



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Προσδιορισμός της περιοχής επιρροής οχήματος κατά την
κυκλοφορία του σε αστικά δίκτυα με χρήση δεδομένων υψηλής
ευκρίνειας

ΑΣΙΜΟΜΗΤΗ ΜΑΡΙΑ-ΕΙΡΗΝΗ

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας αυτή την εργασία, κλείνει και ο κύκλος φοίτησης μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Ένας κύκλος σημαντικός όχι μόνο για την εκπαίδευση πάνω στο ευρύ αυτό αντικείμενο, αλλά πάνω απ' όλα για τις αμέτρητες εμπειρίες και τα μαθήματα ζωής που μου προσέφερε.

Θέλω αρχικά να ευχαριστήσω την κ. Ελένη Βλαχογιάννη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., που από την πρώτη στιγμή πίστεψε σε εμένα και με εμπιστεύτηκε για την εκπόνηση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος. Καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής με καθοδηγούσε κατάλληλα, με ενθάρρυνε, με βοηθούσε και με υποστήριζε, δημιουργώντας, έτσι, μία εξαιρετική συνεργασία μεταξύ μας.

Στη συνέχεια, θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στη Φωτεινή Ορφανού, Υποψήφια Διδάκτορα του Ε.Μ.Π. για την πολύτιμη βοήθειά και υποστήριξή της, τις παραγωγικές υποδείξεις και ιδέες της, καθώς και για το χρόνο που διέθεσε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κοντινούς μου ανθρώπους και πιο συγκεκριμένα τους γονείς μου, που είναι πάντα δίπλα μου, τις φίλες μου, που με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα, την Εύη, που ήταν στο πλευρό μου από το πρώτο εξάμηνο της σχολής, το Νίκο, που πίστευε σε εμένα ακόμη και όταν εγώ δεν πίστευα στον εαυτό μου και πάνω από όλους τον αδερφό μου, Γιώργο, που είναι ο μεγαλύτερος υποστηρικτής μου.

Μαρία Ειρήνη Ασιμομήτη

Αθήνα, Μάρτιος 2021

ΣΥΝΟΨΗ

Σε ένα περιβάλλον συνεργατικών οχημάτων, κάθε όχημα (αποστολέας) ανταλλάσσει μηνύματα με τα γειτονικά του οχήματα (παραλήπτες) εντός του εύρους μετάδοσης του ασύρματου (κυκλοφοριακού) δικτύου. Η περιοχή που περιλαμβάνει όλα τα οχήματα, που επηρεάζουν το ένα το άλλο, ονομάζεται περιοχή επιρροής του αποστολέα (εξεταζόμενο όχημα) και αναφέρεται στην χωρική οριοθέτηση του εξωτερικού του περιβάλλοντος. Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της περιοχής επιρροής ενός οχήματος κάτω από διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες και για ποικίλους τύπους οχημάτων κάνοντας χρήση των αρχών της θεωρίας της πληροφόρησης και δεδομένων, που συλλέχθηκαν από Μη Επανδρωμένα Εναέρια Συστήματα στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας κατά τη διάρκεια πρωινών ωρών αιχμής (πNEUMA dataset) [1]. Για τον προσδιορισμό της περιοχής μελέτης, υπολογίστηκε η αμοιβαία πληροφόρηση μεταξύ δύο οχημάτων, λαμβάνοντας ως τυχαίες μεταβλητές τις ταχύτητές τους. Για τέσσερις σταθερές χρονικές περιόδους υπολογίστηκε ο μέσος όρος της αμοιβαίας πληροφόρησης μεταξύ του εξεταζόμενου οχήματος και των γειτόνων του για 20 διαφορετικές ακτίνες. Ως ακτίνα της κρίσιμης περιοχής επιρροής θεωρήθηκε αυτή για την οποία ο μέσος όρος της αμοιβαίας πληροφόρησης μεταξύ του οχήματος και των γειτόνων του αγγίζει την ελάχιστη τιμή του. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η πυκνότητα του οδικού δικτύου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αξιόπιστη εκτίμηση της περιοχής επιρροής του οχήματος: όσο μεγαλύτερη η πυκνότητα, τόσο μικρότερη η περιοχή επιρροής ειδικά στις περιπτώσεις των δίκυκλων, των επιβατικών οχημάτων των ταξί και των ημιφορτηγών. Από την άλλη πλευρά, η περιοχή επιρροής των φορτηγών και των λεωφορείων φαίνεται να είναι ελαφρώς συσχετισμένη με την κυκλοφοριακή πυκνότητα.

Λέξεις κλειδιά: συνεργατικά οχήματα, περιοχή επιρροής, αμοιβαία πληροφόρηση

ABSTRACT

Under the Cooperative Vehicles environment, each vehicle (sender) exchanges messages with its surrounding vehicles (receivers) within the transmission range of the wireless (vehicular) network. The area including all vehicles influencing each other is called influence area of the sender (ego – vehicle) and it refers to the spatial demarcation of its external environment. We aim to estimate a vehicle's influence area under different traffic conditions and for various vehicle types using the principles of information theory and data, coming from Unmanned Aerial Systems (UAS), collected in the area of the center of Athens during morning peak hours (π NEUMA dataset) [1]. For the estimation of the influence area, the mutual information between two vehicles was computed, considering their velocities as random variables. For four consecutive time periods the average mutual information between the ego vehicle and its neighbours is computed for 20 different radius values. The critical influence area is selected as the one that corresponds to the minimum of the average mutual information between the vehicle and its neighbours when studied with respect to the radius. The results indicated that road density is a critical determinant for the reliable estimation of the area of influence of the vehicle; the higher the density, the smaller the area of influence especially in the cases of power-two wheelers, private passenger cars, taxis and vans. On the other hand, the influence area of trucks and buses seems to be independent of the prevailing road density conditions.

Keywords: cooperative vehicles, influence area, mutual information

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεργατικότητα και η συνδεσιμότητα μεταξύ οχημάτων βασίζεται στην αποτελεσματική μετάδοση πληροφοριών συνδεδεμένων με τα κινηματικά τους χαρακτηριστικά, τις κυκλοφοριακές συνθήκες ή με κάποιο τυχαίο περιστατικό [2], [3]. Στους δρόμους του (κοντινού) μέλλοντος, κάθε όχημα (αποστολέας) ανταλλάσσει μηνύματα με τα γειτονικά του οχήματα (παραλήπτες) εντός του εύρους μετάδοσης του ασύρματου δικτύου οχημάτων. Ο αριθμός των οχημάτων εντός του εύρους μετάδοσης, των οποίων η συμπεριφορά αξίζει να υιοθετηθεί και βασίζεται στην πληροφορία που λαμβάνουν, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θέση τους και τα κινηματικά τους χαρακτηριστικά (π.χ. ταχύτητα). Η περιοχή που περιλαμβάνει όλα τα οχήματα, που επηρεάζουν το ένα το άλλο, ονομάζεται περιοχή επιρροής του αποστολέα (εξεταζόμενο όχημα) και αναφέρεται στην χωρική οριοθέτηση του εξωτερικού του περιβάλλοντος. Το εύρος μετάδοσης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την περιοχή επιρροής για να εξασφαλιστεί η μετάδοση του μηνύματος στα τριγύρω οχήματα που επηρεάζονται.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθεί η περιοχή επιρροής ενός οχήματος με χρήση των αρχών της θεωρίας της πληροφορίας κάτω από διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες για διάφορους τύπους οχημάτων (μοτοσυκλέτες, επιβατικά αυτοκίνητα, ταξί, ημιφορτηγό, φορτηγό και λεωφορείο). Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ένα πείραμα, πρώτο στο είδος του, το οποίο φέρει το όνομα πΝΕΥΜΑ [1]. Συγκεκριμένα, ένας στόλος από δέκα (10) Μη Επανδρωμένα Εναέρια συστήματα, ή αλλιώς drones κατέγραφαν την κυκλοφορία από καθορισμένα σημεία στο κέντρο της Αθήνας κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών. Τα δεδομένα που λήφθηκαν υπόψιν στη συγκεκριμένη εργασία προέρχονται από μία συγκεκριμένη τοποθεσία και αφορούσαν 400 οχήματα και 1229 χρονικές στιγμές, 0.8 δευτερολέπτων η κάθε μία.

Ο υπολογισμός της περιοχής επιρροής ενός οχήματος πραγματοποιήθηκε εξετάζοντας τέσσερεις χρονικές περιόδους διάρκειας 10.4 δευτερολέπτων. Για αυτά τα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, υπολογίστηκε για κάθε όχημα-αποστολέα η αμοιβαία πληροφόρησή του με κάθε ένα από τα υπόλοιπα οχήματα που βρίσκονταν εντός της εξεταζόμενης περιοχής. Αναλύθηκαν 20 διαφορετικές ακτίνες, εύρους από 10 έως 200 μέτρα, με βήμα 10 μέτρων. Ως τυχαίες μεταβλητές για την εφαρμογή της αμοιβαίας πληροφόρησης

θεωρήθηκαν οι ταχύτητες των υπό μελέτη οχημάτων, έτσι ποσοτικοποιήθηκε η επιρροή του εξεταζόμενου οχήματος από το γειτονικό του και αντίστροφα. Ως κρίσιμη ακτίνα της περιοχής επιρροής ενός οχήματος θεωρήθηκε η ακτίνα για την οποία ο μέσος όρος της αμοιβαίας πληροφόρησής του με τα γειτονικά μηχανοκίνητα έπαιρνε την ελάχιστη τιμή του.

Τα αποτελέσματα αναλύονται με βάση τον τύπο του οχήματος και την πυκνότητα του οδικού δικτύου, προκειμένου να εντοπιστεί τυχόν συσχέτιση των κυκλοφοριακών συνθηκών με την περιοχή επιρροής ενός οχήματος. Από την περαιτέρω ανάλυση των στοιχείων για την περιοχή επιρροής προκύπτει ότι η πυκνότητα του οδικού δικτύου αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα, ικανό να καθορίσει ικανοποιητικά την κρίσιμη ακτίνα επιρροής. Συγκεκριμένα, σχετικά με τις μοτοσυκλέτες, τα επιβατικά αυτοκίνητα τα ταξί και τα ημιφορτηγά, μεγάλη πυκνότητα σημαίνει κατά κύριο λόγο μικρή ακτίνα επιρροής και το αντίστροφο. Από την άλλη πλευρά, τα φορτηγά και τα λεωφορεία μοιάζει να είναι ανεξάρτητα της πυκνότητας. Επιπροσθέτως, σχεδιάζονται οι λογαριθμικές ή εκθετικές εξισώσεις βάσει των αποτελεσμάτων για κάθε τύπο οχήματος. Έτσι, προκύπτει από το συντελεστή προσδιορισμού ότι οι εξισώσεις περιγράφουν καλύτερα τις μοτοσυκλέτες, τα επιβατικά αυτοκίνητα, τα ταξί και τα ημιφορτηγά.

Συμπερασματικά, η επιλογή της ταχύτητας ως τυχαίας μεταβλητής δίνει στις περισσότερες περιπτώσεις ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον υπολογισμό της περιοχής επιρροής. Επιπλέον συνάγεται ότι η πυκνότητα αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της ακτίνας της περιοχής επιρροής αντιμετωπίζοντας όλους τους τύπους οχημάτων ως σύνολο. Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τα αυτοκίνητα, τις μοτοσυκλέτες και τα ημιφορτηγά, προκειμένου να εξυπηρετήσουν το σκοπό για τον οποίο υπολογίστηκαν, δηλαδή την εκτίμηση του εύρους ασύρματου δικτύου ενός αυτόνομου οχήματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Γενικά	1
1.2	Περιοχή Επιρροής	2
1.3	Σκοπός διπλωματικής εργασίας	3
1.4	Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας	4
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	7
2.1	Εισαγωγή.....	7
2.2	Ανάλυση βιβλιογραφίας	7
2.2.1	Σχέση οχήματος με το περιβάλλον του	7
2.2.2	Η αμοιβαία πληροφόρηση στον τομέα των μεταφορών.....	10
2.3	Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας.....	11
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	14
3.1	Εισαγωγή.....	14
3.2	Σύντομη Μεθοδολογική Προσέγγιση	14
3.3	Θεωρητικό Υπόβαθρο	16
3.3.1	Θεωρία της πληροφόρησης.....	16
3.3.2	Εντροπία Shannon	17
3.3.3	Αμοιβαία πληροφόρηση.....	18
4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	27
4.1	Εισαγωγή.....	27
4.2	Περιγραφή πειράματος	27
4.2.1	Προσαρμογή των δεδομένων.....	27
4.2.2	Δημιουργία πίνακα «επαφής»	27
4.2.3	Συμπληρωματικοί πίνακες.....	29
4.2.4	Υπολογισμός της αμοιβαίας πληροφόρησης	30
4.3	Υπολογισμός κρίσιμης ακτίνας επιρροής	30
4.4	Βάση δεδομένων.....	31
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	33
5.1	Εισαγωγή.....	33
5.2	Γενική ανάλυση	33
5.3	Ανάλυση για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους	35
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	46

