά βήματα ενός μοντέλου, συγκεκριμένα:

- Μόρφωση Θεωρητικού Μοντέλου (Model Specification)
- Συλλογή Στοιχείων (Data Collection)
- Εκτίμηση Μοντέλου (Model estimation)

- Αξιολόγηση Μοντέλου (Model evaluation)
- Τροποποίηση Μοντέλου αν χρειαστεί (Model modification)



Εικόνα 16: Διάταξη SEM (πηγή Pui-Wa Lei and Quan Wei 2007)

3.3.2 MIMIC Models

Τα MIMIC Models αποτελούν μια υποκατηγορία των μοντέλων SEM η οποία συνιστά μια λεπτομερή στατιστική τεχνική με σκοπό τον έλεγχο των υποθέσεων σχέσεων μεταξύ των παρατηρούμενων και των μη παρατηρούμενων μεταβλητών. Μία ή περισσότερες από τις παρατηρούμενες μεταβλητές λειτουργούν ως δείκτες. Το μοντέλο MIMIC εξετάζει τις σχέσεις μεταξύ των μη παρατηρούμενων μεταβλητών με τους δείκτες καθώς και τις συνήθεις σχέσεις μεταξύ των μη παρατηρούμενων μεταβλητών. Συνεπώς το μοντέλο διακρίνεται σε δύο υπό-μοντέλα: το μετρικό και το διαρθρωτικό προκειμένου να ελεγχθούν όλες οι παραπάνω σχέσεις και να εξηγηθούν τα συνήθη φαινόμενα που θα προκύψουν.

Η μη παρατηρίσιμη μεταβλητή n θεωρείται ως βαθμωτό μέγεθος η οποία σχετίζεται με τους δείκτες αλλά και με τις άλλες εξωγενείς μετρήσιμες μεταβλητές με την εξής σχέση:

$$n = \Phi x + \varepsilon$$

$$y = K n + \zeta$$

όπου:

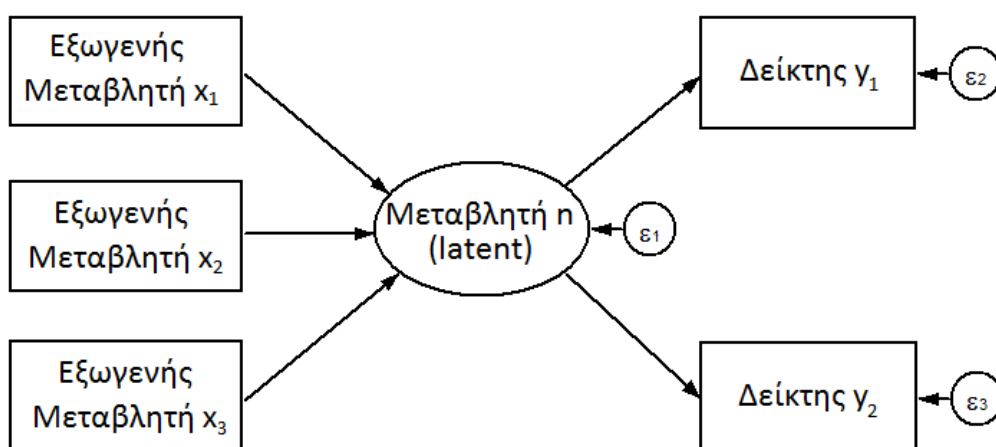
y οι δείκτες του μοντέλου

x οι εξωγενείς παρατηρούμενες / μετρήσιμες μεταβλητές

Φ , K τα μητρώα αγνώστων παραμέτρων που πρέπει να εκτιμηθούν

ε , ζ τα σφάλματα

Γραφικά τα MIMIC models ακολουθούν ακριβώς την αναπαράσταση των μοντέλων SEM όπως αυτό φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 17).



Εικόνα 17: SEM MIMIC Model

3.3.3 Αξιολόγηση Μοντέλου

Σκοπός του SEM είναι να καθοριστεί αν το υποθετικό μοντέλο αντανακλά την πραγματικότητα βάσει της συλλογής δεδομένων που έχει προηγηθεί. Για να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση του κατά πόσο το μοντέλο επιτυγχάνει το σκοπό του εφαρμόζεται μοντέλο καταλληλότητας το οποίο δείχνει το βαθμό στον οποίο το δίκτυο των μετρημένων μεταβλητών έχει εύλογη καταλληλότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με πολλούς τρόπους και με διάφορα κριτήρια καταλληλότητας. Στην παρούσα έρευνα οι διάφορες δομές μοντέλων, οι οποίες καθορίζονται από τις διάφορες πιθανές διασυνδέσεις μεταξύ των διαθέσιμων μεταβλητών, θα αξιολογούνται με βάση το

κριτήριο AIC (Akaike's Information Criterion) και το κριτήριο BIC (Bayesian Information Criterion).

$$AIC = N \ln(MSE) + 2k$$

$$BIC = -2\ln l + k \ln N$$

Όπου:

k ο αριθμός των βαρών του δικτύου

N το μέγεθος του δείγματος

MSE το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

l η μεγιστοποιημένη τιμή της πιθανότητας που λειτουργεί για το εκτιμώμενο μοντέλο

Η επιλογή ανάμεσα στις διάφορες διασυνδέσεις που πραγματοποιούνται γίνεται για την δοκιμή με τις μικρότερες τιμές AIC και BIC.

Η γενικότερη αξιολόγηση του επιλεγμένου μοντέλου θα πραγματοποιηθεί συγκρίνοντας το προτεινόμενο μοντέλο με το κορεσμένο (αυτό δηλαδή που όλες οι συνδιακυμάνσεις συνδυάζονται τέλεια) και με το βασικό μοντέλο (αυτό που περιλαμβάνει όλες τις μέσες τιμές και τις διακυμάνσεις όλων των παρατηρηθέντων μεταβλητών καθώς και τις συνδιακυμάνσεις όλων των εξωγενών μεταβλητών). Ακόμα συγκρίνονται η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSEA) με την πιθανότητα RMSEA να είναι μικρότερη από 0.05, το SRMR και οι συντελεστές του προτεινόμενου μοντέλου.

Προκειμένου το μοντέλο να μπορεί να αντιπροσωπεύει καλά την πραγματικότητα θα πρέπει ακόμα να πληρούνται και οι εξής συνθήκες:

- 90% CI < 0.05 (αν είναι μεγαλύτερο του 0.1 τότε το μοντέλο δεν είναι αντιπροσωπευτικό)
- SRMR < 0.08
- CFI > 0.95

Τέλος τα αποτελέσματα που προκύπτουν πρέπει να έχουν φυσική εξήγηση και έννοια για να μπορεί το μοντέλο να θεωρείται ως αντιπροσωπευτικό.

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση και αποτελέσματα

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της διαδικασίας συλλογής δεδομένων καθώς και γενικότερη ανάλυση του τρόπου διεξαγωγής του πειράματος. Ακόμα, πραγματοποιείται η ανάλυση των δεδομένων του πειράματος με την κατάλληλη στατιστική μέθοδο συγκεκριμένα στη παρούσα έρευνα με τη χρήση του μοντέλου SEM MIMIC Model.

4.1 Επιλογή περιοχής μελέτης

Η επιλογή της περιοχής μελέτης πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Καταρχάς πρέπει να διατίθεται αρκετός χώρος προκειμένου οι πεζοί να πραγματοποιούν προσπεράσεις οι οποίες όμως να μην επηρεάζονται από την γεωμετρία της περιοχής. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχουν περισσότεροι από έναν προορισμοί έτσι ώστε οι διάφοροι πεζοί να μπορούν να διασκορπιστούν στον χώρο χωρίς να δημιουργούν ουρές διότι οι ταχύτητες που μελετούνται πρέπει να είναι όσο το δυνατόν εγγύτερα στην ελεύθερη ταχύτητα. Ακόμα βασική προϋπόθεση είναι και η ύπαρξη μεγάλου φόρτου ροής πεζών καθώς η μόρφωση μοντέλου SEM απαιτεί δείγμα μεγαλύτερα των διακοσίων παρατηρήσεων. Η περιοχή μελέτης πρέπει να παρέχει στον ερευνητή την δυνατότητα λήψης βίντεο από μια υπερυψωμένη θέση προκειμένου η γωνία εγγραφής να είναι όσο το δυνατόν πιο απότομη (με βέλτιστη επιλογή την κατακόρυφη μαγνητοσκόπηση). Η περιοχή μελέτης πρέπει να είναι ένα ενιαίο επίπεδο χωρίς κοίλες ή κυρτές κλίσεις προκειμένου να μην δημιουργηθούν προβλήματα κατά την διαδικασία εξαγωγής αποτελεσμάτων. Η περιοχή στην οποία θα πραγματοποιούνται οι τροχιές των πεζών να αποτελεί αποκλειστικά περιοχή κίνησης πεζών προκειμένου οι κινήσεις τους να μην διακόπτονται από εισερχόμενα οχήματα.

Έχοντας τους παραπάνω περιορισμούς έγινε η αναζήτηση για την περιοχή στην οποία θα πραγματοποιηθεί η βιντεοσκόπηση της κίνησης των πεζών. Για το παρόν πείραμα επιλέχθηκε η περιοχή έξω από την είσοδο του μετρό της Κατεχάκη ένα σταθμό ο οποίος εξυπηρετεί καθημερινά μεγάλο πλήθος επιβατών καθώς επιτρέπει την πρόσβαση στις δύο μεγαλύτερες πανεπιστημιούπολεις της Αθήνας (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών) σε μεγάλα νοσοκομεία και γενικότερα σε μεγάλες κρατικές και ιδιωτικές επιχειρήσεις (Εικόνα 18). Το βασικό πλεονέκτημα του χώρου αυτού είναι η πεζογέφυρα του Ισπανού αρχιτέκτονα Santiago Calatrava η οποία παρέχει στον ερευνητή την

δυνατότητα τοποθέτησης της κάμερας σε ύψος περίπου έξι μέτρων από το επίπεδο όπου πραγματοποιούνται οι τροχιές των πεζών. Ο χώρος έξω από το μετρό συντελεί την καταλληλότερη περιοχή για την παρούσα έρευνα γιατί αποτελεί ένα ενιαίο επίπεδο κίνησης με την ύπαρξη λίγων σταθερών εμποδίων. Επιπλέον, οι κυλιόμενες και οι συμβατικές σκάλες εισόδου και εξόδου από το χώρο του μετρό, οι στάσεις λεωφορείων πλησίον της περιοχής αλλά και οι διαβάσεις στις οδούς Μεσογείων και Κατεχάκη αποτελούν πολλαπλούς προορισμούς για τους εξεταζόμενους πεζούς. Ο χώρος στον οποίο πραγματοποιούνται οι κύριες προσπεράσεις είναι περίπου 150 τετραγωνικά μέτρα.



Εικόνα 18: Είσοδος-Εξοδος μετρό Κατεχάκη

4.2 Διαδικασία εξαγωγής δεδομένων

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να μελετηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ελλειπτική περιοχή επιρροής του πεζού β κατά την προσπέραση του από τον πεζό α. Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 2 η περιοχή αυτή δεν αποτελείται από μια συμμετρική έλλειψη όπως αναγράφεται στη βιβλιογραφία αλλά είναι ασύμμετρη. Συνεπώς θα πρέπει να μετρηθούν και ο μεγάλος ημιάξονας της έλλειψης την στιγμή που αρχίζει η προσπέραση αλλά και ο μεγάλος ημιάξονας την στιγμή που ολοκληρώνεται η προσπέραση.

Εφόσον τοποθετήθηκε η κάμερα στην πεζογέφυρα Calatrava ξεκίνησε η διαδικασία της βιντεοσκόπησης. Συγκεκριμένα η βιντεοσκόπηση πραγματοποιήθηκε την

Παρασκευή 10 Μαΐου 2013 από τις 9:00 πμ. έως τη 13:00 μμ. διότι από παρατηρήσεις στην περιοχή αυτή τη χρονική περίοδο εμφανίζεται ο μέγιστος φόρτος ροής πεζών αλλά και για τον λόγο ότι ο ήλιος εκείνη την ώρα έχει ευνοϊκή κλίση και δεν προκαλεί σκιάσεις που θα δημιουργούσαν προβλήματα κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Έχοντας ολοκληρωθεί η λήψη των μαγνητοσκοπημένων δειγμάτων έπρεπε να γίνει η αντιστοίχιση των συντεταγμένων των βίντεο με τις πραγματικές συντεταγμένες. Συνεπώς μετρήθηκαν 4 μη συννευθιακά σταθερά σημεία στην περιοχή μελέτης όπου με αρχή των αξόνων ενός των τεσσάρων δημιουργήθηκε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς το οποίο στάλθηκε στον καθηγητή Lee (εικόνα 19).