6.1	Εισαγωγή.....	46
6.2	Βασικά Συμπεράσματα	46
6.3	Προτάσεις περαιτέρω έρευνας.....	48
6.3.1	Περιοχή επιρροής με θεωρία της πληροφόρησης.....	48
6.3.2	Περιοχή επιρροής συγκριτικά με άλλους παράγοντες	48
6.3.3	Προσομοίωση κυκλοφορίας και ευφυή συστήματα.....	49
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1. Βάση Δεδομένων νο.1</i>	<i>30</i>
<i>Πίνακας 2. Βάση Δεδομένων για τη δεύτερη χρονική στιγμή</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας 3. Τμήμα αποτελεσμάτων ανάλυσης της περιοχής επιρροής</i>	<i>40</i>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1. Παράδειγμα-Περιοχή επιρροής κόκκινου οχήματος</i>	<i>3</i>
<i>Εικόνα 2. Νέο μοντέλο ακολουθούντος οχήματος (Πηγή: [13]).....</i>	<i>8</i>
<i>Εικόνα 3. Μοντέλο ακολουθούντος οχήματος (Πηγή: [14])</i>	<i>9</i>
<i>Εικόνα 4. Μεθοδολογική Προσέγγιση της κατασκευής του διανύσματος κατάστασης κίνησης με στόχο την βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής (Πηγή: [19]).....</i>	<i>10</i>
<i>Εικόνα 5. Βήματα που ακολουθήθηκαν για τον τελικό διαχωρισμό των οχημάτων (Πηγή: [20])</i>	<i>11</i>
<i>Εικόνα 6. Η σχέση της θεωρίας της πληροφόρησης με τις υπόλοιπες επιστήμες (Πηγή: [21])</i>	<i>16</i>
<i>Εικόνα 7. Επιλογή $e(i)$, $n_x(i)$ και $n_y(i)$ με βάση τον πρώτο αλγόριθμο για $k=1$ για το στοιχείο i (Πηγή: [26])</i>	<i>25</i>
<i>Εικόνα 8. Επιλογή $e_x(i)$, $e_y(i)$, $n_x(i)$ και $n_y(i)$ με βάση το δεύτερο αλγόριθμο για $k=2$ (Πηγή: [26])</i>	<i>26</i>
<i>Εικόνα 9. Περιοχή επιρροής- Ακτίνα.....</i>	<i>28</i>
<i>Εικόνα 10. Απόσταση μεταξύ δύο οχημάτων με εφαρμογή του Πυθαγόρειου Θεωρήματος</i>	<i>29</i>
<i>Εικόνα 11. Περιοχή του κέντρου της Αθήνας (Πηγή: [1]).....</i>	<i>31</i>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Μεθοδολογική προσέγγιση	15
Διάγραμμα 2. Εντροπία Shannon για μια τυχαία δυαδική μεταβλητή (Πηγή: [23]).....	18
Διάγραμμα 3. Venn Εντροπίας.....	19
Διάγραμμα 4. Παράδειγμα αλγορίθμου k-πλησιέστερων γειτόνων (Πηγή: [27])	23
Διάγραμμα 5. Χάρτης θερμότητας του αυτοκινήτου 779 για όλη τη διάρκεια παρουσίας του	34
Διάγραμμα 6. «Neighbours» Αυτοκίνητο 62, περίοδος 1	36
Διάγραμμα 7. Θηκόγραμμα για το Αυτοκίνητο 62, περίοδος 1	37
Διάγραμμα 8. «Μέσης Τιμής» Αυτοκίνητο 62, περίοδος 1	37
Διάγραμμα 9. «Neighbours» Μοτοσυκλέτα 225, περίοδος 4	38
Διάγραμμα 10. Θηκόγραμμα για τη Μοτοσυκλέτα 225, περίοδος 4	38
Διάγραμμα 11 «Μέσης Τιμής» Μοτοσυκλέτα 225, περίοδος 4	39
Διάγραμμα 12. Μοτοσυκλέτα/Powered two Wheeler	41
Διάγραμμα 13. Αυτοκίνητο/Car	41
Διάγραμμα 14. Ταξί/Taxi	41
Διάγραμμα 15. Ημιφορτηγό/Van.....	42
Διάγραμμα 16. Φορτηγό/Truck	42
Διάγραμμα 17. Λεωφορείο/Bus	42
Διάγραμμα 18. Λογαριθμικές εξισώσεις ταξί, αυτοκινήτων και μοτοσυκλετών	43
Διάγραμμα 19. Λογαριθμικές και εκθετικές εξισώσεις ημιφορτηγών, φορτηγών και λεωφορείων.....	44
Διάγραμμα 20. Λογαριθμικές και εκθετικές εξισώσεις συνόλων οχημάτων.....	44

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το αυτοκίνητο αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας του ανθρώπου. Βάσει ερευνών ο άνθρωπος περνά μέσα στο δρόμο, είτε οδηγώντας το αμάξι του, είτε χρησιμοποιώντας τα μέσα μαζικής μεταφοράς, περίπου το 6% της ημέρας του [4]. Ο συνεχώς αυξανόμενος, αυτός, αριθμός των οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δυσχέραση των οδικών συνθηκών και κατ' επέκταση της ζωής των πολιτών.

Επιπροσθέτως, η αυξημένη χρήση των οχημάτων έχει συντελέσει στην εμφάνιση ανοδικού αριθμού ατυχημάτων, τραυματισμών και οικονομικών απωλειών. Στο 95% των περιπτώσεων δευτερεύοντα ή πρωταρχικό ρόλο παίζει ο ανθρώπινος παράγοντας [5].

Η επιστήμη, με στόχο πάντα την ασφάλεια και βελτίωση της οδηγικής εμπειρίας του ανθρώπου, αναλύει το μηχανισμό των κυκλοφοριακών συνθηκών. Ένας ακόμη καταλυτικός παράγοντας, που καθιστά απαραίτητη την εκτενέστερη διερεύνηση αυτών, είναι η ένταξη των έξυπνων συστημάτων μεταφοράς, των πιλοτικών συστημάτων καθοδήγησης πληροφοριών, των έξυπνων αυτόνομων συστημάτων καθοδήγησης και των αυτόνομων οχημάτων στη ζωή των ανθρώπων.

Αναλυτικότερα, στα οδικά δίκτυα του μέλλοντος, τα αυτόνομα οχήματα επικοινωνούν και συνεργάζονται μεταξύ τους με στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας και τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Δημιουργείται ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας οχημάτων με στόχο την ανταλλαγή μηνυμάτων και τη μετάδοση πληροφοριών που αφορούν τα κινηματικά τους χαρακτηριστικά, τις συνθήκες της κυκλοφορίας (πχ. συμφόρηση) ή ακόμη και κάποιο τυχαίο περιστατικό (πχ. τρακάρισμα). Συνεπώς, ένα από τα προβλήματα, που απασχολεί τη μηχανική των μεταφορών, είναι η εκτίμηση του εύρους αυτού του δικτύου.

Προκειμένου, όμως, να καταλήξει κανείς σε μία απάντηση στο ερώτημα αυτό, το οποίο κατά κοινή ομολογία μπορεί να προσεγγιστεί με ποικίλους τρόπους, είναι πολλά τα μεγέθη και οι παράγοντες που χρειάζεται να αναλογιστεί και να συμπεριλάβει στην εξίσωσή του, ένα εκ των σημαντικότερων είναι η ακτίνα επιρροής του οχήματος.

Για την ακτίνα επιρροής δεν έχει δοθεί ακόμη κάποια ξεκάθαρη απάντηση. Οι περισσότερες δημοσιευμένες εργασίες βασίζονται στα λεγόμενα “car following models”, τα οποία συνήθως περιορίζονται στην έρευνα δύο ή τριών οχημάτων, μπροστά ή πίσω από το εξεταζόμενο όχημα.

1.2 Περιοχή Επιρροής

Ο όρος «περιοχή επιρροής» αναφέρεται, όπως προκύπτει και από το όνομά του, στα μηχανοκίνητα πάσης φύσης, τα οποία κινούμενα σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του οδικού δικτύου τείνουν να επηρεάσουν τις αποφάσεις του οδηγού ενός εξεταζόμενου οχήματος.

Για να γίνει πιο κατανοητός ο όρος αυτός, χρειάζεται να φανταστεί κανείς τις αληθινές συνθήκες οδήγησης. Με μια πρώτη σκέψη θα μπορούσε να ειπωθεί ότι χαρακτηριστικά όπως ταχύτητα, επιτάχυνση και επιβράδυνση επηρεάζονται μόνο από το μπροστινό και το πίσω όχημα, ενώ σε δεύτερη ματιά, και από τα οχήματα δεξιά και αριστερά του εξεταζόμενου. Παρατηρώντας, παρ’ όλα αυτά πιο προσεκτικά, συμπεραίνεται ότι πολλές φορές αυτοκίνητα, που βρίσκονται αρκετά μέτρα μακριά, μπορούν να έχουν άμεση σχέση με το υπό μελέτη όχημα.

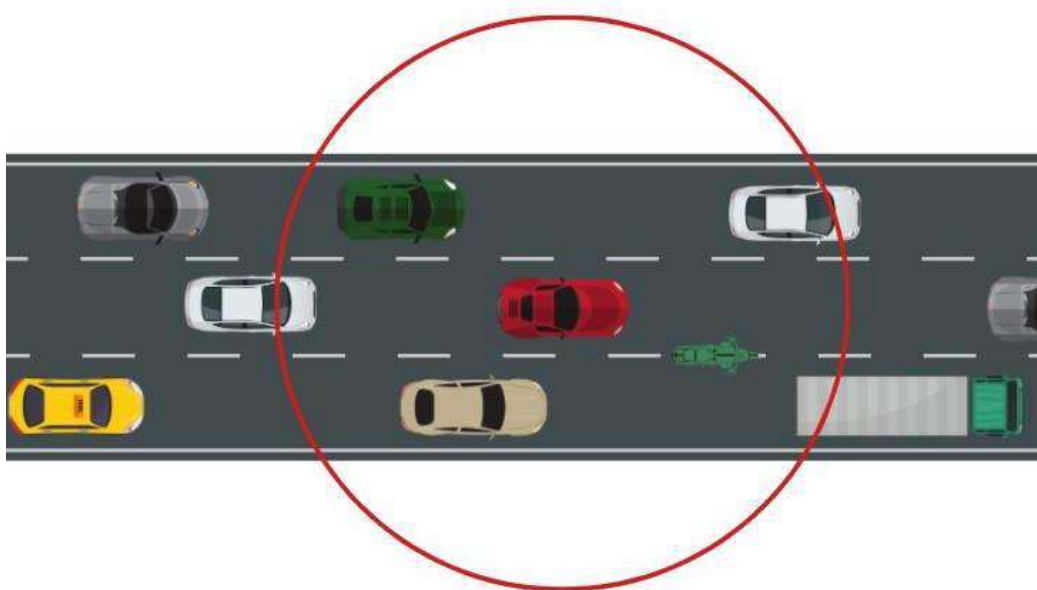
Μία κύρια αιτία είναι η αλυσιδωτή σχέση που υπάρχει μεταξύ των μηχανοκίνητων που κινούνται σε κοινή οδική αρτηρία. Αυτό σημαίνει ότι το μπροστινό γειτονικό όχημα θα επηρεαστεί άμεσα από το δικό του μπροστινό και ούτω καθεξής, έως ότου εκείνο που αναλύεται να μην έχει πλέον καμία σχέση με τα υπόλοιπα, που προπορεύονται αυτού.

Η παραπάνω θεωρία είναι, όμως, αληθής όχι μόνο για την αλυσιδωτή σχέση που υπάρχει μεταξύ των οχημάτων, αλλά και για το ακόλουθο παράδειγμα. Έστω ένα αυτοκίνητο σε ένα αστικό οδικό δίκτυο, που προχωράει με μία ταχύτητα κοντά στα 60 km/h. Ξαφνικά εντοπίζεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού ένα έτερο αυτοκίνητο με ταχύτητα διπλάσια της δικής του. Ενστικτωδώς ο οδηγός στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων θα προσαρμόσει την κίνηση του είτε αλλάζοντας λωρίδα, είτε επιταχύνοντας, είτε ακόμη επιβραδύνοντας φοβούμενος ενδεχόμενη σύγκρουση.

Ερχόμενοι, λοιπόν, στην αρχή θα μπορούσε να επαναδιατυπώσει κανείς τον ορισμό ως εξής:

Η περιοχή επιρροής ενός οχήματος αναφέρεται στη χωρική οριοθέτηση του εξωτερικού περιβάλλοντός του. Ως εξωτερικό περιβάλλον στην τρέχουσα εργασία λαμβάνονται τα έτερα μηχανοκίνητα του οδικού δικτύου.

Στην παρούσα εργασία ο ορισμός απορρέει από τη έρευνα των συμβατικών οχημάτων και έχει ως στόχο τη μετέπειτα προσαρμογή του σε έρευνες σχετικές με τα αυτόνομα οχήματα. Με άλλα λόγια, η περιοχή επιρροής ενός συμβατικού οχήματος δεν ταυτίζεται απόλυτα με το εύρος ασύρματου δικτύου ενός αυτόνομου οχήματος, αφού το δεύτερο πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την πρώτη, για να εξασφαλιστεί η μετάδοση του μηνύματος στα τριγύρω οχήματα που επηρεάζονται. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, η περιοχή επιρροής ενός οχήματος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας κύκλος με κέντρο το εξεταζόμενο όχημα.



Εικόνα 1. Παράδειγμα-Περιοχή επιρροής κόκκινου οχήματος

1.3 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός της ακτίνας επιρροής ενός οχήματος κάνοντας χρήση των αρχών της αμοιβαίας πληροφόρησης. Εξετάζονται έξι τύποι οχημάτων (μοτοσυκλέτες, επιβατικά οχήματα, ταξί, ημιφορτηγά, φορτηγά και

λεωφορεία), ενώ πραγματοποιείται και μία σύντομη ανάλυση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες, που επικρατούν σε ό,τι αφορά την πυκνότητα του οδικού δικτύου.

Μέσα από τα ευρήματα της έρευνας αυτής επιδιώκεται ένας πρώτος χωρικός προσδιορισμός του εύρους μετάδοσης του ασύρματου δικτύου των οχημάτων. Με άλλα λόγια, γίνεται μία εκτίμηση της περιοχής γύρω από κάθε όχημα, όπου κινούνται όλα τα γειτονικά μηχανοκίνητα, με τα οποία το εξεταζόμενο ανταλλάσσει πληροφορίες και από τα οποία επηρεάζεται. Παρ' όλα αυτά, τονίζεται ότι το εύρος του ασύρματου δικτύου ενός αυτόνομου οχήματος είναι μεγαλύτερο από την υπολογισμένη ακτίνα επιρροής ενός συμβατικού, ώστε να διασφαλίζεται η μετάδοση των απαραίτητων πληροφοριών σε όλα τα γύρω επηρεαζόμενα μηχανοκίνητα. Ο υπολογισμός της ακτίνας επιρροής αποφασίστηκε δίνοντας βάση κυρίως στη θέση τους στο οδικό δίκτυο και την ταχύτητά τους.

1.4 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Στο σημείο αυτό παρατίθενται τα κεφάλαια της διπλωματικής και μια σύντομη περιγραφή αυτών.

1. Εισαγωγή

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή και έχει ως στόχο να εντάξει τον αναγνώστη στο θέμα της έρευνας. Ξεκινώντας σταδιακά από μια γενική εικόνα πάνω στον τομέα της κυκλοφοριακής τεχνικής καταλήγει στην ανάλυση του σκοπού της διπλωματικής εργασίας και στο πρόβλημα, που καλείται να επιλυθεί.



2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση, που πραγματοποιήθηκε στα πρώτα στάδια της έρευνας. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στις ήδη υπάρχουσες έρευνες επί του εξεταζόμενου ζητήματος ή επί κάποιου παρεμφερούς, καθώς και σε έρευνες πάνω στο γενικότερο αντικείμενο της εργασίας, που έχουν χρησιμοποιήσει τις ίδιες ή παρόμοιες μεθόδους επίλυσης. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα αυτής της αναζήτησης, τα οποία συνέβαλαν και στην τελική διαμόρφωση του θέματος της διπλωματικής εργασίας.



3. Μεθοδολογική Προσέγγιση

Μετά την οριστικοποίηση της μεθόδου προς εφαρμογή και του ακριβούς ορισμού προβλήματος, ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται όλες οι θεωρητικές γνώσεις, αρχές και μαθηματικές σχέσεις, που κρίνονται απαραίτητες για την υλοποίηση της αμοιβαίας πληροφόρησης στα πλαίσια του εξεταζόμενου ζητήματος. Επιπλέον, γίνεται μία σύντομη αναφορά στην εφαρμοσθείσα μεθοδολογία.



4. Ανάλυση και Εφαρμογή Μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία αυτή περιγράφεται στο τέταρτο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται μία εκτενής αναφορά στην ανάλυση της διαδικασίας, που ακολουθήθηκε, καθώς και στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.



5. Αποτελέσματα

Στο επόμενο κεφάλαιο, το πέμπτο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αποτελούνται από διαγράμματα, μέσω των οποίων περιγράφονται τα ευρήματα της εργασίας, ενώ ταυτοχρόνως συνοδεύονται και από ένα σύντομο σχολιασμό.



6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα, που προέκυψαν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, αναφέρονται τρόποι χρήσης των αποτελεσμάτων σε μελλοντικές έρευνες, καθώς και ιδέες για περαιτέρω αναζήτηση του θέματος της διπλωματικής.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στο τρέχον κεφάλαιο πραγματοποιείται μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με έρευνες που αφορούν τόσο την εφαρμογή της θεωρίας της αμοιβαίας πληροφόρησης στον τομέα των μεταφορών, όσο και τη διερεύνηση της σχέσης ενός οχήματος με το περιβάλλον του. Το κεφάλαιο είναι μοιρασμένο σε υποενότητες με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό και οι δημοσιεύσεις που εξετάζονται έχουν διεξαχθεί στην Ελλάδα, αλλά και στο εξωτερικό. Η αναζήτηση βιβλιογραφίας δίνει μία κατεύθυνση στο ερευνητή και τον βοηθά στον ορθότερο ορισμό του θέματος της διπλωματικής εργασίας και στην κατάλληλη επιλογή και χρήση της επιθυμητής μεθοδολογίας. Επιπλέον, μέσω αυτής της αναζήτησης εντοπίζονται αντικείμενα, τα οποία δεν έχουν καλυφθεί ή έχουν καλυφθεί μερικώς από τις πραγματοποιημένες έρευνες.

2.2 Ανάλυση βιβλιογραφίας

2.2.1 Σχέση οχήματος με το περιβάλλον του

Το μεγαλύτερο ποσοστό των διαθέσιμων ερευνών, που έχουν πραγματοποιηθεί για τη διερεύνηση της σχέσης του αυτοκίνητου με το περιβάλλον του, είναι βασισμένο στο λεγόμενο μοντέλο ακολουθούντος οχήματος (car following model).

Οι θεωρίες ακολουθούντος οχήματος περιγράφουν πώς ένα όχημα έπεται ενός άλλου σε αδιάκοπη ροή κυκλοφορίας. Οι Reuschel [6]. και Pipes [7] ήταν οι θεμελιωτές αυτών των θεωριών στην αρχή της δεκαετίας του 1950, ενώ το πιο γνωστό ίσως μοντέλο ακολουθούντος οχήματος είναι εκείνο το οποίο προτάθηκε δέκα χρόνια αργότερα από τον αναγνωρισμένο από πολλούς ως πατέρα των ευφυών συστημάτων μεταφοράς, Ντίνιο Γαζή (Μοντέλο γενικών κινητήρων – General Motors model) [8]. Έκτοτε πολλά μοντέλα έχουν σχεδιαστεί προκειμένου να αναπαραστήσουν πώς ένας οδηγός αντιδρά στις κινήσεις του μπροστινού του οχήματος.

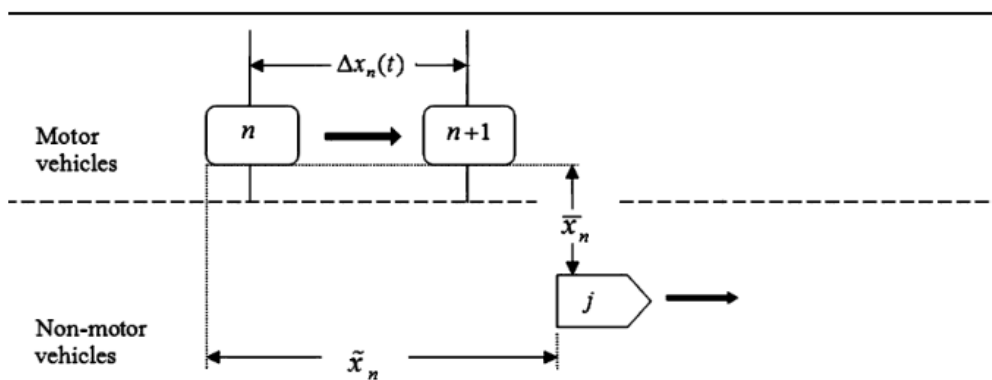
Το 1995, οι Bando et al. [9] παρουσίασε ένα μοντέλο ακολουθούντος οχήματος, το οποίο ονομάστηκε μοντέλο βέλτιστης ταχύτητας (optimal velocity model-OVM). Βασίστηκε στην

ιδέα ότι κάθε όχημα διαθέτει μία ιδανική ταχύτητα, η οποία εξαρτάται από την απόστασή του από το προπορευόμενο του μηχανοκίνητο. Παρ' όλα αυτά, στη σύγκριση με πραγματικά δεδομένα εμφανίζονταν προβλήματα πολύ υψηλών επιταχύνσεων και μη ρεαλιστικών επιβραδύνσεων.

Οι Lenz et al. [10] με σκοπό να συμπεριλάβουν στο μικροσκοπικό μοντέλο ακολουθώντας οχήματος από Bando et al. [9] τις σχέσεις μεταξύ περισσότερων των δύο οχημάτων, το επεκτείνουν (Πολυπαραγοντικό μοντέλο ακολουθώντας οχήματος ή Multi-anticipative car-following model). Με βάση την ιδέα αυτή, παρατηρείται ότι έτσι περιγράφεται με καλύτερο τρόπο η κυκλοφοριακή ροή, καθιστώντας το μοντέλο κατάλληλο για την πρόβλεψη αυτής.

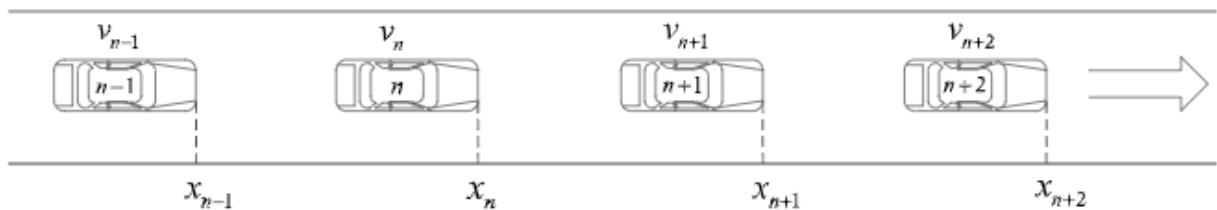
Δύο χρόνια αργότερα οι Jiang et al. [11] προτείνουν ένα νέο μοντέλο με το όνομα «Πλήρης Διαφορά Ταχύτητας» (Full Velocity Difference – FVD). Το καινούριο αυτό μοντέλο λαμβάνει υπόψιν του τόσο θετικές όσο και αρνητικές διαφορές ταχυτήτων, με την προσομοίωση να δείχνει ότι με τον τρόπο αυτό περιγράφεται καλύτερα η διαδικασία της εκκίνησης.

Βασισμένες στις δύο αυτές τελευταίες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί πολλές ακόμη. Πιο συγκεκριμένα, οι Peng et al. [12] εφαρμόζουν ένα βελτιωμένο μοντέλο ακολουθώντας οχήματος, το οποίο επικεντρώνεται σε αρκετά οχήματα, που προπορεύονται του εξεταζόμενου. Το 2012, οι Ge et al. [13] κάνουν αναφορά σε ένα νέο μοντέλο, το οποίο λαμβάνει υπόψιν του την επιρροή στην κυκλοφοριακή ροή των μηχανοκίνητων και μη, τα οποία βρίσκονται όμως σε διαφορετική λωρίδα από εκείνη του υπό μελέτη οχήματος (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Νέο μοντέλο ακολουθώντας οχήματος (Πηγή: [13])

Μεγάλο ενδιαφέρον εμφανίζει η πρόσφατη δημοσίευση από Peng et al. [14], στην οποία προτείνεται ένα μοντέλο ακολουθούντος οχήματος, το οποίο ερευνά τη σχέση του εξεταζόμενου οχήματος με τα άλλα μηχανοκίνητα που βρίσκονται στην «ορατότητα του οδηγού». Με βάση αυτή την εργασία αυτά τα μηχανοκίνητα είναι τα δύο προπορευόμενα καθώς και εκείνο που έπεται του υπό μελέτη οχήματος (Εικόνα 3). Στην έρευνα αυτή έχουν συλλεχθεί και χρησιμοποιηθεί πραγματικά δεδομένα από οδό υψηλού φόρτου και έχουν εφαρμοστεί τόσο για τον υπολογισμό των παραμέτρων όσο και για την υλοποίηση της προσομοίωσης. Στο τέλος της έρευνας συμπεραίνεται ότι τα δύο μπροστινά και το αμέσως επόμενο όχημα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την οδηγική συμπεριφορά του εξεταζόμενου μηχανοκίνητου. Επιπλέον, τονίζεται ότι το μοντέλο αυτό έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί, ώστε να αναλύονται ακόμη περισσότερα γειτονικά μηχανοκίνητα, ενώ επισημαίνεται ότι η εφαρμογή του είναι κατάλληλη και για έρευνα σε αυτόνομα οχήματα.