Εικόνα 19: Τοπικό Σύστημα Αναφοράς Περιοχής Μελέτης

Η διαδικασία της βαθμονόμησης πραγματοποιήθηκε από τον καθηγητή Lee (Lee , 2007) με την χρήση του προβολικού μοντέλου όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3. Απαιτείται ένα ακόμα βήμα όμως πριν την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Αυτό είναι η μετατροπή των ληφθέντων βίντεο σε ψηφιακή μορφή τέτοια που να αναγνωρίζεται από το λογισμικό trajectory extractor. Τα βίντεο πρέπει να είναι σε μορφή .divx και ανάλυση 960x540 pixels και για την διευκόλυνση της διαδικασίας εξαγωγής θα πρέπει να είναι χωρισμένα σε βίντεο μικρότερα των είκοσι λεπτών.

Η επεξεργασία των βίντεο για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αποτέλεσε μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία. Η ανάλυση που πραγματοποιείται είναι μικροσκοπική συνεπώς για τον κάθε πεζό που μελετάται έπρεπε να μετρηθεί frame by frame η κίνηση του. Συγκεκριμένα για τον εξεταζόμενο πεζό α σημειώνεται το φύλο του, το αν κινείται μόνος του ή σε ομάδα με άλλους πεζούς, το αν έχει σταθερό εμπόδιο δεξιά ή αριστερά και ο προορισμός του. Η τροχιά για να προσεγγισθεί ο κάθε προορισμός χωρίς κάποιο εμπόδιο παρατηρείται καθόλη την διάρκεια των βίντεο συνεπώς όταν θα προκύψει ο εξεταζόμενος πεζός β παρατηρείται η παρέκλιση από την προηγούμενη παρατηρούμενη τροχιά (Εικόνα 20). Κατά την διαδικασία της προσπέρασης σημειώνεται τον αν οι δύο πεζοί έχουν την ίδια κατεύθυνση ή αν κινούνται προς διαφορετικούς προορισμούς. Μόλις σημειωθεί η παρέκλιση από την συνήθη τροχιά προσέγγισης θεωρείται ότι ο πεζός α εισέρχεται στην περιοχή επιρροής του πεζού β. Συνεπώς αυτό είναι το καρέ στο οποίο μετρείται ο μεγάλος ημιάξονας της έλλειψης στην αρχή της προσπέρασης. Ακόμα σημειώνεται και η ταχύτητα με την οποία κινούνται οι δυο πεζοί αυτή τη χρονική στιγμή. Όταν ο πεζός α ολοκληρώσει την προσπέραση του και επανέλθει στην τροχιά προσέγγισης του προορισμού σημειώνεται και ο μεγάλος ημιάξονας της έλλειψης κατά το πέρας της προσπέρασης.



Εικόνα 20: Ελεύθερη Τροχιά και Τροχιά Προσπέρασης

Στο βίντεο αυτό των τεσσάρων ωρών παρατηρήθηκαν 803 προσπεράσεις οι οποίες είχαν σημασία για την παρούσα έρευνα. Έτσι μορφώθηκε η βάση δεδομένων η οποία αναπτύσσεται αναλυτικότερα παρακάτω.

4.3 Μεταβλητές Του Μοντέλου

Σε αυτή τη παράγραφο παρατίθενται αναλυτικά όλες οι μεταβλητές οι οποίες εξάγονται εφόσον ολοκληρωθεί η βιντεοσκόπηση με την χρήση του λογισμικού trajectory extractor. Οι μεταβλητές αυτές διακρίνονται σε συνεχείς και κατηγορικές:

Συνεχείς

- spatial
- spatial_fronnd
- speed_a
- speed_b
- s_a-s_b

Κατηγορικές

- comp
- dir
- obs_right
- obs_left
- gender

Αναλυτικότερα:

Μεταβλητή spatial

Η μεταβλητή spatial αναφέρεται στο μεγάλο ημιάξονα της έλλειψης πίσω ή μπροστά από τον πεζό β ο οποίος προσπερνιέται κατά την έναρξη της προσπέρασης. Όπως είναι γνωστό ο χωρικός διαχωρισμός δύο πεζών είναι η απόσταση δύο κοινών σημείων αναφοράς τους. Ενώ θεωρητικά αν μετρηθεί η απόσταση των κεφαλιών των πεζών α και β θα έπρεπε να είναι η ίδια με το να μετρηθεί η απόσταση των πελμάτων τους, στο λογισμικό trajectory extractor δεν υφίσταται αυτό. Για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα της μέτρησης και να προκύψουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα πρέπει η μέτρηση να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο κοντά στο έδαφος. Ο υπολογισμός της απόστασης των κεφαλιών των πεζών είναι στην ουσία ο υπολογισμός της απόστασης των προβολών των κεφαλιών στο επίπεδο η οποία θα αντικατόπτριζε τον χωρικό διαχωρισμό μόνο στην περίπτωση που οι δύο εξεταζόμενοι πεζοί έχουν ίδιο ύψος και στάση σώματος. Συνεπώς στο παρόν πείραμα ως μεγάλο ημιάξονα της έλλειψης στην

ακτίνα επιρροής του πεζού β ορίζεται η απόσταση του πέλματος του πεζού α με το αντίστοιχο πέλμα (δεξί/αριστερό) του πεζού β.

Μεταβλητή `spatial_fron`

Η μεταβλητή `spatial_fron` δηλώνει τον μεγάλο ημιάξονα της ελλειπτικής περιοχής επιρροής του πεζού β όταν ο πεζός α έχει ολοκληρώσει την προσπέραση του και συνεχίζει να προσεγγίζει ανεμπόδιστα τον προορισμό του. Η μέτρηση της πραγματοποιείται όπως ακριβώς πραγματοποιείται και η μέτρηση της μεταβλητής `spatial`.

Μεταβλητή `speed_a`

Η μεταβλητή `speed_a` είναι η στιγμιαία ταχύτητα με την οποία κινείται ο εξεταζόμενος πεζός α την χρονική στιγμή κατά την οποία εισέρχεται στην επιφάνεια επιρροής του πεζού β. Ο υπολογισμός της πραγματοποιείται από την μέτρηση της απόστασης που διένυσε ο πεζός α τα 25 προηγούμενα καρέ προς την χρονική διάρκεια του ενός δευτερολέπτου έχοντας ρυθμίσει το λογισμικό να παρουσιάζει 25 καρέ το δευτερόλεπτο.

Μεταβλητή `speed_b`

Η μεταβλητή `speed_b` είναι η στιγμιαία ταχύτητα με την οποία κινείται ο πεζός β την χρονική στιγμή που προσπερνιέται από τον πεζό α. Η μέτρηση της γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιείται και ο υπολογισμός της μεταβλητής `speed_a`. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων ο πεζός β ήταν ακίνητος και λειτουργούσε ως σταθερό εμπόδιο κατά την προσπέραση. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ταχύτητα του πεζού β σημειώνεται ως μηδενική.

Μεταβλητή `s_a-s_b`

Κατά την εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι σημαντικότερη η διαφορά των ταχυτήτων των πεζών προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση της στην ακτίνα επιρροής. Αυτό συμβαίνει διότι λαμβάνει υπόψη την κίνηση ή μη του δεύτερου πεζού. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ταχύτητα του πεζού β σημειώνεται σε πολλές μετρήσεις ως

μηδενική συνεπώς μικρές τιμές της διαφοράς ταχυτήτων δηλώνουν έντονο κίνητρο του πεζού α να προσπεράσει τον κινούμενο πεζό β ενώ μεγάλες τιμές της διαφοράς δηλώνουν τον εμποδικό χαρακτήρα του πεζού β στην προσέγγιση του προορισμού από τον πεζό α .

Μεταβλητή comp

Η μεταβλητή comp δηλώνει αν ο πεζός α κινείται μόνος του ή αποτελεί μέλος μιας ομάδας κίνησης δύο ή περισσότερων ατόμων. Για να θεωρηθεί ότι ο εξεταζόμενος πεζός κινείται σε ομάδα δεν αρκεί απλά να βρίσκεται κοντά σε άλλους πεζούς. Απαραίτητο κριτήριο είναι η διαφορά των ταχυτήτων των ατόμων που αποτελούν την ομάδα κίνησης να είναι μηδενική (με απόκλιση $\pm 0.01\text{m/s}$) καθώς και να επιδιώκεται από όλους η προσέγγιση του ίδιου προορισμού. Επειδή η μεταβλητή comp είναι κατηγορηματική σημειώνεται 0 για τον πεζό που κινείται μόνος του και 1 για τον πεζό που βρίσκεται σε ομάδα κίνησης.

Μεταβλητή dir

Η μεταβλητή dir την κατεύθυνση των πεζών α και β και σημειώνεται με 1 αν κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση και με 0 προς την αντίθετη. Είναι προφανές πως αν οι πεζοί κινούνται αντίθετα έχουν σκοπό να προσεγγίσουν διαφορετικούς προορισμούς αλλά αυτή η μεταβλητή παρουσιάζει ενδιαφέρον διότι εκτός από την κατεύθυνση δηλώνει και κατά πως η οπτική επαφή επηρεάζει την ακτίνα επιρροής του πεζού β .

Μεταβλητές obs_left / obs_right

Οι μεταβλητές αυτές δηλώνουν την ύπαρξη ή μη εμποδίων δεξιά η αριστερά του πεζού α κατά την διαδικασία της προσπέρασης. Τέτοια εμπόδια στην περιοχή μελέτης του παρόντος πειράματος είναι οι σκάλες , τα κιγκλιδώματα , οι κάδοι απορριμμάτων , φυτά καθώς και ακίνητοι πεζοί που βρίσκονται πλησίον του εξεταζόμενου πεζού και παρεμποδίζουν την κίνηση του. Τα εμπόδια αυτά δεν δηλώνουν αποκλειστικά την απαγόρευση προσπέρασης προς την πλευρά που βρίσκονται αλλά η ύπαρξη τους σε απόσταση μικρότερη των 60cm από τον εξεταζόμενο πεζό δύναται να δυσχεραίνει την διαδικασία της προσπέρασης γενικότερα. Προφανώς σημειώνεται 1 για την ύπαρξη εμποδίου και 0 για την μη ύπαρξη.

Μεταβλητή gender

Η μεταβλητή gender αναφέρεται στο φύλο του εξεταζόμενου πεζού α. Σημειώνεται 1 για τους άνδρες και 0 για τις γυναίκες.

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.

4.3.1 Περιγραφική Στατιστική

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται ο μέσος όρος, η διάμεσος, η τυπική απόκλιση καθώς και το μέγιστο και το ελάχιστο των συνεχών μεταβλητών που παρατηρούνται στο πείραμα.

	Μέσος Όρος	Διάμεσος	Τυπική Απόκλιση	MAX	MIN
spatial	2,15	1,97	1,08	5,05	0,20
spatial_fronnd	1,50	1,01	1,06	4,32	0,28
speed_a	1,32	1,35	0,25	1,84	0,47
speed_b	0,56	0,42	0,57	1,82	0,00
s_a-s_b	0,76	0,71	0,58	1,84	-0,97

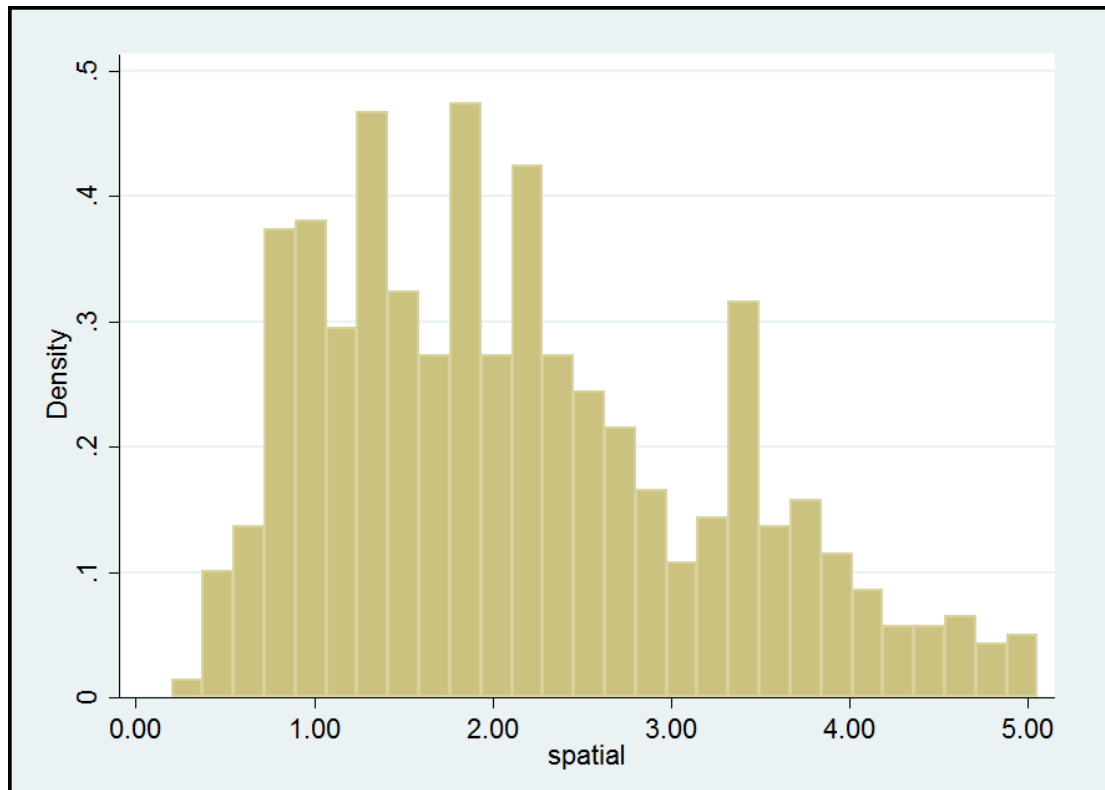
Πίνακας 4: Περιγραφική στατιστική

Ο επόμενος πίνακας δείχνει την στατιστική κατανομή των μεταβλητών όπως παρατηρήθηκε από τα ιστογράμματα τους τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

METABΛΗΤΗ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ
spatial	Johnson SB
spatial_fronnd	Exponential (2P)
speed_a	Gen. Logistic
speed_b	Uniform
s_a-s_b	Gen. Pareto

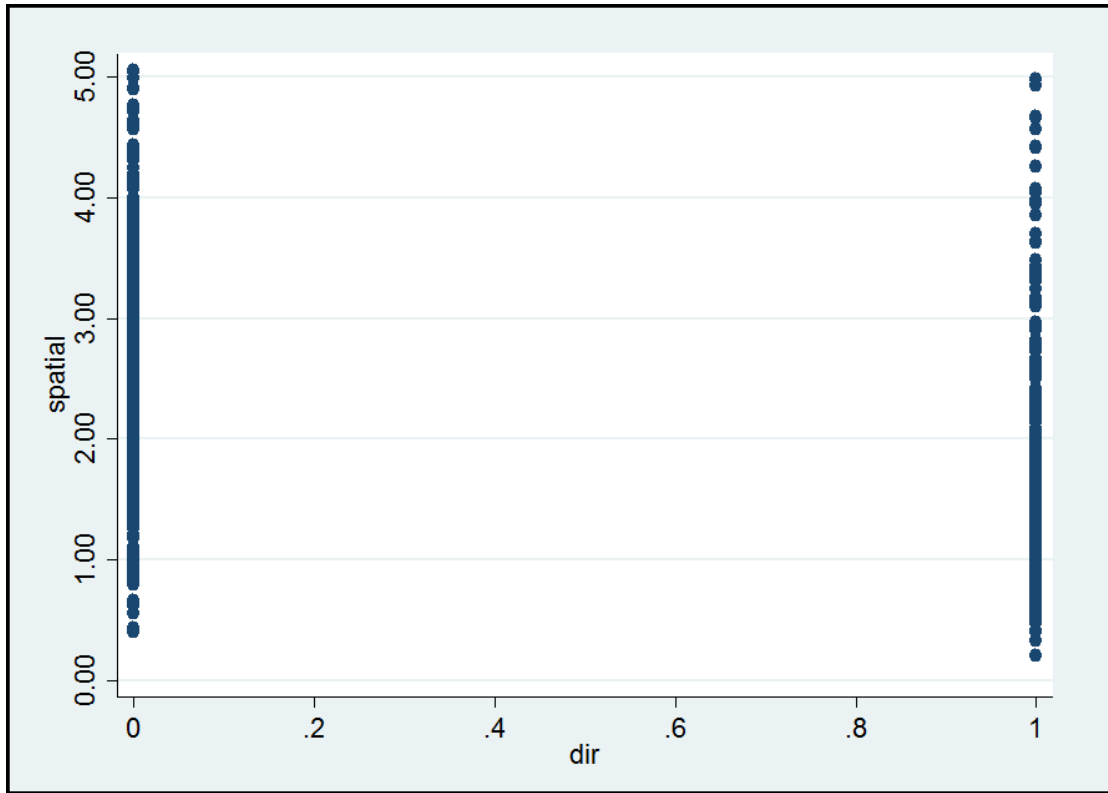
Πίνακας 5: Κατανομές Μεταβλητών

- **spatial**



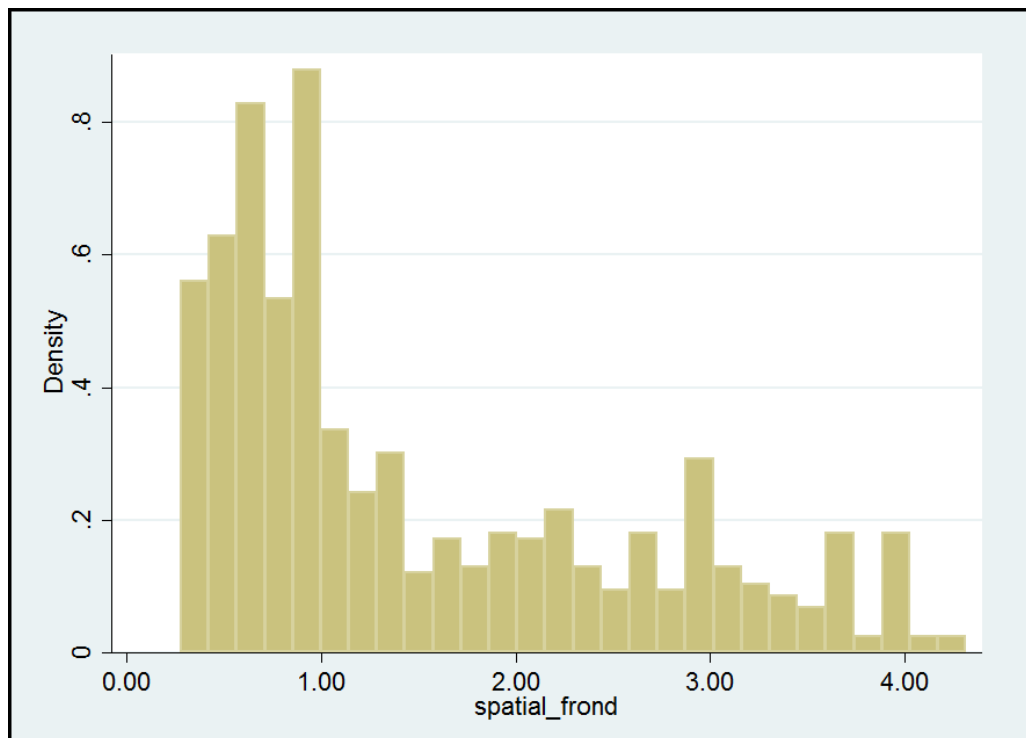
Διάγραμμα 4: Ιστογράμμο Μεταβλητής *spatial*

Η μεταβλητή *spatial* εκφράζεται καταλληλότερα με την κατανομή Johnson SB. Η μέση της τιμή είναι 2.15 μέτρα αλλά σημαντικότερο μέγεθος για αυτή την μεταβλητή είναι η διάμεσος η οποία είναι 1.97 μέτρα. Αυτό συμβαίνει διότι η διάμεσος δεν επηρεάζεται από τις ακραίες τιμές που παρατηρούνται. Συγκεκριμένα η μεγαλύτερη τιμή που παρατηρήθηκε είναι 5.05 μέτρα και η μικρότερη 0.20 μέτρα. Για τις πολύ μεγάλες τιμές δηλαδή αυτές που είναι μεγαλύτερες των 4 μέτρων παρατηρείται μικρή πυκνότητα και αυτό συμβαίνει διότι ένα ποσοστό των εξεταζόμενων πεζών προτίμησαν να αλλάξουν κατεύθυνση προκειμένου να αναπτύξουν μεγαλύτερη ταχύτητα και να προσεγγίσουν ταχύτερα τον προορισμό τους. Ακόμα αυτές οι τιμές είναι πιο συχνές σε περιπτώσεις όπου οι δύο πεζοί κινούνται με αντίθετη κατεύθυνση ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών που κινούνται προς τον ίδιο προορισμό παρουσιάζουν τιμές μικρότερες των 3 μέτρων (Διάγραμμα 5). Συνεπώς παρόλο που οι μεγάλες τιμές δεν είναι αντιπροσωπευτικές για την γενικότερη μόρφωση της ακτίνας επιρροής του πεζού β, συμβάλουν σημαντικά προκειμένου να υπάρχει εικόνα για το πώς συμπεριφέρεται ένας πεζός ο οποίος βιάζεται να προσεγγίσει τον προορισμό του έχοντας μεγάλο βαθμό ελευθερίας στη κίνηση του.