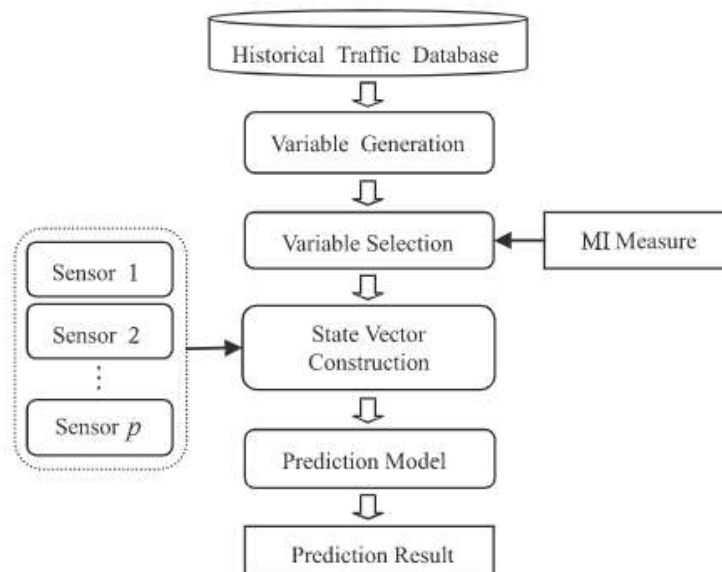


Εικόνα 3. Μοντέλο ακολουθούντος οχήματος (Πηγή: [14])

Παρ' όλα αυτά, το 2015 οι Parathanasopoulou et al. [15], μέσω μίας έρευνας επικεντρωμένης στη διαμήκη αλληλεπίδραση μεταξύ οχημάτων σε μία λωρίδα με χρήση πραγματικών δεδομένων, οδηγούνται στο συμπέρασμα ότι οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης εμφανίζουν μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτητα στη διαχείριση των δεδομένων, αποφεύγοντας τις χρονοβόρες διαδικασίες που απαιτούν τα παραδοσιακά μοντέλα ακολουθούντος οχήματος. Ένα ακόμη μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι δε χρήζουν του ορισμού μιας συγκεκριμένης συνάρτησης, ενώ μπορούν να εξετάσουν ταυτόχρονα εύκολα και γρήγορα πολύπλοκες καταστάσεις με μία πληθώρα παραγόντων. Ως μειονέκτημα των μεθόδων μηχανικής μάθησης αναφέρεται η δυσκολία κατανόησης και επεξήγησής τους, λόγω της μη άμεσης μαθηματικής φύσης τους.

2.2.2 Η αμοιβαία πληροφόρηση στον τομέα των μεταφορών

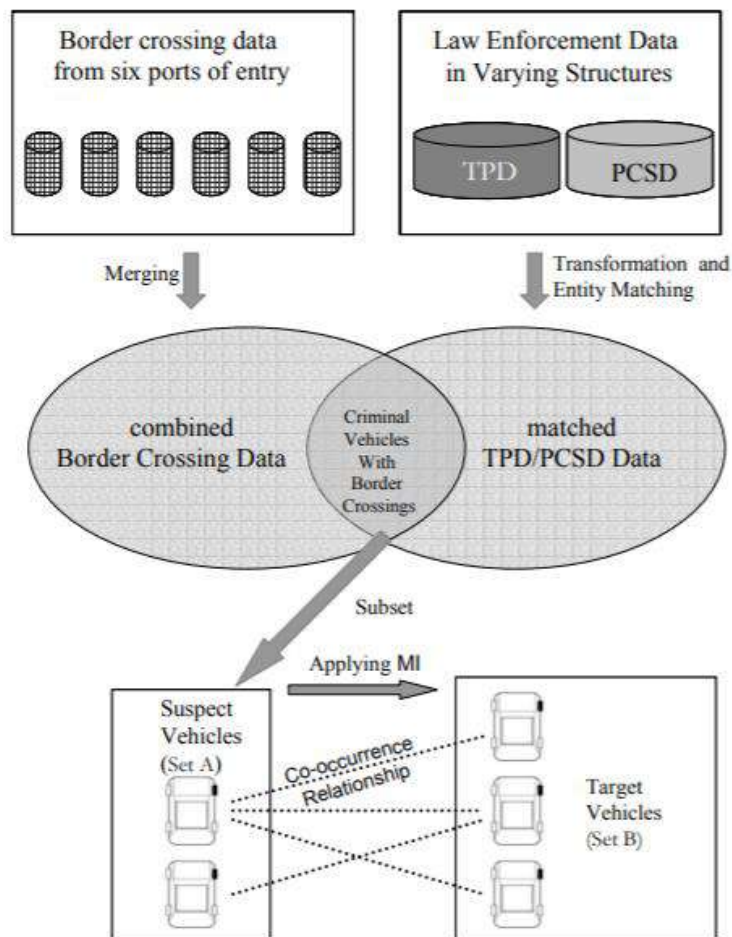
Η αμοιβαία πληροφόρηση, παρότι ευρέως αναγνωρισμένη για τα πλεονεκτήματά της, μερικά εκ των οποίων αναφέρθηκαν παραπάνω, θα μπορούσε να υποστηρίξει κάποιος πως στον τομέα των μεταφορών δεν έχει εφαρμοστεί στο βαθμό που θα αναμενόταν. Η πλειονότητα των ερευνών που χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο ή άλλες της μηχανικής μάθησης επικεντρώνονται κατά κύριο λόγο στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής [16], [17], [18]. Παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των Ryu et al. [19], στην οποία προτείνεται μία μέθοδος κατασκευής ενός διανύσματος κατάστασης κίνησης (Εικόνα 4). Κάνοντας χρήση του κριτηρίου της αμοιβαίας πληροφόρησης επιλέγονται οι καταλληλότερες μεταβλητές για την περιγραφή της κυκλοφοριακής ροής. Για την έρευνα των χωροχρονικών συσχετισμών των γειτονικών οδικών τμημάτων με το εξεταζόμενο κομμάτι δρόμου έγινε χρήση της σταθμισμένης απόστασης στο μοντέλο του k κοντινότερου γείτονα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων της μεθόδου αυτής, την ανέδειξαν ως καλύτερη των ήδη υπαρχόντων.



Εικόνα 4. Μεθοδολογική Προσέγγιση της κατασκευής του διανύσματος κατάστασης κίνησης με στόχο την βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής (Πηγή: [19])

Εξαιτίας, όμως, του μεγάλου εύρους εφαρμογής της θεωρίας αυτής, η αμοιβαία πληροφόρηση έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες έρευνες με διαφορετικούς στόχους. Το 2005 οι Kaza et al. [20] εφαρμόζουν αυτό το μέγεθος για την αναγνώριση τυχόν ύποπτων οχημάτων, που διασχίζουν τις περιοχές εισόδου μιας χώρας, με σκοπό την ασφάλεια των

συνόρων (Εικόνα 5). Πιο συγκεκριμένα, έχοντας ως δεδομένα τα στοιχεία, που απορρέουν από την γνώση της πινακίδας των οχημάτων και με χρήση της αμοιβαίας πληροφόρησης, αποδεικνύεται ότι ο διαχωρισμός των οχημάτων, σε εκείνα που διασχίζουν συχνά τα σύνορα από εκείνα που συνδέονται με τυχόν ύποπτες δραστηριότητες, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί.



Εικόνα 5. Βήματα που ακολουθήθηκαν για τον τελικό διαχωρισμό των οχημάτων (Πηγή: [20])

2.3 Συμπεράσματα Βιβλιογραφίας

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η αλληλεπίδραση ενός οχήματος με τα έτερα μηχανοκίνητα, που το περιβάλλουν, έχει απασχολήσει εδώ και αρκετές δεκαετίες τους συγκοινωνιολόγους μηχανικούς. Πολλές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη δημιουργία νέων βελτιωμένων μοντέλων ακολουθώντας οχήματος εστιάζοντας, όμως, στην άμεση σχέση του οχήματος με ένα μικρό αριθμό γειτονικών οχημάτων (συνήθως ένα ως τρία). Μια επιπρόσθετη προϋπόθεση σχετίζεται με το ότι στις περισσότερες περιπτώσεις όλα τα

μηχανοκίνητα βρίσκονται στην ίδια λωρίδα με το εξεταζόμενο. Ακόμη και οι εργασίες, που λαμβάνουν υπόψη τα πλευρικά οχήματα, διερευνούν μονάχα τη συγκεκριμένη λωρίδα, δηλαδή εξετάζουν τη σχέση ενός μηχανοκίνητου με τα οχήματα αριστερά ή δεξιά του. Επιπλέον, κατά κύριο λόγο στοχεύουν στον προσδιορισμό του χρόνου ανταπόκρισης του οχήματος σε κάποια κίνηση των γειτονικών του ή στην εκτίμηση της ταχύτητας των μηχανοκίνητων με γνώμονα την μεταξύ τους απόσταση ή στην περιγραφή της κυκλοφοριακής ροής.

Σε αντίθεση με την πληθώρα εργασιών πάνω στα μοντέλα ακολουθούντος οχήματος, η χρήση των αρχών της θεωρίας της πληροφόρησης σε θέματα μεταφορών δεν είναι κάτι, που συναντά κάποιος με ευκολία. Παρότι ο κλάδος της μηχανικής μάθησης εμφανίζεται σταδιακά σε όλο και περισσότερες έρευνες, εκείνες εστιάζουν στα μοντέλα πρόβλεψης κυκλοφοριακής ροής, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ακόμη πολλά ζητήματα τα οποία θα μπορούσαν να κάνουν χρήση των μεθόδων και αλγορίθμων τους.

Οι συνεχείς, όμως, πρόοδοι στην επιστήμη της μηχανολογίας με την εμφάνιση των αυτόνομων οχημάτων, επιτάσσουν τον ανάλογο εκσυγχρονισμό και στα διάφορα μοντέλα είτε πρόβλεψης είτε προσομοίωσης. Είναι ανάγκη, συνεπώς, να πραγματοποιηθούν έρευνες, οι οποίες θα μπορέσουν να συνδράμουν στην καλύτερη διερεύνηση των νέων συνθηκών, που επιβάλλει η πρόοδος της τεχνολογίας τόσο για τη μελλοντική καθημερινή χρήση των αυτόνομων αυτοκινήτων, όσο και για το μεταβατικό στάδιο συνύπαρξης αυτών με τα συμβατικά οχήματα.

Συνοψίζοντας, παρουσιάζονται και επιγραμματικά τα παρακάτω συνδυαστικά συμπεράσματα:

- Παρά τις ενδελεχείς έρευνες σχετικά με τη σχέση οχήματος-περιβάλλοντος, δεν έχει υπάρξει προς το παρόν κάποια έρευνα που να εστιάζει στην επιρροή όλων των γύρω οχημάτων.
- Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν πραγματικά δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με εκείνα που βασίζονται σε μαθηματικές σχέσεις.
- Οι μέθοδοι της μηχανικής μάθησης μοιάζει να υπερτερούν έναντι των παραδοσιακών μεθόδων εξαιτίας της ικανότητάς τους να εξετάζουν μεγάλο όγκο δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα.

- Η θεωρία της πληροφόρησης χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα στον τομέα των μεταφορών, κυρίως για μοντέλα πρόβλεψης της κυκλοφοριακής ροής.
- Η εμφάνιση των αυτόνομων οχημάτων σημαίνει αυτομάτως τη δημιουργία πολυπλοκότερων μοντέλων και συνεπώς επιτάσσει τη χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης.

Όλα τα παραπάνω οδήγησαν στην ανάγκη ενός λεπτομερέστερου χωρικού προσδιορισμού της σχέσης του οχήματος με τα γειτονικά του, κάνοντας χρήση πιο σύγχρονων αρχών, όπως αυτή της θεωρίας της πληροφόρησης.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο που αποτέλεσε τη βάση για την ανάλυση των στοιχείων και δεδομένων της παρούσας εργασίας. Σε πρώτο στάδιο γίνεται μία σύντομη παρουσίαση της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε. Στην πορεία πραγματοποιείται μία εκτενής ανάλυση και επεξήγηση όλων των απαραίτητων εννοιών για μια ολοκληρωμένη κατανόηση των διεργασιών. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται η θεωρία της πληροφόρησης, η εντροπία ή Shannon εντροπία, ο αλγόριθμος k κοντινότερων γειτόνων και η αμοιβαία πληροφόρηση, καθώς και παραδείγματα, όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο για μία πιο πλήρη εικόνα της μεθοδολογίας, που εφαρμόστηκε.

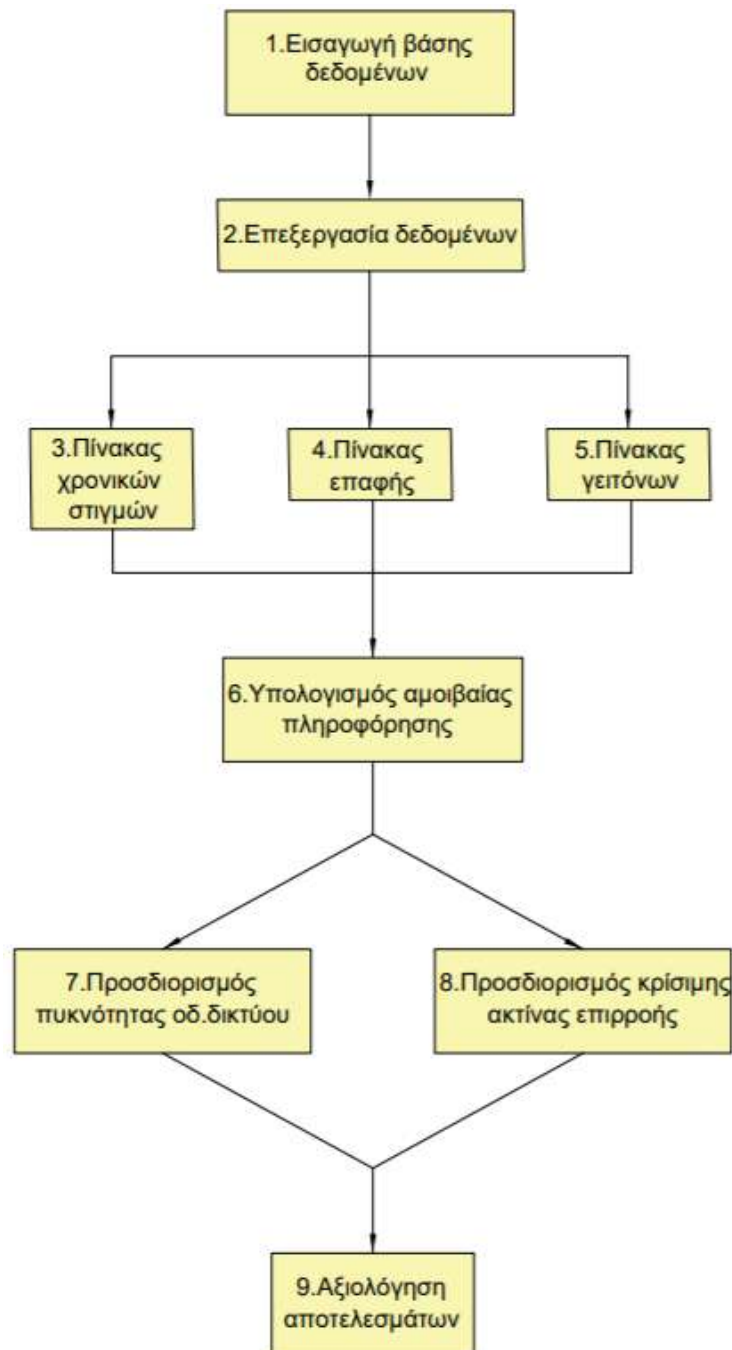
3.2 Σύντομη Μεθοδολογική Προσέγγιση

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η μεθοδολογία, που ακολουθήθηκε επιγραμματικά και ορισμένες σύντομες επεξηγήσεις. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον καθορισμό και την προετοιμασία των δεδομένων, τον ορισμό της ακτίνας επιρροής, τον υπολογισμό της αμοιβαίας πληροφόρησης και τη συσχέτισή της με τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Η προτεινόμενη προσέγγιση στηρίζεται σε κάποιες παραδοχές:

- Αφαίρεση οχημάτων με μικρή διάρκεια παραμονής στην περιοχή μελέτης για την ευκολότερη διαχείριση του μεγάλου όγκου δεδομένων και εξαιτίας της χρονικά μικρής εμφάνισης ορισμένων μηχανοκίνητων.
- Εύρεση οχημάτων εντός της ακτίνας επιρροής για κάθε χρονική στιγμή και για περίοδο 10.4 δευτερολέπτων, ώστε να καθοριστούν οι γείτονες κάθε μηχανοκίνητου, για τους οποίους αργότερα θα υπολογιστεί η αμοιβαία πληροφόρηση.
- Υπολογισμός αλληλεξάρτησης δύο γειτονικών οχημάτων με εφαρμογή της θεωρίας της αμοιβαίας πληροφόρησης. Ως τυχαίες μεταβλητές επιλέγονται οι ταχύτητες των δύο οχημάτων, ένα από τα βασικότερα κινηματικά τους χαρακτηριστικά.

- Καθορισμός της κρίσιμης ακτίνας επιρροής ως την ελάχιστη τιμή που εμφανίζει ο μέσος όρος της αμοιβαίας πληροφόρησης του εξεταζόμενου οχήματος με τα γειτονικά του.
- Προσδιορισμός της πυκνότητας του οδικού δικτύου ως το πηλίκο της διαίρεσης του αριθμού των οχημάτων εντός ενός οδικού τμήματος με το μήκος αυτού.

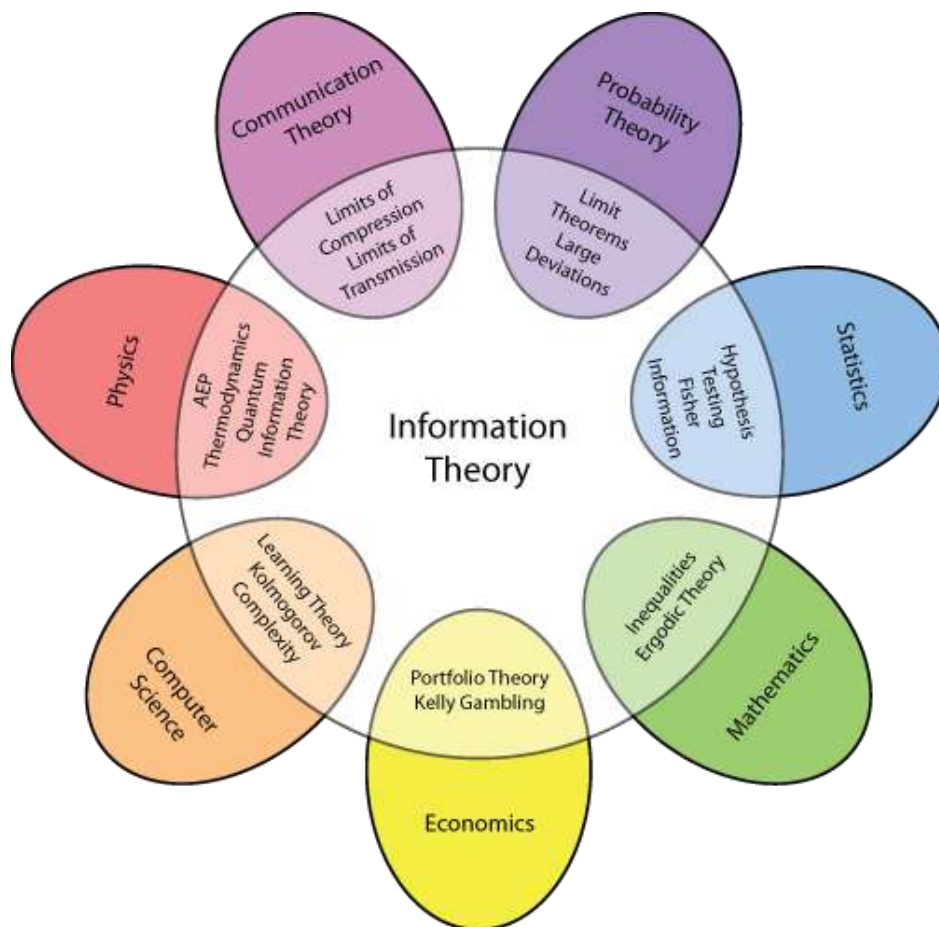


Διάγραμμα 1. Μεθοδολογική προσέγγιση

3.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.3.1 Θεωρία της πληροφόρησης

Η θεωρία της πληροφόρησης αποτελεί τομέα των εφαρμοσμένων μαθηματικών και περιστρέφεται γύρω από την ποσοτικοποίηση της πληροφορίας, που είναι παρούσα σε μία μεταβλητή ή ένα σημείο. Με άλλα λόγια είναι ο κλάδος της ποσοτικοποίησης, αποθήκευσης και της επικοινωνίας των πληροφοριών. Ο κλάδος αυτός, είναι συνυφασμένος με τη θεωρία των πιθανοτήτων, της στατιστικής, της πληροφορικής και της ηλεκτρολογίας (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Η σχέση της θεωρίας της πληροφόρησης με τις υπόλοιπες επιστήμες (Πηγή: [21])

Η θεωρία της πληροφόρησης αρχικά εφευρέθηκε με στόχο τη διερεύνηση της αποστολής μηνυμάτων από διακριτά αλφάβητα σε ένα πολυσύχναστο δίκτυο, όπως η επικοινωνία μέσω ραδιομετάδοσης. Σε αυτό το πλαίσιο η θεωρία της πληροφόρησης ορίζει τον τρόπο σχεδιασμού βέλτιστων κωδικών και τον υπολογισμό του αναμενόμενου μήκους των μηνυμάτων, επιλεγμένων δειγματοληπτικά από συγκεκριμένες κατανομές πιθανοτήτων,

χρησιμοποιώντας διάφορα σχήματα κωδικοποίησης. Στο πλαίσιο της μηχανικής μάθησης (machine learning) η εφαρμογή της θεωρίας της πληροφόρησης ενδείκνυται για συνεχείς μεταβλητές.

3.3.2 Εντροπία Shannon

Ένα από τα βασικότερα μεγέθη της θεωρίας της πληροφόρησης είναι η εντροπία Shannon. Η εντροπία Shannon πήρε το όνομά της από τον Claude Shannon, ο οποίος το 1948 με την επίσημη δημοσίευσή του «Mathematical Theory of Communication» [22] ήταν ο πρώτος, που συνέλαβε και έθεσε τα θεμέλια της θεωρίας της πληροφόρησης.

Η εντροπία είναι ένα μέτρο, το οποίο φανερώνει το ποσό της αβεβαιότητας που περιέχεται στην έκβαση της τιμής μιας τυχαίας μεταβλητής ή στο αποτέλεσμα ενός πειράματος.

Έστω X μία τυχαία μεταβλητή με συνάρτηση κατανομής πιθανότητας $p(x)$. Τότε η εντροπία Shannon της τυχαίας μεταβλητής X ορίζεται ως:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_b P(x_i) \quad (1)$$

, όπου b η βάση του λογαρίθμου.

Συνήθεις τιμές για το b είναι το 2, ο αριθμός του Euler e , και το 10. Οι μονάδες μέτρησης της πληροφόρησης αντίστοιχα είναι bits (2), nats (e), bans (10).

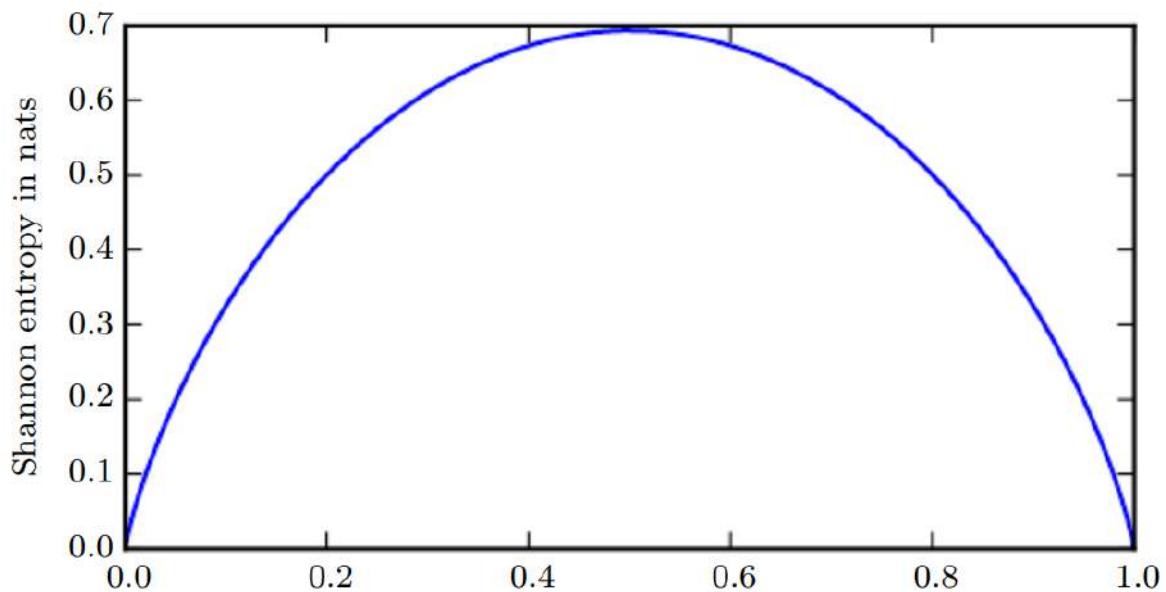
Όπως προκύπτει από τον ορισμό της εντροπίας, αν σε ένα πείραμα είναι γνωστό κάθε φορά το αποτέλεσμα, που θα προκύψει, τότε η εντροπία ισούται με μηδέν. Παρακάτω ακολουθεί ένα κλασσικό παράδειγμα εφαρμογής της Shannon εντροπίας:

Έστω ένα δίκαιο νόμισμα, η πιθανότητα ρίχνοντας το κέρμα να εμφανιστούν γράμματα είναι $p(\gamma) = 50\% = \frac{1}{2}$, αντίστοιχα η πιθανότητα να εμφανιστεί μετά τη ρίψη του νομίσματος κορώνα ισούται με $p(\kappa) = 50\% = \frac{1}{2}$.