Διάγραμμα 5: Διασπορά spatial-dir

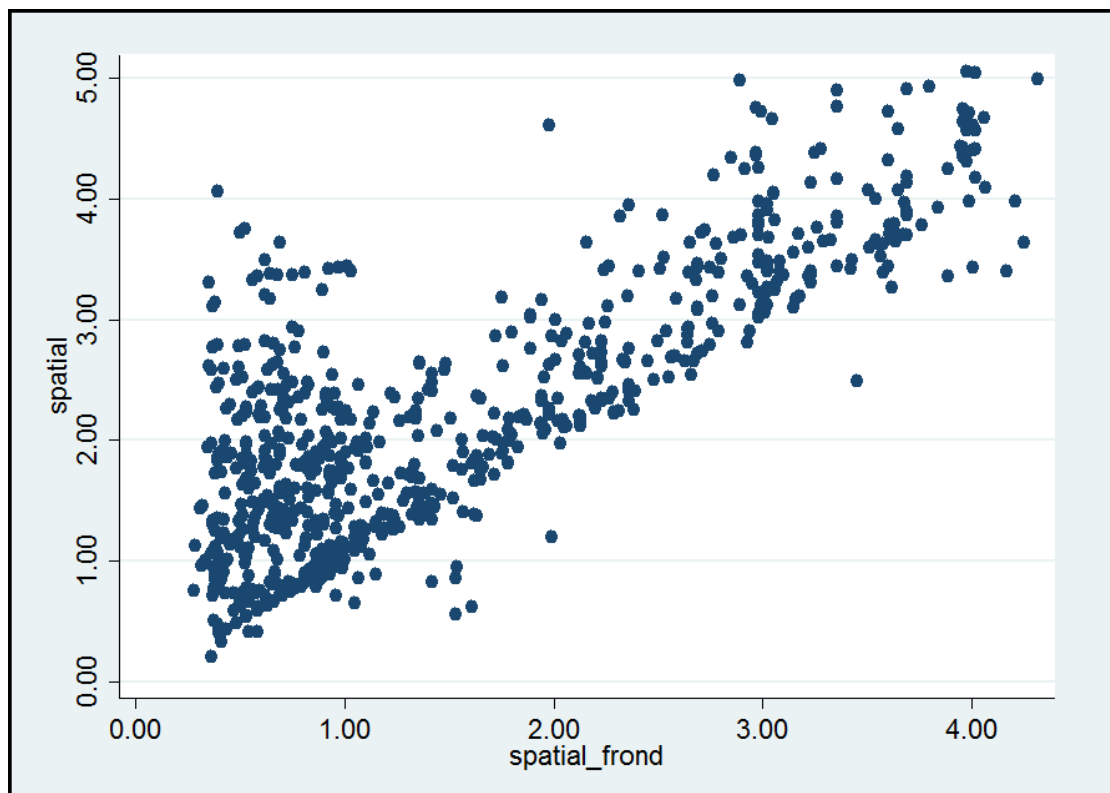
- `spatial_fron`



Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα Μεταβλητής `spatial_fron`

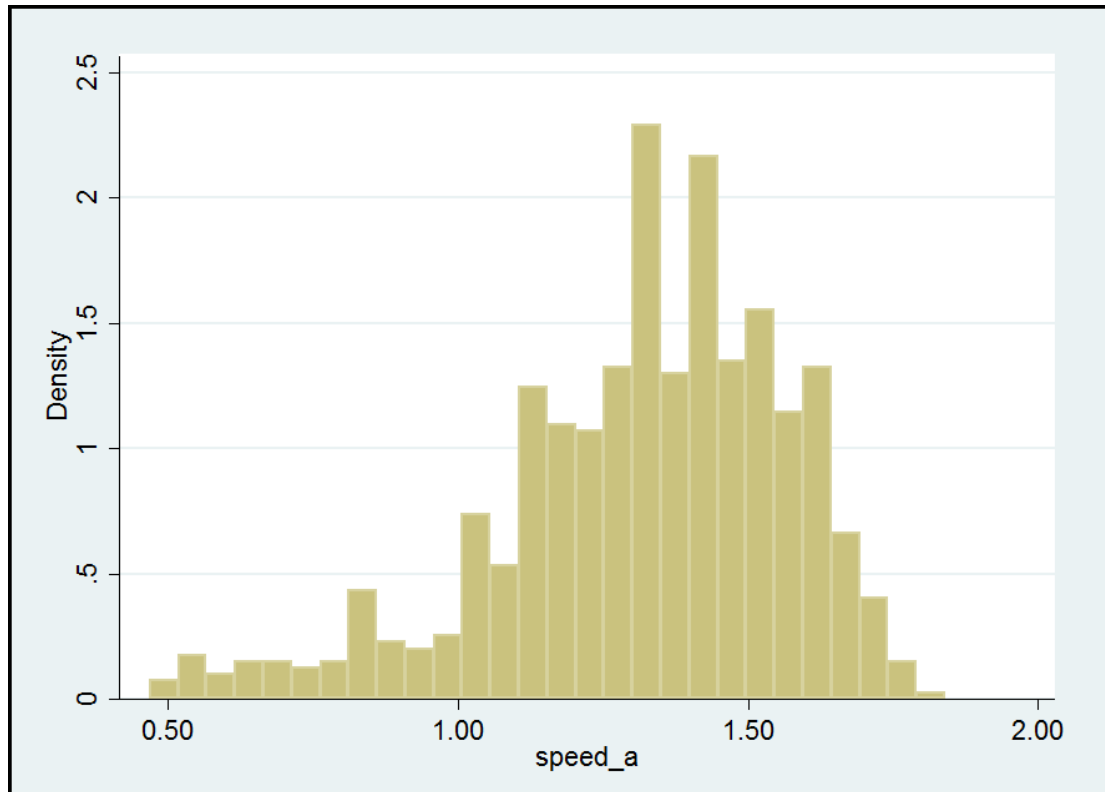
Η μεταβλητή `spatial_fron` ακολουθεί την εκθετική κατανομή (Διάγραμμα 6). Παρατηρείται μεγάλη πυκνότητα στις τιμές από 0,50 έως 1,50 μέτρα και αυτός είναι ο λόγος που ενώ η μέση της τιμή είναι 1,50 μέτρα η διάμεσος της είναι αρκετά μικρότερη δηλαδή 1,01 μέτρα. Στις τιμές μεγαλύτερες από 1,50 μέτρα παρατηρείται μικρότερη πυκνότητα μετρήσεων και αυτό συμβαίνει κυρίως της κατεύθυνσης κίνησης. Όταν πραγματοποιηθεί η προσπέραση όταν ο προορισμός είναι διαφορετικός είναι λογικό οι πεζοί να απομακρύνονται περισσότερο από ότι θα συνέβαινε όταν πλησιάζουν και οι δύο τον ίδιο προορισμό. Οι ακραίες τιμές αυτής της μεταβλητής είναι τα 4,32 και 0,28 μέτρα και η τυπική της απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη 1.06 μέτρα. Ακόμα το διάγραμμα 3 δείχνει την ασυμμετρία της ακτίνας επιρροής η οποία θα αναλυθεί εκτενέστερα σε παρακάτω παραγράφους.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 4) παρατηρείται η μονοσήμαντη συσχέτιση των μεταβλητών *spatial* και *spatial_fron*d. Οι δύο αυτές μεταβλητές παρουσιάζουν μια γραμμική συσχέτιση κυρίως στις μεγάλες τιμές των παρατηρήσεων. Εμφανής σε αυτό το διάγραμμα είναι η ασυμμετρία των δύο μεγάλων ημιαξόνων της ελλειπτικής περιοχής. Η ασυμμετρία αυτή είναι πιο έντονη στις μικρές τιμές της μεταβλητής *spatial_fron*d και αυτό συμβαίνει διότι ο εξεταζόμενος πεζός μόλις ολοκληρώσει την προσπέραση του εισέρχεται πιο κοντά στον πεζό β σχεδόν σε όλες τις παρατηρήσεις του δείγματος. Θα ακολουθήσει εκτενέστερη περιγραφή για την ασύμμετρη ελλειπτική περιοχή επιρροής κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου SEM.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Διασποράς Μεταβλητών *spatial* – *spatial_fron*d

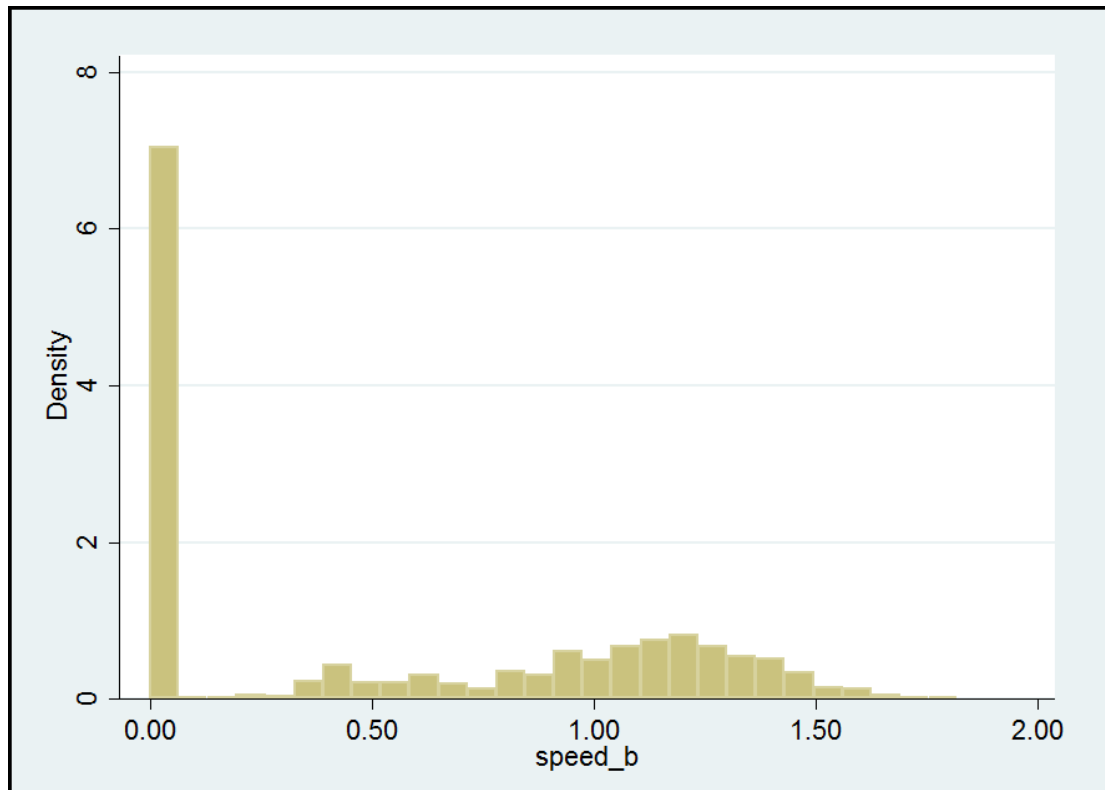
- speed_a



Διάγραμμα 8: Ιστόγραμμα μεταβλητής speed_a

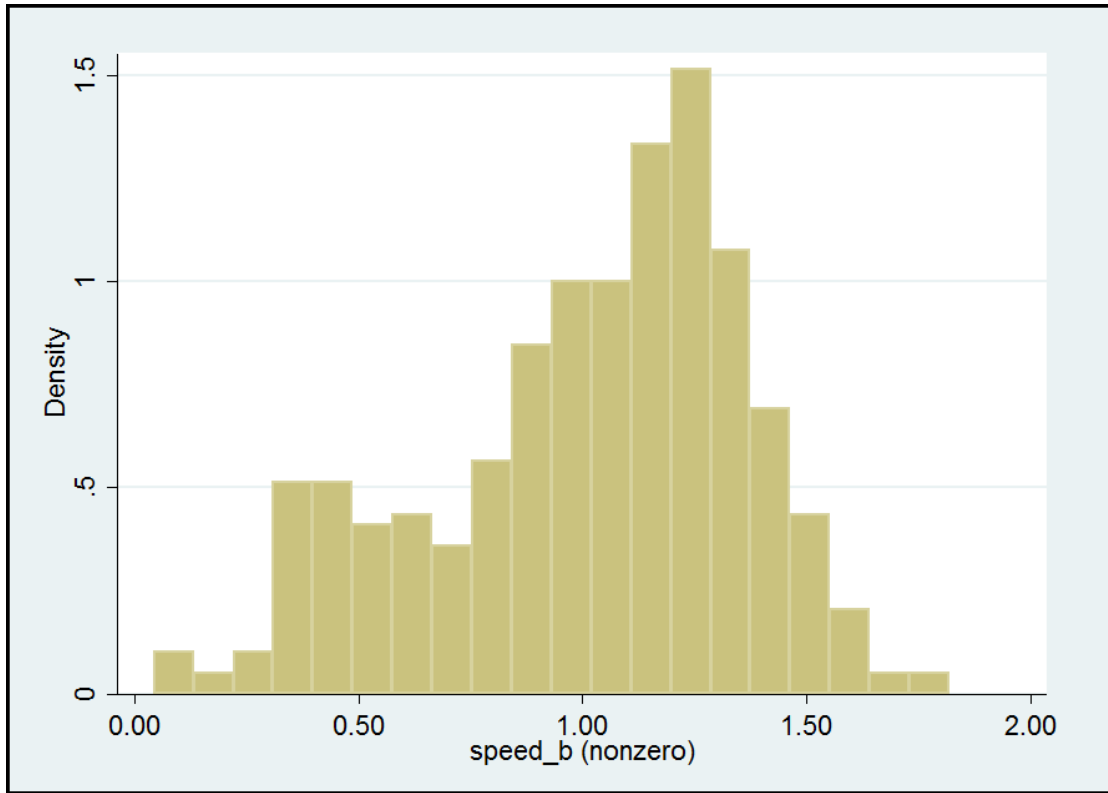
Η μεταβλητή speed_a ακολουθεί την κατανομή Gen. Logistic (Διάγραμμα 8). Το μεγαλύτερο μέρος των παρατηρήσεων είναι συγκεντρωμένο στη μέση τιμή 1.32 m/s με τυπική απόκλιση 0,25 m/s. Ακόμα η διάμεσος είναι 1,35 m/s τιμή κοντά στην τιμή της ελεύθερης ταχύτητας που ορίζεται από τους Daamen και Hoogendoorn (2007) η οποία ισούται με 1,34 m/s. Η τιμή αυτή είναι κοντά στην τιμή της ελεύθερης ταχύτητας διότι το δείγμα του πειράματος αποτελείται από πεζούς οι οποίοι επιδιώκουν να προσπεράσουν άλλους πεζούς των οποίων η ύπαρξη λειτουργεί ως εμπόδιο στο να προσεγγίσουν με άνεση τον προορισμό τους. Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή είναι 1,84 και 0,47 αντίστοιχα. Οι μικρές τιμές που παρατηρούνται είναι λόγω της μεγάλης πυκνότητας πεζών που παρατηρήθηκε κατά τις μετρήσεις αυτές.

- speed_b



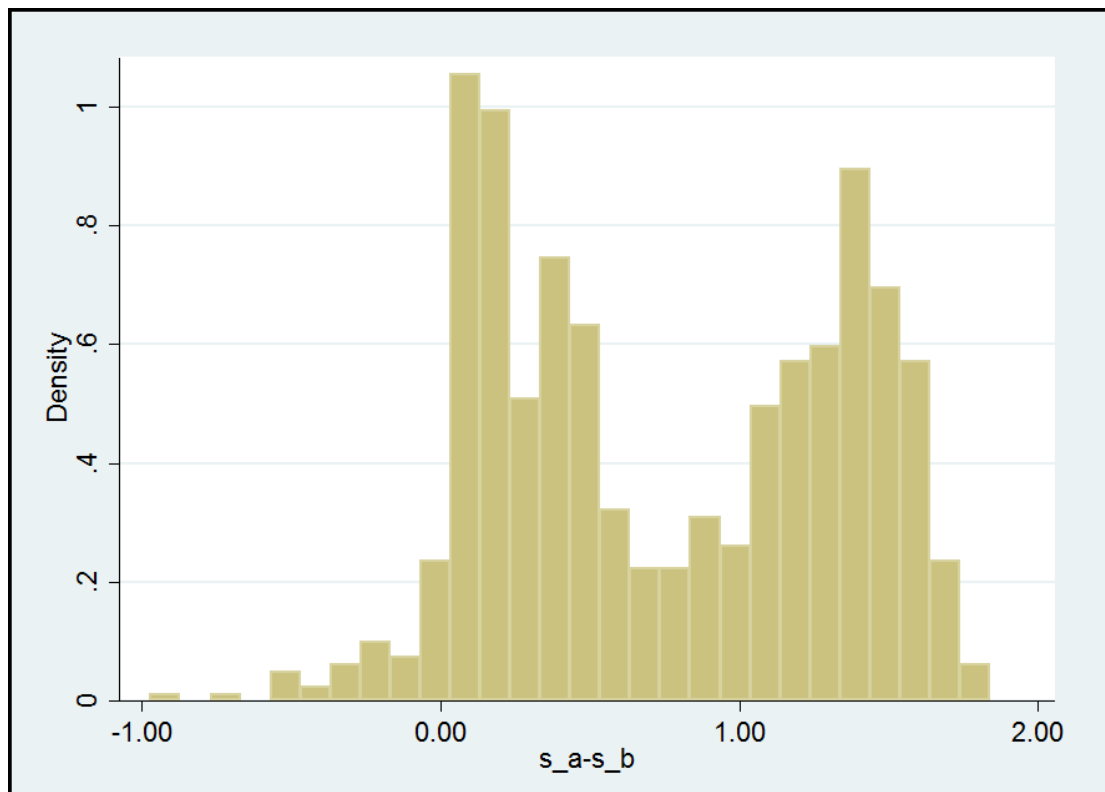
Διάγραμμα 9: Ιστόγραμμα Μεταβλητής speed_b

Η μεταβλητή speed_b δεν ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη κατανομή (Διάγραμμα 9). Το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρήσεων αποτελείται από πεζούς οι οποίοι λειτουργούν ως σταθερά εμπόδια επειδή η ταχύτητα τους είναι μηδέν. Αυτό συμβαίνει είτε επειδή στέκονται στις τροχιές των εξεταζόμενων πεζών α έχοντας κάποια εργασία όπως η διανομή διαφημιστικών φυλλαδίων είτε επειδή σταματάνε απότομα για διάφορους άλλους λόγους. Αυτός είναι ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο δημιουργήθηκε η μεταβλητή s_a-s_b προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της διαφοράς της ταχύτητας. Αν εξαιρεθούν οι μηδενικές τιμές η μεταβλητή speed_b ακολουθεί την κατανομή Wakeby όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 10.



Διάγραμμα 10: : Ιστόγραμμα Μεταβλητής speed_b (nonzero)

- s_a-s_b



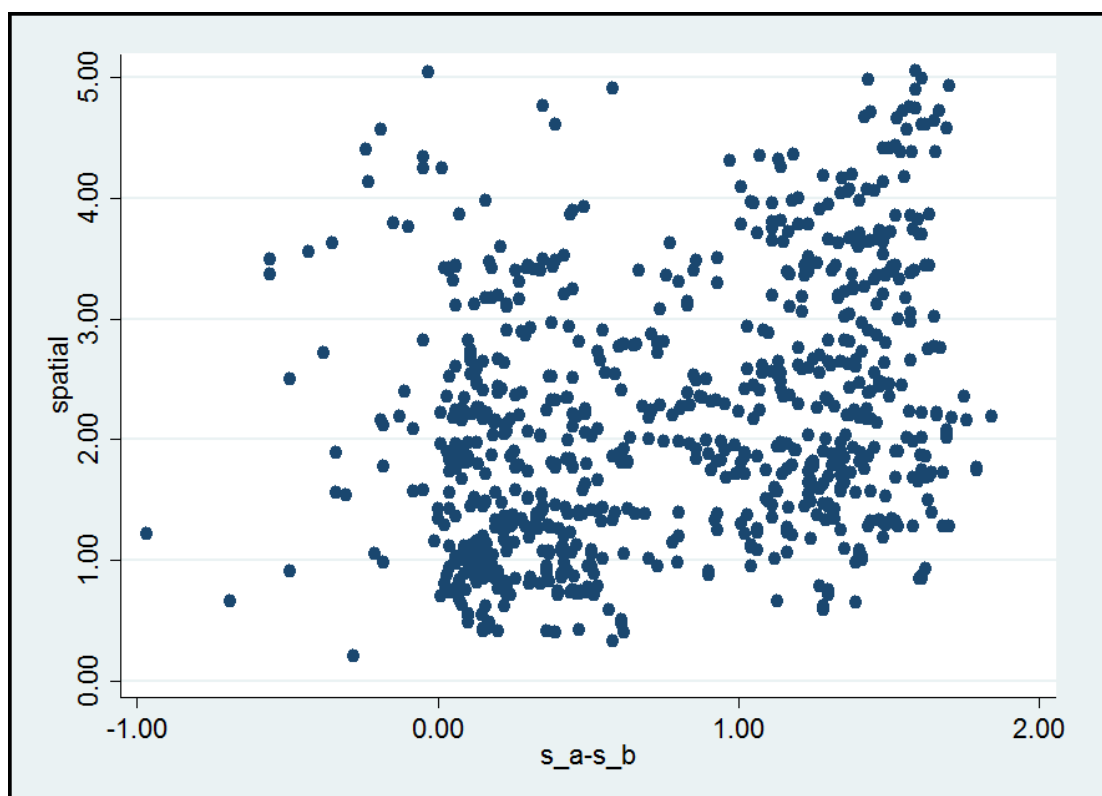
Διάγραμμα 11: Ιστόγραμμα μεταβλητής s_a-s_b

Η μεταβλητή s_a-s_b ακολουθεί την κατανομή Gen. Pareto. Η μέση της τιμή είναι 0,76 m/s η διάμεσος της 0,71 m/s και η τυπική της απόκλιση 0,58 m/s . Στο ιστόγραμμα (Διάγραμμα 8) παρατηρούνται δύο κυρτώματα. Αυτό συμβαίνει λόγω της συγκέντρωσης των τιμών σε δύο περιπτώσεις:

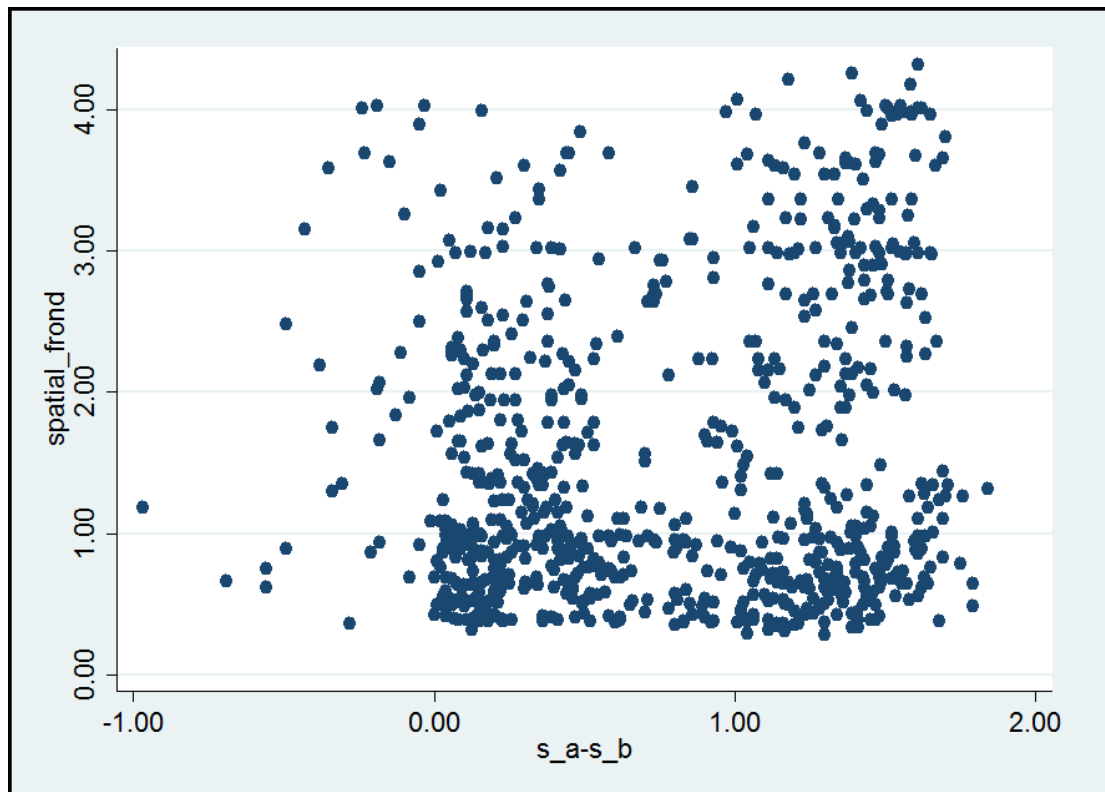
- στις μικρές τιμές της διαφοράς των ταχυτήτων οι οποίες οφείλονται στην προθυμία του εξεταζόμενου πεζού α να προσπεράσει τον β ο οποίος κινείται με μεγάλη ταχύτητα (ακόμα και μεγαλύτερη του πεζού α αλλά είναι κινούμενοι σε αντίθετη κατεύθυνση αλλά η κίνηση του πεζού α παρουσιάζει μεγαλύτερο κυκλοφοριακό ενδιαφέρον)
- στις μεγάλες τιμές της διαφοράς οι οποίες δηλώνουν τον εμποδιακό χαρακτήρα του πεζού β είτε αυτός κινείται αντίθετα είτε επιδιώκει να προσεγγίσει τον ίδιο προορισμό.

Οι ακραίες τιμές οι οποίες παρατηρούνται είναι 1.84 m/s η οποία είναι η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του πεζού α και -0,97 m/s.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Διάγραμμα 12 και Διάγραμμα 13) παρατηρείται η διασπορά των τιμών της διαφοράς της ταχύτητας με τις τιμές των μεγάλων ημιαξόνων της ελλειπτικής περιοχής επιρροής του πεζού β πίσω και μπροστά αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται η μη γραμμική σχέση των δύο αυτών μεταβλητών. Η μεγάλη διασπορά των τιμών οφείλεται στον μεγάλο βαθμό ελευθερίας της κίνησης του πεζού. Στο παρόν πείραμα ο πεζός έχει την δυνατότητα να προσεγγίσει τον προορισμό του με ότι ταχύτητα θέλει (ελεύθερη η μη) καθώς και να προσπεράσει τον εμπλεκόμενο πεζό χωρίς να προκαθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η προσπέραση. Το δείγμα της παρούσας έρευνας είναι τελείως ανομοιογενές προκειμένου να μελετηθεί καλύτερα ο βαθμός επίδρασης της κάθε μεταβλητής στην ακτίνα επιρροής. Σημαντικό να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι το συνολικό νέφος της διασποράς χωρίζεται σε δύο υπό-νέφη τα όποια οφείλονται στις δύο περιπτώσεις κίνησης που περιγράφονται παραπάνω.



Διάγραμμα 12: Διάγραμμα Διασποράς s_a-s_b – spatial



Διάγραμμα 13: Διάγραμμα Διασποράς s_a-s_b – spatial_fronde

Για τις κατηγορικές μεταβλητές ακολουθεί ο Πίνακας 6 ο οποίος δίνει την γενική εικόνα του δείγματος.

Μεταβλητή	Ποσοστό	
comp	32% κινούμενοι σε ομάδα	68% κινούμενοι μόνοι
dir	48% ίδια κατεύθυνση	52% αντίθετη κατεύθυνση
obs_right	29% ύπαρξη εμποδίου δεξιά	71% μη ύπαρξη εμποδίου δεξιά
obs_let	16% ύπαρξη εμποδίου αριστερά	84% μη ύπαρξη εμποδίου αριστερά
gender	52% άντρες	48% γυναίκες

Πίνακας 6: : Κατανομή κατηγορικών μεταβλητών

4.3.2 Σφάλμα των μετρήσεων

Το σφάλμα των μετρήσεων αφορά τις συνεχείς μεταβλητές δηλαδή τους μεγάλους ημιάξονες της ελλειπτικής περιοχής επιρροής και τις ταχύτητες των πεζών α και β . Οι μετρήσεις όπως αναφέρεται κατά την παρουσίαση του πειράματος λαμβάνονται με την χρήση του λογισμικού Trajectory Extractor. Το συγκεκριμένο λογισμικό δεν αναφέρει κάποιο σφάλμα κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων συνεπώς η ακρίβεια των μετρήσεων οφείλεται αποκλειστικά κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης.

Η διαδικασία της βαθμονόμησης στο παρόν πείραμα ευνοήθηκε από την γεωμετρία της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα η πλακόστρωση της περιοχής που πραγματοποιούνται οι τροχιές των πεζών καθώς και αρκετά σταθερά σημεία όμως ο σηματοδότης του μετρώ, κάγκελα και τοιχία έδιναν την δυνατότητα επιλογής των τεσσάρων μη συνευθειακών σημείων. Η μέτρηση των αποστάσεων των σημείων αυτών έγινε με μετρητή laser το οποίο παρέχει στον χρήστη μετρήσεις με την ακρίβεια χιλιοστού. Επιπρόσθετα, η βιντεοκάμερα τοποθετήθηκε στην πεζογέφυρα που βρίσκεται σε ύψος περίπου έξι μέτρων από το επίπεδο των μετρήσεων γεγονός που ευνοούσε η γωνία εγγραφής να είναι όσο πιο απότομη γίνεται. Συνεπώς το προβολικό μοντέλο που χρησιμοποιεί το λογισμικό Trajectory Extractor και το οποίο δεν παρέχει σφάλμα δεδομένου ότι δόθηκαν σωστές και ακριβείς μετρήσεις δίνει σωστά και ακριβή αποτελέσματα.

Παρόλα αυτά προκειμένου να εξαλειφθεί η πιθανότητα λανθασμένων μετρήσεων δόθηκε έμφαση στην παρατήρηση αν οι μετρήσεις αυτές ανταποκρίνονται σε πραγματικές συνθήκες. Στον πίνακα 3 αναγράφονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες παρατηρήσεις των μεταβλητών καθώς και η μέση τους τιμή οι οποίες είναι αποδεχόμενες και μπορούν να αντιπροσωπεύσουν την πραγματικότητα. Ακόμα οι τιμές της ταχύτητας του πεζού α συγκλίνουν και με τις τιμές που παρατηρούνται στην βιβλιογραφία (πίνακας 2).