Έτσι η μέγιστη αβεβαιότητα του πειράματος είναι $\frac{1}{2}$. Αντικαθιστώντας στην (1) προκύπτει:

$$\begin{aligned} H(X) &= - \sum_{i=1}^2 \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \\ &= - \sum_{i=1}^2 \frac{1}{2} \times (-1) = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Εντροπία ίση με τη μονάδα σημαίνει πως για να γνωστοποιηθεί η έκβαση της τυχαίας διαδικασίας απαιτείται να πραγματοποιηθεί μία ερώτηση. Το Διάγραμμα 2 δείχνει πως οι πιο ντετερμινιστικές κατανομές έχουν χαμηλή εντροπία Shannon.



Διάγραμμα 2. Εντροπία Shannon για μια τυχαία δυαδική μεταβλητή (Πηγή: [23])

3.3.3 Αμοιβαία πληροφόρηση

Μέσα από την πληθώρα μεγεθών, που περιγράφουν την ανεξαρτησία μεταξύ τυχαίων μεταβλητών, η αμοιβαία πληροφόρηση ξεχωρίζει, αποτελώντας ένα πολύ χρήσιμο και αποτελεσματικό στατιστικό στοιχείο μέτρησης του βαθμού συσχέτισης ανάμεσα σε σύνολα δεδομένων. Με άλλα λόγια, η αμοιβαία πληροφόρηση εκφράζει την ποσότητα της πληροφορίας, που λαμβάνεται για μία τυχαία μεταβλητή παρατηρώντας μία άλλη τυχαία μεταβλητή. Σε αντίθεση με άλλα μεγέθη συσχέτισης η αμοιβαία πληροφόρηση :

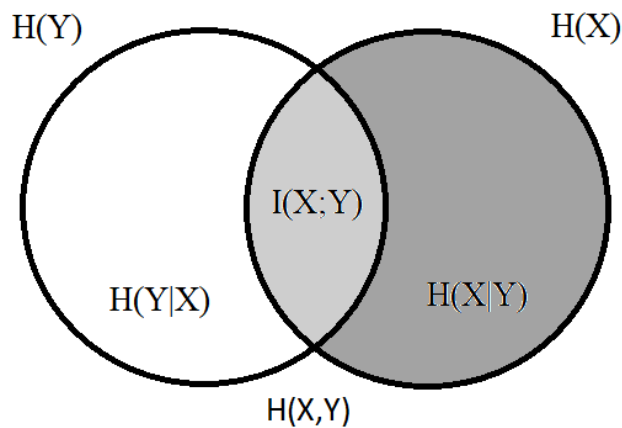
I. θα εντοπίσει κάθε είδους σχέση μεταξύ των δεδομένων, είτε αυτή αφορά τους μέσους όρους των τιμών, είτε τις διακυμάνσεις,

II. διαθέτει μία προσιτή ερμηνεία ως το σύνολο των κοινών πληροφοριών που μοιράζονται δύο σύνολα δεδομένων,

III. βασίζεται σε ένα καθιερωμένο σύνολο θεωρητικών εργαλείων (Θεωρία της πληροφόρησης 3.3.1),

IV. δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος των υπό μελέτη δεδομένων.

Η αμοιβαία πληροφόρηση είναι άμεσα συνδεδεμένη με την έννοια της εντροπίας, όπως αυτή αναφέρθηκε στο 3.3.2 (Εντροπία Shannon). Το Διάγραμμα 3 αποτελεί μία οπτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ των διαφόρων μεγεθών της θεωρίας της πληροφόρησης, δεδομένων δύο μεταβλητών X και Y .



Διάγραμμα 3. Venn Εντροπίας

Στο Διάγραμμα 3:

- η περιοχή που καταλαμβάνεται και από τους δύο κύκλους ονομάζεται κοινή εντροπία (joint entropy) και συμβολίζεται $H(X,Y)$,
- ο ολόκληρος αριστερός κύκλος, δηλαδή η λευκή και η ανοιχτό γκρι περιοχή, είναι η εντροπία ή Shannon εντροπία της μεταβλητής Y και συμβολίζεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ως $H(Y)$,
- ομοίως, ο ολόκληρος δεξιός κύκλος, δηλαδή η ανοιχτό και σκούρο γκρι περιοχή, είναι η εντροπία της μεταβλητής X ή $H(X)$,

- η αριστερή λευκή περιοχή και η δεξιά σκούρο γκρι αναφέρονται στην εντροπία της μεταβλητής Y δεδομένου X , $H(Y|X)$ και στην εντροπία της μεταβλητής X δεδομένου Y $H(X|Y)$ αντίστοιχα. Αφορούν τη δεσμευμένη πληροφόρηση, που δε διερευνάται στην παρούσα εργασία, αλλά για ευκολότερη κατανόηση του Διαγράμματος 3 αναφέρεται ο εξής ορισμός: Η δεσμευμένη πληροφόρηση μιας τυχαίας μεταβλητής X δεδομένου μιας άλλης τυχαίας μεταβλητής Y είναι η ποσότητα της πληροφορίας που απαιτείται για την περιγραφή της έκβασης της μεταβλητής X δεδομένου ότι είναι γνωστή η τιμή της μεταβλητής Y ,
- με ανοιχτό γκρι συμβολίζεται η αμοιβαία πληροφόρηση μεταξύ των δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y .

Έτσι, προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$H(X) = H(X, Y) - H(Y|X) \quad (3)$$

$$I(X; Y) = H(X, Y) - H(X|Y) - H(Y|X) \quad (4)$$

Επιπλέον, η αμοιβαία πληροφόρηση έχει δύο (2) βασικά χαρακτηριστικά:

1. Συμμετρία, αυτό σημαίνει ότι:

$$I(X; Y) = I(Y; X) \quad (5)$$

2. Θετική, δηλαδή:

$$I(X; Y) \geq 0 \quad (6)$$

Τέλος, σημειώνεται ότι δύο τυχαίες μεταβλητές X , Y με αμοιβαία πληροφόρηση ίση με μηδέν είναι μεταξύ τους ανεξάρτητες.

Διακριτές Μεταβλητές

Υπενθυμίζεται ότι μια τυχαία μεταβλητή X καλείται διακριτή αν έχει πεπερασμένο πλήθος δυνατών τιμών.

Με βάση τα παραπάνω, έστω τυχαία διακριτή μεταβλητή X και επίσης τυχαία διακριτή μεταβλητή Y , η αμοιβαία πληροφόρηση $I(X; Y)$, υπολογίζεται με τον τύπο [24] [25]:

$$I(X;Y) = \sum_{x,y} P_{xy}(x,y) \log \frac{P_{xy}(x,y)}{P_x(x)P_y(y)} = E_{p_{xy}} \log \frac{P_{xy}}{P_x P_y} \quad (7)$$

, όπου:

- $P_x(x)$ είναι η συνάρτηση μάζας πιθανότητας και ισούται με:

$$P_x(x) = \sum_y P_{xy}(x,y) \quad (8)$$

- $P_{xy}(x,y)$ είναι η κοινή συνάρτηση μάζας πιθανότητας
- $E_{p_{xy}}$ η αναμενόμενη τιμή της κατανομής P_{xy} .

Συνεχείς Μεταβλητές

Μια τυχαία μεταβλητή X καλείται συνεχής αν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή σε ένα διάστημα αριθμών (ή ένωση διαστημάτων).

Στην περίπτωση δύο τυχαίων συνεχών μεταβλητών X και Y η αμοιβαία πληροφόρηση προκύπτει ως εξής [25] :

$$I(X;Y) = \int_y \int_x P_{xy}(x,y) \log \frac{P_{xy}(x,y)}{P_x(x)P_y(y)} dx dy \quad (9)$$

, όπου:

- $P_x(x)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, ίση με:

$$P_x(x) = \int_y P_{xy}(x,y) dy \quad (10)$$

- $P_{xy}(x,y)$ είναι η κοινή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας
- Η βάση του λογαρίθμου εξαρτάται από τις επιθυμητές μονάδες (δες 3.3.2 Εντροπία Shannon)

Όπως γίνεται κατανοητό, στην περίπτωση των συνεχών μεταβλητών ο υπολογισμός της κοινής πληροφόρησης δεν είναι πάντα εύκολος, αλλά είναι σίγουρα χρονοβόρος. Για το λόγο αυτό η εξίσωση (9) χρησιμοποιείται σπάνια και τη θέση της παίρνει η εξίσωση (7). Για να μπορέσει παρ' όλα αυτά να εφαρμόσει κανείς την (7) σε ένα σύνολο συνεχών δεδομένων

χρειάζεται να ομαδοποιήσει τα δεδομένα του σε κλάσεις (bins) και η (7) παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$I(X; Y) \approx I_{binned}(X; Y) = \sum_{i,j} P_{xy}(i,j) \log \frac{P_{xy}(i,j)}{P_x(i)P_y(j)} \quad (11)$$

, όπου:

- $P_x(i) \approx n_x(i)/N$ (12), με το $n_x(i)$ να 'ναι ο αριθμός των σημείων, που περιέχονται στην i κλάση.

- Αντίστοιχα προκύπτουν $P_y(j) \approx n_y(j)/N$ (13)

- $P_{xy}(i,j) \approx n(i,j)/N$ (14)

Παρ' όλα αυτά, ούτε η (11) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη πλέον ως εξίσωση υπολογισμού της αμοιβαίας πληροφόρησης μεταξύ δύο τυχαίων συνεχών μεταβλητών X, Y .

Στην παρούσα εργασία, λοιπόν, προτιμήθηκε και χρησιμοποιήθηκε ως ορθότερος τρόπος, ο υπολογισμός της αμοιβαίας πληροφόρησης με χρήση του αλγορίθμου ***k-πλησιέστεροι γείτονες (k -nearest neighbours)***, όπως αυτός προτάθηκε από τον Kraskov το 2004 [26].

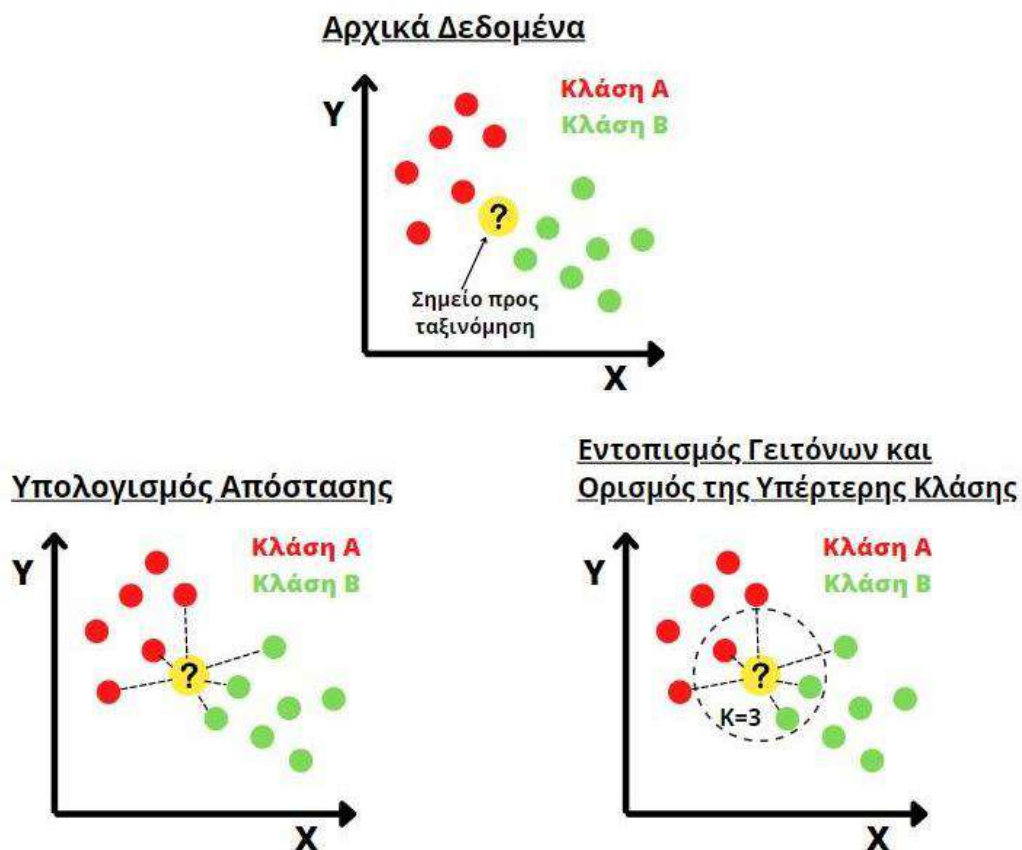
Αλγόριθμος k-πλησιέστεροι γείτονες (knn algorithm)

Ο αλγόριθμος k-πλησιέστερων γειτόνων είναι ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης (machine learning) με επίβλεψη, εύκολος στην εφαρμογή, που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την επίλυση προβλημάτων ταξινόμησης και παλινδρόμησης. Ως αλγόριθμος με επίβλεψη (supervised) χαρακτηρίζεται ο αλγόριθμος που λαμβάνοντας ως τιμές εισόδου ήδη γνωστά σύνολα δεδομένων κατάρτισης, τα αναλύει και παράγει μια συνάρτηση, η οποία μελλοντικά θα μπορεί να προβλέψει τις σωστές τιμές εξόδου ενός αγνώστου συνόλου δεδομένων.