4.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Μοντέλου SEM

Η στατιστική ανάλυση της βάσης δεδομένων έδειξε ότι οι μεταβλητές των μεγάλων ημιάξονων δεν παρουσιάζουν γραμμική συσχέτιση με τις υπόλοιπες μεταβλητές συνεπώς η ανάλυση των μεταξύ τους σχέσεων πρέπει να πραγματοποιηθεί με ένα πιο πολύπλοκο στατιστικό εργαλείο. Το μοντέλο SEM αποτελεί την καταλληλότερη στατιστική τεχνική διότι εκτός από τις παρατηρούμενες μεταβλητές οι οποίες μορφώνουν την παραπάνω βάση δεδομένων μπορεί να επεξεργαστεί και μεταβλητές οι οποίες δεν μπορούν να παρατηρηθούν όπως η επίδραση όλων των παραπάνω παραμέτρων στις μεταβλητές `spatial` και `spatial_fron`.

4.4.1 Μόρφωση του μοντέλου

Για το παρόν μοντέλο ως δείκτες y_1 και y_2 θεωρούνται οι μεταβλητές *spatial* και *spatial_fronnd* αντίστοιχα, μη παρατηρούμενη μεταβλητή (latent) η θεωρείται η μεταβλητή *influence* (επίδραση) και οι υπόλοιπες μεταβλητές αποτελούν τις εξωγενείς ή ενδογενείς παρατηρούμενες μεταβλητές. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών σημειώνονται γραφικά με βέλη. Το μοντέλο SEM επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίσει αλληλεπιδράσεις τις οποίες δεν είχε παρατηρήσει με την χρήση της εντολής *Modification indices*.

Επιλέγοντας *statistics->SEM->testing and CIs->Modification indices* εμφανίζεται στο λογισμικό ένας πίνακας ο οποίος επισημαίνει στον χρήστη κάποιες αλληλεπιδράσεις οι οποίες θα βελτιώσουν το μοντέλο καθώς και τον βαθμό τον οποίο θα βελτιώσουν το ήδη υπάρχον μοντέλο (Πίνακας 7).

```
. estat mindices
```

Modification indices

	MI	df	P>MI	EPC	Standard EPC
Structural					
spatial <-					
obs_left	10.291	1	0.00	.218742	.0750276
dir	13.362	1	0.00	-.3297492	-.153379
Measurement					
spatial_fronnd <-					
obs_left	10.291	1	0.00	-.2284163	-.0797078
dir	13.362	1	0.00	.3443337	.1629472

EPC = expected parameter change

Πίνακας 7: Modification indices

Όταν όλες πλέον οι αλληλεπιδράσεις έχουν οριστεί η εντολή *modification indices* δίνει στον χρήστη την πληροφορία ότι δεν έχουν να αναφερθούν άλλοι δείκτες τροποποίησης και το παρόν μοντέλο βρίσκεται στη βέλτιστη του μορφή. Παρόλα

αυτά οι παραπάνω μεταβλητές μπορούν να συνδυαστούν με άπειρους τρόπους προκειμένου να αντικατοπτρίσουν την πραγματική κατάσταση. Για τον λόγο αυτό οι διάφορες δομές των μοντέλων θα αξιολογούνται με βάση το κριτήριο AIC (Akaike's Information Criterion) και το κριτήριο BIC (Bayesian Information Criterion). Οι μικρότεροι δείκτες AIC και BIC δηλώνουν την υπεροχή του ενός μοντέλου έναντι των άλλων. Συνεπώς από τις διάφορες δομές που εξετάζονται επιλέχθηκε αυτή της οποίας οι δείκτες έχουν τις τιμές (Πίνακας 8):

AIC = 9748.583

BIC = 9837.662

. estat ic						
Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	803	.	-4855.292	19	9748.583	9837.662

Note: N=Obs used in calculating BIC; see [R] BIC note

Πίνακας 8: Δείκτες AIC – BIC

Η πλήρωση των παραπάνω κριτηρίων δεν εξασφαλίζει την μόρφωση ενός καλού μοντέλου, οι δείκτες AIC και BIC δηλώνουν την καλύτερη από τις δοκιμές των διαφόρων δομών που εξετάζονται. Έτσι μετά την επιλογή της βέλτιστης μορφής απαραίτητος είναι και ο γενικότερος έλεγχος του μοντέλου. Η δομή του μοντέλου που επιλέγεται παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής (Διάγραμμα 14).

Οι εξισώσεις του μοντέλου που επιλέγεται είναι:

$$n = \Phi_1 x + \varepsilon_1$$

$$y_1 = K_1 n + \varepsilon_2$$

$$y_2 = K_2 n + \varepsilon_3$$

Και επειδή η διαφοράς ταχύτητας είναι ενδογενής μεταβλητή

$$x_7 = \Phi_2 x + \varepsilon_4 \text{ όπου}$$

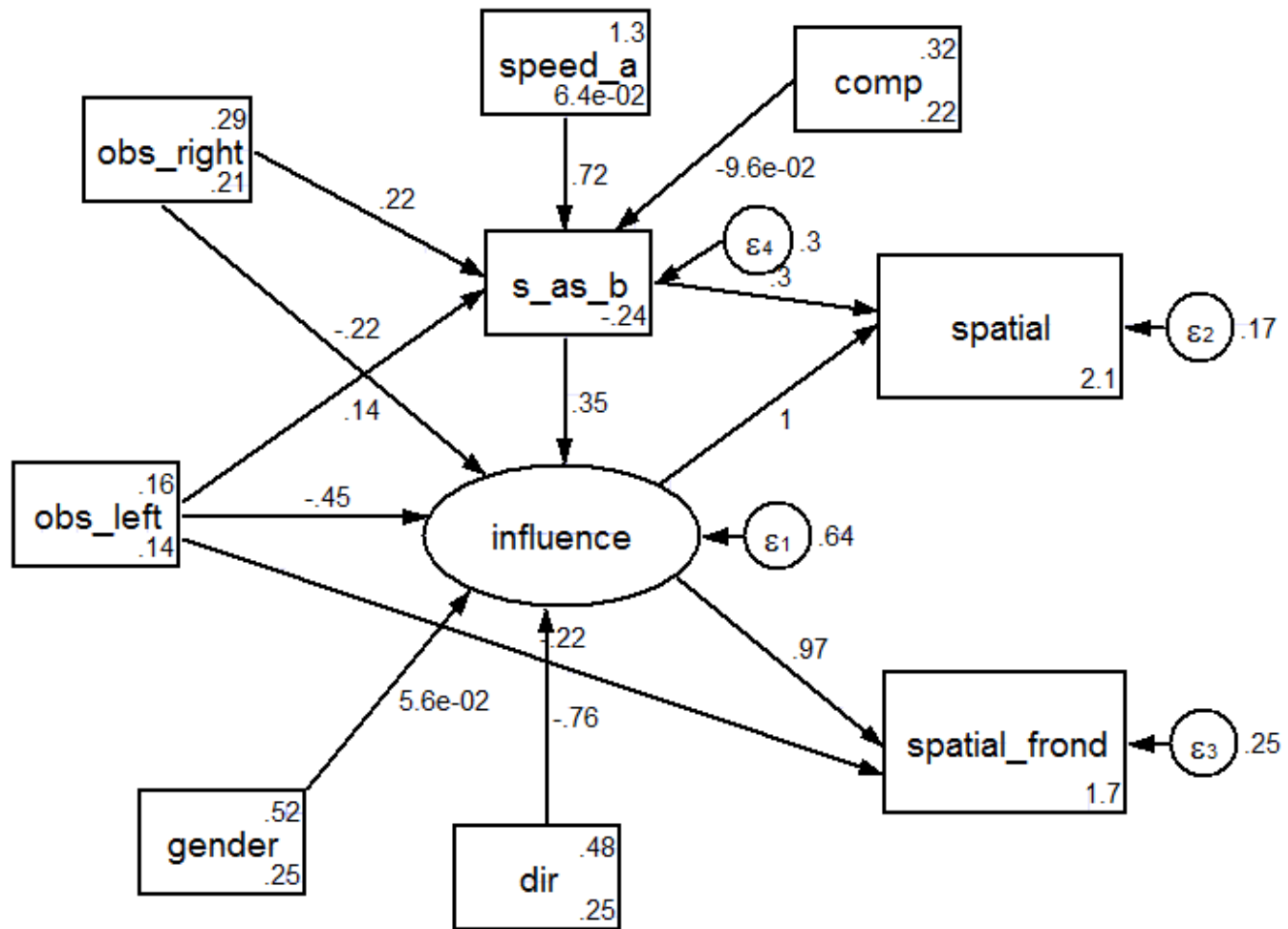
y_1 και y_2 οι μεταβλητές spatial και spatial_fronnd αντίστοιχα

n θεωρείται η μεταβλητή influence

$x_{1,2,\dots,6}$ οι εξωγενείς μεταβλητές speed_a , comp , dir , obs_right , obs_left , gender αντίστοιχα

x_7 η ενδογενής μεταβλητή s_a-s_b

Φ_1, Φ_2, K_1, K_2 τα μητρώα των παραμέτρων που εκτιμούνται από το μοντέλο



Διάγραμμα 14: Διάγραμμα Ροής SEM MIMIC Model

Η αξιολόγηση του παραπάνω μοντέλου απαιτεί αρχικά την εκτίμηση των μητρώων των παραμέτρων η οποία πραγματοποιείται με την εντολή Estimate. Με την εντολή αυτή παρατηρείται αν το μοντέλο συγκλίνει καθώς και ο συντελεστής χ^2 του οποίου η τιμή πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 0.1 για να μπορεί ο συνδυασμός των μεταβλητών να παρέχει αληθή αποτελέσματα.

Στο παρόν μοντέλο $\chi^2 = 0.442$ τιμή που δηλώνει την καταλληλότητα του μοντέλου να παρουσιάσει το εξεταζόμενο φαινόμενο και ότι τα αποτελέσματα του είναι στατιστικά αποδεκτά. Η τελική αξιολόγηση θα πραγματοποιηθεί με την χρήση της εντολής overall goodness of fit.

Επιλέγοντας statistics->SEM->goodness of fit-> overall goodness of fit παρουσιάζεται ο πίνακας με τους δείκτες της καλής προσαρμογής του μοντέλου. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το σφάλμα του πλήθους του δείγματος η τιμή του κατώτατου ορίου του δείκτη 90% CI είναι 0 και η ανώτατη του είναι 0.041 τιμές αποδεκτές διότι οι αποδεκτές τιμές του κατώτατου ορίου πρέπει να είναι μικρότερες του 0.05 και του ανώτατου να είναι μικρότερες του 0.1. Ο δείκτης αυτός αφορά το διάστημα εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 10% συνεπώς για τιμές του δείκτη 90% CI μεγαλύτερες του 1 παρατηρείται αδυναμία του μοντέλου να αναπαραστήσει το φαινόμενο οπότε πρέπει να αναδιαμορφωθεί η δομή του ή να ελεγχθεί ξανά η βάση δεδομένων του. Από τα κατώτατα και ανώτατα όρια του διαστήματος εμπιστοσύνης εκθέτονται και οι τιμές των RMSEA και πιθανότητα $RMSEA \leq 0.05$ οι οποίες είναι 0 και 0.988 αντίστοιχα.

Αναφορικά με το μέτρο σύγκρισης συμβάλλουν οι δείκτες CFI και TLI των οποίων οι τιμές κοντά στο 1 δηλώνουν καλή εφαρμογή. Στο παρόν μοντέλο οι τιμές των παραπάνω δεικτών είναι 1 και 1 αντίστοιχα που είναι αποδεκτές. Συγκεκριμένα η τιμή του CFI είναι πιο αποδεκτή όταν είναι μεγαλύτερη του 0.95.

Όσον αφορά το μέγεθος των υπολειμμάτων ελέγχουμε τους δείκτες SRMR και CD. Ο δείκτης SRMR που λαμβάνει την τιμή 0 παρουσιάζει την τέλεια προσαρμογή του μοντέλου ενώ το ανώτατο όριο που μπορεί να πάρει η τιμή είναι το 0.08, συνεπώς η τιμή 0.008 που λαμβάνει το SRMR στη παρούσα δομή δίνει πολύ καλή προσαρμογή. Ο δείκτης CD δηλαδή ο συντελεστής προσδιορισμού πρέπει να λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 συνεπώς η τιμή 0.352 είναι αποδεκτή.