Ο αλγόριθμος k-πλησιέστερων γειτόνων βασίζεται πάνω στη θεωρία ότι παρόμοια αντικείμενα υπάρχουν σε μικρές αποστάσεις, δηλαδή παρόμοια αντικείμενα βρίσκονται κοντά μεταξύ τους [27].

Ακολουθεί ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου (Διάγραμμα 4).

Έστω σημείο (προσημασμένο με «?») προς ταξινόμηση. Προκειμένου να επιλεγθεί η κατάλληλη κλάση σύμφωνα με τη θεωρία των k κοντινότερων γειτόνων, είναι ανάγκη να υπολογιστούν οι αποστάσεις των κοντινότερων σε αυτό σημείων. Με βάση τις αποστάσεις επιλέγονται οι k κοντινότεροι γείτονες με k ίσο με αυτό που έχει οριστεί (εδώ $k=3$). Τότε το σημείο ταξινομείται στην κλάση που υπερτερεί, (εδώ: 2 πράσινα σημεία/ Κλάση B > 1 κόκκινο σημείο/Κλάση A) στην περίπτωση αυτή δηλαδή στην κλάση B.



Διάγραμμα 4. Παράδειγμα αλγορίθμου k -πλησιέστερων γειτόνων (Πηγή: [27])

Αμοιβαία πληροφόρηση δύο τυχαίων συνεχών μεταβλητών

Σε αυτήν την παράγραφο περιγράφεται η μέθοδος υπολογισμού της αμοιβαίας πληροφόρησης μεταξύ δύο τυχαίων συνεχών μεταβλητών με χρήση του αλγορίθμου **k -πλησιέστεροι γείτονες (k -nearest neighbours)**. Η μέθοδος αυτή προτάθηκε από τον Kraskov το 2004 στη δημοσιευμένη του εργασία με τίτλο "Estimating mutual information" [26], και

έκτοτε αποτελεί τον προτιμότερο τρόπο υπολογισμού αυτού του μεγέθους για συνεχείς μεταβλητές και είναι αυτός, που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία.

Η μέθοδος που θα αναλυθεί στις επόμενες σειρές υπερτερεί της εξίσωσης (11). Είναι αλήθεια, ότι οι κλάσεις που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση (11) δε χρειάζεται να είναι ίδιου μεγέθους. Και όντως, τα αποτελέσματα για εκτιμητές με κλάσεις προσαρμοσμένου μεγέθους είναι πιο ενθαρρυντικά συγκριτικά με εκείνους, που χρησιμοποιούν σταθερό μέγεθος κλάσεων. Παρ' όλα αυτά, εξακολουθούν να εμφανίζουν πολλά συστηματικά σφάλματα, τα οποία εμφανίζονται είτε λόγω προσέγγισης της αμοιβαίας πληροφόρησης $I(X;Y)$ μέσω της $I(X;Y)_{\text{binned}}$, είτε λόγω της προσέγγισης των λογαρίθμων των πιθανοτήτων μέσω των λογαρίθμων της συχνότητας των αναλογιών.

Ας θεωρηθούν ορισμένες δοθείσες μετρικές στο χώρο που ορίζεται από τα X, Y και $Z = (X, Y)$. Για κάθε σημείο $z_i = (x_i, y_i)$, μπορούν να καταταχθούν οι γείτονές του με γνώμονα την απόσταση $d_{i,j} = \|z_i - z_j\|$: $d_{i,j1} \leq d_{i,j2} \leq d_{i,j3} \leq \dots$ (15). Όμοιες κατατάξεις μπορούν να πραγματοποιηθούν για τους υποχώρους X και Y . Η βασική ιδέα είναι ο υπολογισμός της εντροπίας $H(X)$ μέσω του μέσου όρου της απόστασης από τον k -πλησιέστερο γείτονα.

Τότε, η αμοιβαία πληροφόρηση μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$I(X;Y) = H(X) + H(Y) - H(X,Y) \quad (16)$$

, όπου $H(X)$, $H(Y)$ και $H(X,Y)$, η εντροπία της μεταβλητής X , Y και η κοινή εντροπία των X και Y , αντίστοιχα.

Κάτι τέτοιο, όμως, θα σήμαινε πως οποιοδήποτε λάθος γινόταν στον ατομικό υπολογισμό αυτών, δε θα διορθωνόταν, παρά θα μεταφερόταν στο αποτέλεσμα της αμοιβαίας πληροφόρησης.

Έτσι, προτείνονται δύο αλγόριθμοι υπολογισμού της αμοιβαίας πληροφόρησης βασισμένοι στην παραπάνω ιδέα, οι οποίοι για το χώρο Z , χρησιμοποιούν τη μέγιστη νόρμα:

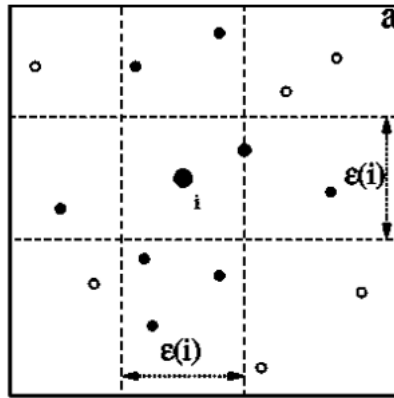
$$\|z - z'\| = \max \{\|x - x'\|, \|y - y'\|\} \quad (17)$$

Θεωρώντας ως $e(i)/2$ την απόσταση από το z_i στον k κοντινότερο γείτονα και ως $e_x(i)/2$ και ως $e_y(i)/2$ τις αποστάσεις μεταξύ των ίδιων σημείων προβαλλόμενων στους υποχώρους X και Y , ισχύει πως $e(i) = \max\{e_x(i), e_y(i)\}$ (18).

Στον πρώτο αλγόριθμο υπολογίζεται ο αριθμός $n_x(i)$ των σημείων, των οποίων η απόσταση από το x_i είναι αυστηρά μικρότερη από $e(i)/2$. Ομοίως για το y . Αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 7. Παρατηρείται ότι η $e(i)$ είναι μια τυχαία μεταβλητή και ως εκ τούτου και οι μεταβλητές $n_x(i)$ και $n_y(i)$ είναι επίσης τυχαίες. Ως $\langle \dots \rangle$ σημειώνονται οι μέσες τιμές για όλα τα $i \in [1, \dots, N]$, καθώς και όλες τις τιμές των τυχαίων δειγμάτων.

$$\langle \dots \rangle = N^{-1} \sum_{i=1}^N E[\dots(i)] \quad (19)$$

Από την Εικόνα 7 προκύπτει $n_x(i) = 5$ και $n_y(i) = 3$.



Εικόνα 7. Επιλογή $e(i)$, $n_x(i)$ και $n_y(i)$ με βάση τον πρώτο αλγόριθμο για $k=1$ για το στοιχείο i (Πηγή: [26])

Η αμοιβαία πληροφόρηση προκύπτει από τον αλγόριθμο:

$$I^{(1)}(X; Y) = \psi(k) - \langle \psi(n_x + 1) + \psi(n_y + 1) \rangle + \psi(N) \quad (20)$$

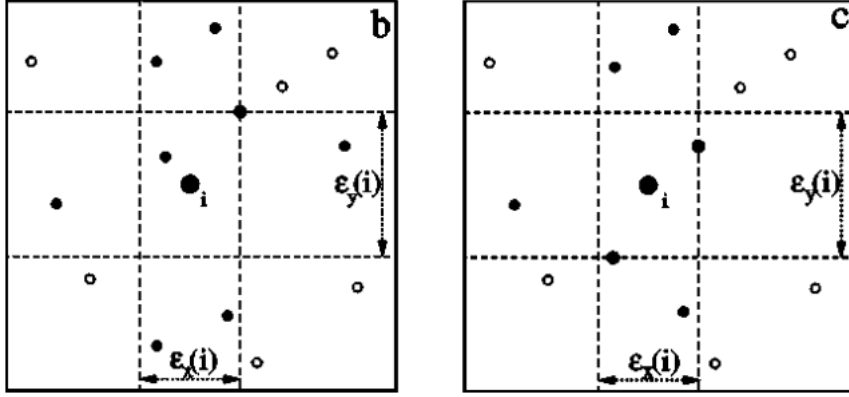
, όπου $\psi(k)$ η διγάμμα συνάρτηση $\psi(x) = \Gamma(x)^{-1} d\Gamma(x)/dx$ (21), με $\Gamma(x)$ τη γάμμα συνάρτηση ίση με $\Gamma(x) = \int_0^\infty u^{x-1} e^{-u} du$ (22). Για τη διγάμμα $\psi(x)$ συνάρτηση ισχύει:

$$\bullet \quad \psi(x+1) = \psi(x) + 1/x \quad (23)$$

$$\bullet \quad \psi(1) = -C, \text{ όπου } C = 0.577 \text{ είναι η Euler-Mascheroni συνεχής.} \quad (24)$$

- $\psi(x) \approx \log x - 1/2x$, για μεγάλα x . (25)

Ο αριστερός πίνακας (b) απεικονίζει μία περίπτωση, όπου τα $e_x(i)$, $e_y(i)$ καθορίζονται από το ίδιο σημείο, ενώ ο δεξιός (c) απεικονίζει μία περίπτωση, όπου τα $e_x(i)$, $e_y(i)$ καθορίζονται από διαφορετικά σημεία (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Επιλογή $e_x(i)$, $e_y(i)$, $n_x(i)$ και $n_y(i)$ με βάση το δεύτερο αλγόριθμο για $k=2$ (Πηγή: [26])

Εναλλακτικά, στο δεύτερο αλγόριθμο, αντικαθιστώντας τα $n_x(i)$ και $n_y(i)$ με τον αριθμό των σημείων, όπου $\|x_i - x_j\| \leq e_x(i)/2$ (26) και $\|y_i - y_j\| \leq e_y(i)/2$ (27), προκύπτει:

$$I^{(2)}(X; Y) = \psi(k) - \frac{1}{k} - \langle \psi(n_x) + \psi(n_y) \rangle + \psi(N) \quad (28)$$

Και οι δύο αλγόριθμοι δίνουν παρόμοια αποτελέσματα, με τον πρώτο να δίνει για τον ίδιο αριθμό k γειτόνων μικρότερα στατιστικά λάθη, αλλά μεγαλύτερα συστηματικά. Παρ' όλα αυτά, το τελευταίο είναι σημαντικό μονάχα στις περιπτώσεις πολύ μεγάλων διαστάσεων. Γενικά, από ένα σημείο και μετά εξαιτίας των πολύ κοντινών αποτελεσμάτων των δύο αλγορίθμων, έπαψε να γίνεται διαχωρισμός αυτών.

Σχετικά με τον ιδανικό αριθμό k επιλογής γειτόνων, για πρακτικές εφαρμογές προτείνεται $k > 1$, ώστε να αποφευχθούν τα στατιστικά λάθη, όμως πολύ μεγάλες τιμές k , επίσης αποφεύγονται, διότι τότε αυξάνονται αισθητά τα συστηματικά λάθη. Οι προτεινόμενες τιμές είναι $k = 2-4$. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε αριθμός γειτόνων ίσος με τρία ($k = 3$).

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό συμπεριλαμβάνεται η ανάλυση των δεδομένων καθώς και μια εκτενής περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Η επεξεργασία των στοιχείων, όπως και η εφαρμογή του θεωρητικού υποβάθρου πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον python 3.8.