Fit statistic	Value	Description
Likelihood ratio		
chi2_ms(8)	7.884	model vs. saturated
p > chi2	0.445	
chi2_bs(21)	1266.796	baseline vs. saturated
p > chi2	0.000	
Population error		
RMSEA	0.000	Root mean squared error of approximation
90% CI, lower bound	0.000	
upper bound	0.041	
pclose	0.988	Probability RMSEA <= 0.05
Information criteria		
AIC	9748.583	Akaike's information criterion
BIC	9837.662	Bayesian information criterion
Baseline comparison		
CFI	1.000	Comparative fit index
TLI	1.000	Tucker-Lewis index
Size of residuals		
SRMR	0.008	Standardized root mean squared residual
CD	0.352	Coefficient of determination

Πίνακας 9: Αξιολόγηση Μοντέλου SEM

Οι στατιστικοί δείκτες δίνουν την γενική εικόνα της καλής προσαρμογής του μοντέλου αλλά ένα μοντέλο για να είναι αντιπροσωπευτικό πρέπει τα αποτελέσματα που εξάγονται να αντικατοπτρίζουν και την πραγματικότητα. Συνεπώς η τελική αξιολόγηση της παρούσας δομής του μοντέλου θα κριθεί μετά από την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

4.4.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο με την εντολή estimate πραγματοποιείται η εκτίμηση των μητρώων των αγνώστων παραμέτρων του μοντέλου. Στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 10) φαίνεται η μόρφωση των μητρώων αλλά και η στατιστική σημαντικότητα της σχέσης μίας μεταβλητής με την εξεταζόμενη μεταβλητή. Για να θεωρηθεί μια μεταβλητή ότι είναι στατιστικά σημαντική πρέπει ο δείκτης $p > |z|$ να έχει τιμή μικρότερη του 0.1 .

	OIM					[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.	z	P> z			
Structural							
spatial <-							
s_as_b	.2953579	.0441085	6.70	0.000	.2089068	.381809	
influence	1	(constrained)					
_cons	2.12634	.0700382	30.36	0.000	1.989068	2.263613	
spatial_fronde <-							
influence	.9656308	.0523952	18.43	0.000	.8629381	1.068323	
obs_left	-.2199419	.0657901	-3.34	0.001	-.3488881	-.0909957	
_cons	1.727836	.0706742	24.45	0.000	1.589317	1.866355	
s_as_b <-							
obs_right	.2227177	.0435702	5.11	0.000	.1373218	.3081137	
speed_a	.7215214	.0808212	8.93	0.000	.5631147	.8799281	
comp	-.0959043	.0417067	-2.30	0.021	-.1776479	-.0141608	
obs_left	.140431	.0548352	2.56	0.010	.032956	.2479061	
_cons	-.2430029	.1152413	-2.11	0.035	-.4688716	-.0171342	
influence <-							
s_as_b	.3527376	.0611691	5.77	0.000	.2328483	.4726268	
obs_right	-.2162352	.076845	-2.81	0.005	-.3668487	-.0656217	
obs_left	-.4453286	.0872619	-5.10	0.000	-.6163588	-.2742984	
gender	.0560495	.0613837	0.91	0.361	-.0642604	.1763594	
dir	-.7582837	.0719356	-10.54	0.000	-.8992748	-.6172926	
Variance							
e.spatial	.1693689	.0414082			.1048884	.273489	
e.spatial_fronde	.2490322	.0397886			.1820776	.3406078	
e.s_as_b	.2979046	.0148674			.2701448	.3285169	
e.influence	.6440483	.0516127			.5504335	.7535846	

LR test of model vs. saturated: chi2(8) = 7.88, Prob > chi2 = 0.4448

Πίνακας 10: Εκτίμηση Παραμέτρων

Αναλυτικότερα:

- μεταβλητή influence

Μεταβλητή influence		
Μεταβλητές	Συντελεστής Επίδρασης	Στατιστική Σημαντικότητα
s_a-s_b	0.35	NAI
obs_rigt	-0.22	NAI
obs_left	-0.45	NAI
gender	0.056	OXI
dir	-0.76	NAI

Πίνακας 11: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής influence

Η διαφορά της ταχύτητας των δύο πεζών επηρεάζει θετικά την ελλειπτική ακτίνα επιρροής του εξεταζόμενου πεζού β. Συνεπώς η αύξηση της διαφοράς της ταχύτητας επιφέρει αύξηση των δύο μεγάλων ημιαξόνων. Όπως αναφέρεται στην περιγραφή των μεταβλητών, η αυξημένες τιμές τις μεταβλητής s_a-s_b οφείλονται σε αργό ή ακίνητο προσπερνούμενο πεζό β. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι ένας πεζός ο οποίος έχει μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτόν που επιδιώκει να προσπεράσει, εισέρχεται νωρίτερα σε τροχιά προσπέρασης και εξέρχεται από αυτήν αργότερα ενώ αν δύο πεζοί κινούνται με κοντινές ταχύτητες ο πεζός α θα προσεγγίσει τον πεζό β αρκετά μέχρι να τον προσπεράσει.

Η ύπαρξη εμποδίων παρουσιάζει μία αρνητική επιρροή στους δύο ημιάξονες της ελλειπτικής περιοχής διότι ο εξεταζόμενος πεζός α πρέπει να προσαρμόσει την κίνηση του σε μικρότερη περιοχή κίνησης. Το γεγονός ότι η ύπαρξη εμποδίου στα δεξιά επηρεάζει περισσότερο την περιοχή επιρροής από ότι στα αριστερά οφείλεται κυρίως στη γεωμετρία της περιοχής μελέτης. Σε κάθε περίπτωση όμως η ύπαρξη εμποδίου δημιουργεί μικρότερη ακτίνα επιρροής.

Όταν οι δύο εξεταζόμενοι πεζοί κινούνται προς τον ίδιο προορισμό παρατηρείται μία σημαντική μείωση της ελλειπτικής περιοχής επίδρασης του πεζού β. Συνεπώς όταν οι δύο πεζοί κινούνται αντίθετα έχουν και οι δύο την επιλογή προσπέρασης και προκειμένου να αποφευχθεί η σύγκρουση η προσπέραση πραγματοποιείται πιο νωρίς ενώ το πέρας της προσπέρασης έχει κι αυτό μεγαλύτερο ημιάξονα διότι στο επόμενο καρέ έχουν απομακρυνθεί ο ένας από τον άλλο. Αυτός είναι και ο λόγος που κατά την εκκένωση ενός κτιρίου επιδιώκεται η αποσυμφόρηση του

πλήθους προς ένα προορισμό προκειμένου να μην δημιουργούνται εμπλοκές και συγκρούσεις.

Ο παράγοντας φύλο δίνει στον άντρα εξεταζόμενο πεζό την τάση να προσπερνάει νωρίτερα από ότι οι γυναίκες τον εξεταζόμενο πεζό β αλλά η επίδραση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική οπότε δεν λαμβάνεται υπόψη στα αποτελέσματα της έρευνας.

- μεταβλητή **s_a-s_b**

Μεταβλητή s_a-s_b		
Μεταβλητές	Συντελεστής Επίδρασης	Στατιστική Σημαντικότητα
speed_a	0.72	NAI
obs_right	0.22	NAI
obs_left	0.14	NAI
comp	-0.10	NAI

Πίνακας 12: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής s_a-s_b

Η διαφορά ταχύτητας επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του πεζού α , ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα διότι η ταχύτητα του πεζού α συμβάλει στο μαθηματικό τύπο της μεταβλητής αυτής. Ακόμα η μεγάλη της επιρροή οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν παρατηρηθεί πολλές μηδενικές μετρήσεις του πεζού β.

Η ύπαρξη εμποδίων δεξιά ή αριστερά του εξεταζόμενου πεζού δείχνουν αύξηση της διαφοράς της ταχύτητας του. Αυτό συνεπάγεται δύο αποτελεσμάτων ή ότι ο πεζός επιταχύνει προκειμένου να μην στριμωχτεί και να προσπεράσει γρηγορότερα τον πεζό β ή ότι τα εμπόδια αυτά εμφανίζονται σε παρατηρήσεις όπου ο πεζός β έχει σταματήσει επίτηδες (λόγω εργασίας) προκειμένου να εμπλακούν με αυτόν οι πεζοί α.

Σημαντικότερο στατιστικό ενδιαφέρον στη παρούσα έρευνα παρουσιάζει η μεταβλητή comp. Η κίνηση σε ομάδα επιφέρει μείωση στη διαφορά ταχύτητας διότι ο εξεταζόμενος πεζός α προσαρμόζει την κίνηση του στην κίνηση των παρακείμενων πεζών του. Επειδή η διαφορά ταχύτητας επηρεάζει θετικά την ελλειπτική περιοχή επιρροής του πεζού β συμπεραίνεται ότι τα άτομα που κινούνται σε ομάδα προσεγγίζουν περισσότερο τον πεζό β πριν τον προσπεράσουν. Δηλαδή η ύπαρξη ομάδων κίνησης δημιουργεί μια ομαλότερη ροή πεζών με μικρότερες ακτίνες προσπεράσεως.

- μεταβλητή **spatial**

Μεταβλητή spatial		
Μεταβλητές	Συντελεστής Επίδρασης	Στατιστική Σημαντικότητα
s_a-s_b	0.30	NAI
influence	1.00	NAI

Πίνακας 13: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής **spatial**

Η διαφορά ταχύτητας επηρεάζει τον μεγάλο ημιάξονα κατά την αρχή της προσπέρασης θετικά και σε μεγάλο βαθμό και μονοσήμαντα. Αυτό αναφέρεται και στην παράγραφο που αναλύονται τα αποτελέσματα της μεταβλητής **influence**. Συγκεκριμένα η μεγάλη διαφορά ταχύτητας επηρεάζει περισσότερο την αρχή της προσπέρασης καθώς ο πεζός α επιδιώκει να αλλάξει τροχιά γρηγορότερα καθώς και να εισέλθει ξανά στην κανονική τροχιά του προορισμού του πιο άμεσα. Αυτός είναι και η αιτία που η διαφορά ταχύτητας επηρεάζει περισσότερο τον μεγάλο ημιάξονα της έλλειψης πριν τη προσπέραση και λιγότερο τον μετά.

Οι υπόλοιπες μεταβλητές δηλαδή η ύπαρξη εμποδίων δεξιά ή αριστερά , το φύλο και η κατεύθυνση έχουν την επίδραση που αναφέρεται στη παράγραφο της ανάλυσης των αποτελεσμάτων της μεταβλητής **influence**.

- μεταβλητή **spatial_fron**

Μεταβλητή spatial_fron		
Μεταβλητές	Συντελεστής Επίδρασης	Στατιστική Σημαντικότητα
obs_left	-0.22	NAI
influence	0.97	NAI

Πίνακας 14: Αποτελέσματα SEM μεταβλητής **spatial_fron**

Η γεωμετρία της περιοχής μελέτης έχει επιλεγθεί έτσι ώστε να μην επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την διαδικασία της προσπέρασης. Η ύπαρξη εμποδίου στα αριστερά του εξεταζόμενου πεζού κατά την προσπέραση δηλώνει μία μείωση του μεγάλου ημιάξονα της έλλειψης κατά το πέρας της προσπέρασης. Το ίδιο και σε μικρότερο

βαθμό συμβαίνει και με την ύπαρξη εμποδίου στα δεξιά. Γενικότερα όταν ο πεζός περιορίζεται στην κίνηση του επιδιώκει να ολοκληρώσει συντομότερα την τροχιά προσπέρασης και να επανέλθει στην φυσιολογική του πορεία. Βάσει αυτού και γνωρίζονται ότι οι μικρότερες ακτίνες επιρροής των πεζών β δημιουργούν ευνοϊκότερες συνθήκες ροής πεζών η ύπαρξη εμποδίων δημιουργεί και καλύτερες συνθήκες κατά την εκκένωση ενός κτιρίου σε περίπτωση κινδύνου.

Οι υπόλοιπες μεταβλητές συμβάλουν στην μεταβλητή *spatial_fron*d όπως ακριβώς αναφέρονται παραπάνω με μία ελάχιστη μείωση της επιρροής κατά 3%. Συνεπώς η διαφορά ταχύτητας η ύπαρξη εμποδίων και η κατεύθυνση επηρεάζουν το ίδιο και τους δύο μεγάλους ημιάξονες με λίγο μεγαλύτερη επιρροή στον ημιάξονα κατά την αρχή της προσπέρασης.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η παρουσίαση των συμπερασμάτων της παρούσας έρευνας όπως αυτά εξάγονται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον αναλύεται πως αυτά τα αποτελέσματα συμβάλουν στην διεκπεραίωση του σκοπού της έρευνας, πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μακροσκοπικές και μικροσκοπικές κυκλοφοριακές αναλύσεις καθώς και παραθέτονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

5.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ελλειπτική περιοχή επιρροής ενός πεζού κατά την διαδικασία της προσπέρασης. Όπως έδειξαν οι μετρήσεις κατά την διαδικασία εκπόνησης του πειράματος η περιοχή αυτή δεν είναι συμμετρική, δηλαδή ο πεζός εισέρχεται σε τροχιά προσπέρασης με διαφορετικό χωρικό διαχωρισμό από ότι εισέρχεται στην κανονική του πορεία έπειτα το πέρας της προσπέρασης.

Αναλυτικότερα, η μέση τιμή του μεγάλου ημιάξονα της έλλειψης κατά την έναρξη της προσπέρασης εκτιμήθηκε 2.15 μέτρα και η αντίστοιχη του τιμή κατά το πέρας της προσπέρασης 1.50 μέτρα. Σύμφωνα με τον τύπο της έλλειψης μη παράλληλης στους άξονες

$$\frac{((y-y_c)-s(x-x_c))^2}{m^2(1+s^2)} + \frac{(s(y-y_c)+(x-x_c))^2}{M^2(1+s^2)} = 1 \quad (18)$$

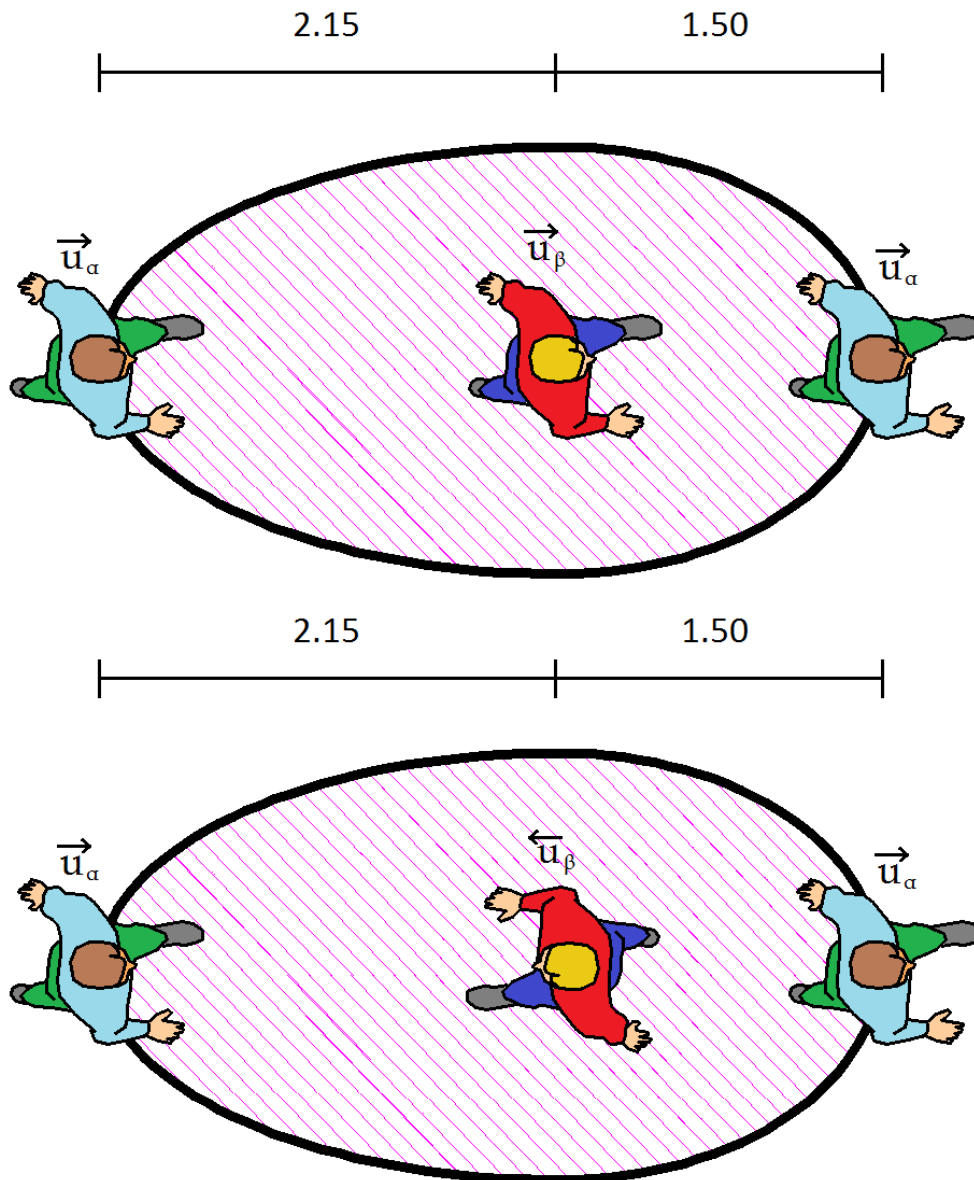
Όπου:

(x_c, y_c) οι συντεταγμένες του κέντρου της έλλειψης

m, M ο μικρός και ο μεγάλος ημιάξονας αντίστοιχα

s η κλίση του μεγάλου ημιάξονα από τον άξονα των x

μορφώνεται η ελλειπτική περιοχή επιρροής. Η ελλειπτική αυτή περιοχή αποτελείται από τις δύο ελλείψεις και παρουσιάζεται καλύτερα στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Επιφάνεια Επιρροής

Όσο μικρότερη είναι η περιοχή επιρροής τόσο ομαλότερη είναι η ροή πεζών διότι προσπεράσεις που απαιτούν λιγότερο χώρο για να πραγματοποιηθούν ελαχιστοποιούν την πιθανότητα εμφάνισης εμπλοκών μεταξύ των πεζών. Συνεπώς σύμφωνα με τα

αποτελέσματα που αναλύονται στο τέταρτο κεφάλαιο παρέχονται γενικότερα συμπεράσματα για τις ροές πεζών.

5.2 Βασικά Συμπεράσματα

Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την περιοχή επιρροής ενός πεζού κατά την προσπέραση είναι η διαφορά της ταχύτητας των δύο πεζών , η κατεύθυνση τους , το αν κινούνται μόνοι ή σε ομάδα κίνησης καθώς και η ύπαρξη εμποδίων δεξιά ή αριστερά τους. Αντίθετα στην παρούσα έρευνα παρατηρήθηκε ότι το φύλο έχει πολύ μικρή επιρροή στον τρόπο που θα πραγματοποιηθεί η προσπέραση. .

Η ταχύτητα των πεζών είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας επίδρασης της ελλειπτικής περιοχής επιρροής. Συγκεκριμένα , επειδή η έρευνα βασίζεται σε πραγματικές μετρήσεις και όχι σε στοιχεία προσομοίωσης παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα με τους χωρικούς διαχωρισμούς δεν παρουσιάζει γραμμική συσχέτιση γεγονός που επιτάσσει την χρήση άλλων στατιστικών τεχνικών για την εκτίμηση της μεταξύ τους σχέσης. Η αύξηση της διαφοράς της ταχύτητας επιφέρει αύξηση και στην περιοχή επιρροής του πεζού. Συνεπώς σε μακροσκοπικό επίπεδο σε ένα χώρο κίνησης πεζών με μεγάλη διαφορά στην ταχύτητα τους παρατηρείται μη ομαλή ροή πεζών καθώς οι τροχιές τους είναι σε μεγαλύτερο βαθμό εμπλεκόμενες. Η διατήρηση της διαφοράς της ταχύτητας επιφέρει πιο ασφαλείς προσπεράσεις καθώς ο πεζός θα κινείται για περισσότερο στην κανονική τροχιά του προορισμού και η τροχιά προσπέρασης θα έχει μικρότερο μήκος.

Η ύπαρξη εμποδίων εκατέρωθεν του πεζού λειτουργεί αποκρουστικά στην περιοχή επιρροής κατά την προσπέραση. Η συγκοινωνιακή σημασία αυτού τόσο σε μικροσκοπικό όσο και μακροσκοπικό επίπεδο είναι ότι οι πεζοί στους οποίους οριοθετείται η τροχιά τους κινούνται πιο ομαλά. Η ύπαρξη εμποδίου μπορεί να μειώσει έως και κατά 50% την ελλειπτική περιοχή επιρροής συνεπώς κατά τον σχεδιασμό χώρων που πραγματοποιούνται κινήσεις πεζών (στάδια , εμπορικά κέντρα , σταθμοί μετρό) η οριοθέτηση της κίνησης μπορεί να επιφέρει σημαντική βελτίωση στην ασφάλεια και σωστή λειτουργία του χώρου.

Τα άτομα που κινούνται προς τον ίδιο προορισμό παρουσιάζουν μικρότερη περιοχή επιρροής έως και 76% .Όπως αναφέρεται σε προηγούμενα κεφάλαια τα μεγαλύτερα ατυχήματα που έχουν σημειωθεί στη βιβλιογραφία οφείλονται είτε σε μη σωστή αποσυμφόρηση της κινούμενης μάζας των πεζών ή σε ακανόνιστες τροχιές και κατευθύνσεις σε περιπτώσεις πανικού. Ο βαθμός της μείωσης της ελλειπτικής περιοχής επιρροής από την κίνηση προς τον ίδιο προορισμό είναι μεγάλος και συνεπώς η διάθεση του πλήθους προς έναν προορισμό συμβάλει καθοριστικά στην ομαλότερη ροή του.

Τέλος, η κίνηση των πεζών σε ομάδες επιφέρει και αυτή μείωση στους μεγάλους ημιάξονες της ελλειπτικής περιοχής επιρροής. Στο παρόν πείραμα παρατηρήθηκαν ομάδες πεζών που προσπερνάνε έναν μεμονωμένο πεζό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κινούμενοι σε ομάδα πεζοί δυσκολότερα θα αλλάξουν πορεία για να προσπεράσουν και θα προσεγγίσουν τον εξεταζόμενο πεζό β όσο το δυνατό περισσότερο. Ακόμα η κίνηση σε ομάδες σημειώνει σημαντική μείωση και στην διαφορά ταχύτητας παράγοντας που ευνοεί και αυτός την ομαλότερη ροή πεζών.



Εικόνα 22: Οριοθετημένη ροή πεζών προς μία κατεύθυνση

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η κίνηση των πεζών είναι αναμφίβολα ένα φαινόμενο δύσκολο ως προς την μελέτη του και αυτό διότι η ταχύτητα, η κατεύθυνση και ο προορισμός τους δεν μπορούν να καθοριστούν από τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας και από την γεωμετρία της οδού όπως συμβαίνει με τα οχήματα. Ο μεγάλος βαθμός ελευθερίας καθώς και ο ανθρώπινος παράγοντας που χαρακτηρίζουν την κίνηση τους συντελούν στο να δυσχεραίνεται η μελέτη των παραπάνω κυκλοφοριακών μεγεθών. Παρόλα αυτά στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό η μοντελοποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς κατά την διαδικασία της προσπέρασης. Υπάρχουν όμως

παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω προκειμένου να βελτιωθούν τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα καθώς και να προσομοιαστεί καλύτερα η κίνηση των πεζών.

Συγκεκριμένα, το παρόν πείραμα αφορά παρατηρήσεις που σημειώθηκαν κατά την κίνηση πεζών έξω από το σταθμό του μετρό Κατεχάκη. Κατά την διαδικασία της δημιουργίας της βάσης δεδομένων παρατηρήθηκαν πεζοί οι οποίοι κινούνταν με την ελεύθερη τους ταχύτητα καθώς η προσπέραση σημειωνόταν την στιγμή που άλλαζαν τροχιά από αυτήν που θα είχαν αν δεν υπήρχε ο παρατηρούμενος πεζός β. Η κίνηση των πεζών αυτών σημειώνεται σε πολύ μικρές τιμές πυκνότητας (τόσο τοπικής όσο και της συνολικής περιοχής). Τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από μετρήσεις σε μεγάλες πυκνότητες θα είναι πιο αντιπροσωπευτικά για να μελετηθούν φαινόμενα αποσυμφόρησης και εκκένωσης.

Ένας ακόμη παράγοντας που δεν έχει ληφθεί υπόψη στο παρόν πείραμα είναι ότι σε μικροσκοπικό επίπεδο η συμπεριφορά των πεζών ποικίλει από λεπτό σε λεπτό μέσα στην διάρκεια της ημέρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την χρονική διάρκεια που παρατηρείται η αιχμή του φόρτου των πεζών, αλλά η συμπεριφορά τους μπορεί να επηρεαστεί και από γεγονότα που συμβαίνουν και σε ώρες μη αιχμής. Συνεπώς μετρήσεις καθόλη τη διάρκεια της ημέρας θα εξάγουν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

Τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα στηρίζονται στη προσομοίωση ενώ η παρούσα έρευνα σε πραγματικές μετρήσεις. Συνεπώς πρέπει να πραγματοποιηθεί έρευνα που συνδέει τις δύο μεθόδους και επισημαίνει λάθη και παραλήψεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την συσχέτιση τους όπως για παράδειγμα το παρόν πείραμα να πραγματοποιηθεί και σε περιβάλλον προσομοίωσης.

Η διάταξη του χώρου είναι και αυτή πολύ σημαντική για την μελέτη της δυναμικής του πλήθους. Πειράματα που θα πραγματοποιηθούν σε κλειστούς χώρους μετρό, στάδια και εμπορικά κέντρα θα προσφέρουν αποτελέσματα και για την ασφαλή κατασκευή χώρων.

Τέλος δεδομένου ότι η συμπεριφορά των πεζών επηρεάζεται από κοινωνικούς και ψυχολογικούς παράγοντες οι οποίοι μπορούν να παρατηρηθούν στα πλαίσια μιας έρευνας όπως η ηλικία, η καταγωγή, το κοινωνικό υπόβαθρο καθώς και άλλα συμπεραίνουμε ότι η βέλτιστη μοντελοποίηση της κίνησης του πεζού θα προκύψει έπειτα από την συμβολή και αυτών των παραγόντων στο μοντέλο.