4.2 Περιγραφή πειράματος

4.2.1 Προσαρμογή των δεδομένων

Προκειμένου να εξεταστεί η αλληλεξάρτηση δύο τυχαίων μεταβλητών με χρήση της αμοιβαίας πληροφόρησης είναι ανάγκη να υπάρχει ένας ικανοποιητικός αριθμός στοιχείων για εξέταση. Με στόχο, συνεπώς, τη ανάλυση των οχημάτων κατά τη διάρκεια εμφάνισής τους στο οδικό δίκτυο συνολικά, αλλά και ανά περιόδους, από το σύνολο των δεδομένων κρατήθηκαν όλα εκείνα τα μηχανοκίνητα, που βρισκόντουσαν στο τμήμα της λεωφόρου Αλεξάνδρας τουλάχιστον 52 χρονικές στιγμές. Οι 52 χρονικές στιγμές μεταφράζονται σε 41.6 δευτερόλεπτα πραγματικού χρόνου.

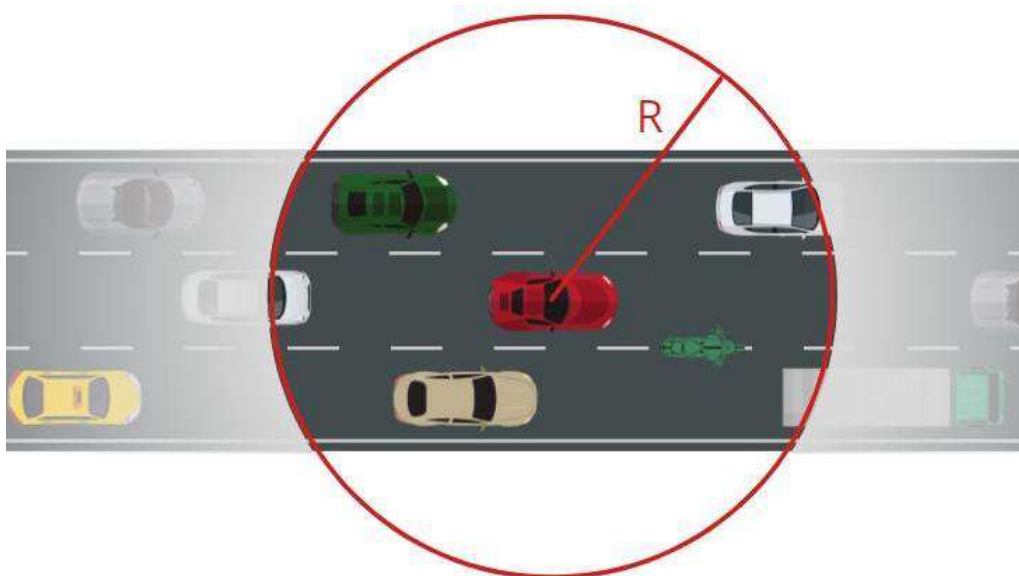
Ένας ακόμη λόγος, για τον οποίο κρίθηκε απαραίτητη αυτή η μείωση των δεδομένων, είναι ο μεγάλος όγκος τους, ο οποίος δυσχέραινε σε έντονο βαθμό την ανάλυσή τους.

4.2.2 Δημιουργία πίνακα «επαφής»

Με απώτερο σκοπό την εύρεση των γειτόνων κάθε οχήματος, δημιουργήθηκε με βάση τις ακόλουθες παραγράφους ένας τρισδιάστατος πίνακας (1229*387*387), ο οποίος για κάθε χρονική στιγμή δείχνει αν δύο οχήματα έχουν «επαφή» μεταξύ τους. Ένας τέτοιος πίνακας σχεδιάστηκε για κάθε εξεταζόμενη ακτίνα. Πιο συγκεκριμένα, όπως ήδη αναφέρθηκε, στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση της κρίσιμης ακτίνας επιρροής κάθε οχήματος, που αναλύθηκε. Αυτό σημαίνει έρευνα για την αμοιβαία πληροφόρηση, που έχει κάθε μηχανοκίνητο με τα υπόλοιπα εντός ένα καθορισμένου χωρικού ορίου κάθε φορά. Ως καθορισμένο χωρικό όριο αναφέρονται οι ακτίνες που εξετάστηκαν.

Ορισμός ακτινών επιρροής

Δεδομένου ότι το υπό μελέτη οδικό δίκτυο είναι μήκους 600 μέτρων, το εύρος των πιθανών ακτινών επιρροής κάθε οχήματος, που επιλέχθηκε είναι από 10 ως 200 μέτρα ανά 10. Με άλλα λόγια διερευνήθηκαν οι γείτονες κάθε οχήματος για 20 σε σύνολο ακτίνες επιρροής. Η εικόνα που ακολουθεί απεικονίζει την έννοια της «ακτίνας επιρροής» (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Περιοχή επιρροής- Ακτίνα

Ορισμός χρονικών περιόδων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, εξετάστηκαν τα οχήματα που εντοπίστηκαν στη λεωφόρο τουλάχιστον 41.6 δευτερόλεπτα. Κάθε όχημα αναλύθηκε καθολικά για όλες του τις χρονικές στιγμές και μετέπειτα εξετάστηκε εκτενέστερα για 4 συγκεκριμένες χρονικές περιόδους διάρκειας 10.4 δευτερολέπτων, δηλαδή 13 χρονικών στιγμών. Συνεπώς με την έννοια της πρώτης περιόδου γίνεται αναφορά στις 13 πρώτες χρονικές στιγμές κάθε οχήματος, ομοίως ως δεύτερη περίοδος αναφέρονται οι επόμενοι 13 χρόνοι κ.ο.κ.

Αυτός ο χρονικός περιορισμός έγινε, καθώς στην πρώτη περίπτωση δίνεται μια πιο ολοκληρωμένη και γενική εικόνα του κάθε οχήματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση συγκρίνεται η αμοιβαία πληροφόρηση μεταξύ του εξεταζόμενου μηχανοκίνητου με το περιβάλλον του σε συγκεκριμένες συνθήκες και χρόνο, αλλά εναλλάσσοντας την ακτίνα, προκειμένου να ακολουθήσουν συμπεράσματα σχετικά με την κατάλληλη ακτίνα επιρροής.

Απόσταση οχημάτων

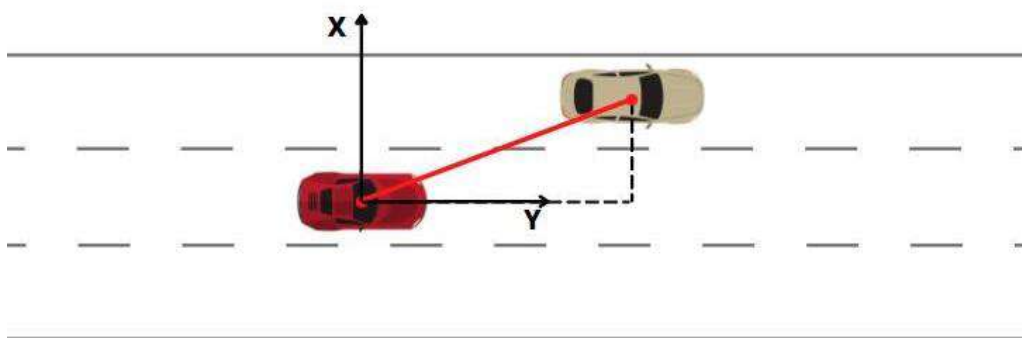
Στα δεδομένα κάθε όχημα περιγράφεται από ένα σημείο με συντεταγμένες x και y . Θεωρείται ότι τα σημεία αυτά αναφέρονται στο κέντρο του κάθε μηχανοκίνητου. Έτσι, η απόσταση του εξεταζόμενου οχήματος με ένα γειτονικό του υπολογίζεται ως εξής:

$$Dist_{i,j} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (29)$$

, όπου:

- $Dist_{i,j}$ η απόσταση μεταξύ των οχημάτων i και j
- x_i, y_i και x_j, y_j οι συντεταγμένες του οχήματος i και j αντίστοιχα

Η εξίσωση (29) αποτελεί μία απλή εφαρμογή του πυθαγόρειου θεωρήματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 10 που ακολουθεί.



Εικόνα 10. Απόσταση μεταξύ δύο οχημάτων με εφαρμογή του Πυθαγόρειου Θεωρήματος

4.2.3 Συμπληρωματικοί πίνακες

Επιπλέον, για κάθε όχημα δημιουργήθηκαν οι ακόλουθοι πίνακες:

Πίνακας χρονικών στιγμών

Όπως προκύπτει από το όνομά του, στον πίνακα αυτό καταγράφονται οι χρονικές στιγμές που κάθε όχημα βρίσκεται επί του οδικού δικτύου (Πίνακας 1). Ένα μηχανοκίνητο θεωρείται ότι βρίσκεται εντός λεωφόρου για όσες χρονικές στιγμές οι στήλες των συντεταγμένων του x και y είναι διάφορες του μηδενός.

Πίνακας 1. Βάση Δεδομένων νο.1

	Type of vehicle	X coordinate	Y coordinate	Velocity	Longitudinal Acc.	Side Acc.	Time
27	1.00000	2890130.17619	2041252.70610	44.80870	-0.02980	0.21750	50400.00000
28	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Στο τμήμα αυτό του πίνακα όπως φαίνεται, το όχημα με ταυτότητα 27 τη χρονική στιγμή 68 βρίσκεται εντός λεωφόρου, ενώ το όχημα με ταυτότητα 28 όχι.

Πίνακας γειτόνων

Σε κάθε όχημα αντιστοιχεί ένα λεξικό πινάκων με τα αυτοκίνητα που βρίσκονται εντός της ακτίνας επιρροής που εξετάζεται κάθε φορά για την κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή και περίοδο. Τονίζεται ότι με τον όρο «γείτονας» γίνεται αναφορά σε όλα τα μηχανοκίνητα που κινούνται στην περιοχή επιρροής.

4.2.4 Υπολογισμός της αμοιβαίας πληροφόρησης

Για τον υπολογισμό της αλληλεξάρτησης ενός οχήματος με ένα άλλο ήταν αναγκαία η επιλογή των δύο μεταβλητών X και Y που θα εξεταζόντουσαν κάθε φορά. Από τα δοθέντα δεδομένα οι τρεις μεταβλητές που μπορούσαν να διερευνηθούν ήταν η ταχύτητα, η διαμήκης επιτάχυνση και η πλευρική επιτάχυνση. Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στη χρήση της ταχύτητας των δύο οχημάτων για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο υποκεφάλαιο 3.3.3 (Αμοιβαία πληροφόρηση) εξηγείται αναλυτικά πως ο καλύτερος τρόπος για την προσέγγιση της αμοιβαίας πληροφόρησης μεταξύ δύο συνεχών μεταβλητών είναι η εξίσωση 28 [26]. Έτσι, για τον υπολογισμό της αμοιβαίας πληροφόρησης δύο οχημάτων βάσει ταχυτήτων χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη scikit-learn [28], μία από τις πιο διαδεδομένες βιβλιοθήκες μηχανικής μάθησης.

4.3 Υπολογισμός κρίσιμης ακτίνας επιρροής

Όπως ήδη αναφέρθηκε, εξετάστηκαν 4 χρονικές περίοδοι διάρκειας 10.4 δευτερολέπτων. Η κρίσιμη ακτίνα της περιοχής επιρροής εκτιμήθηκε όπως εξηγείται στο ακόλουθο παράδειγμα. Έστω ότι εξετάζεται το όχημα με ταυτότητα 1 για την πρώτη περίοδο, δηλαδή τις 13 πρώτες χρονικές στιγμές, που εμφανίστηκε στο οδικό δίκτυο. Έχοντας «παγώσει» το χρόνο, υπολογίζεται για κάθε ακτίνα η αμοιβαία πληροφόρηση του αυτοκινήτου 1 με όλα τα

οχήματα, που βρίσκονται εντός αυτής της ακτίνας. Στη συνέχεια, γίνεται εκτίμηση της μέσης της τιμής της αμοιβαίας πληροφόρησης για κάθε ακτίνα και ως κρίσιμη επιλέγεται εκείνη με τη χαμηλότερη τιμή. Στο κεφάλαιο 5 των αποτελεσμάτων, γίνεται πιο κατανοητή η μεθοδολογία αυτή.

4.4 Βάση δεδομένων

Τα δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διπλωματική εργασία, λήφθηκαν από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο κέντρο της Αθήνας μέσω Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (drones) [1], η οποία είχε ως στόχο την καταγραφή των κυκλοφοριακών ροών και συνθηκών σε αστικό περιβάλλον (Εικόνα 11).



Εικόνα 11. Περιοχή του κέντρου της Αθήνας (Πηγή: [1])

Στο πείραμα καταγράφηκαν στοιχεία για δέκα σημεία στο κέντρο της Αθήνας, όπως αυτά φαίνονται στην Εικόνα 11, από δέκα διαφορετικά ΣμηΕΑ κατά τη διάρκεια της πρωινής αιχμής (08:00-10:30). Για την εφαρμογή του κώδικα και τη διεκπεραίωση των αποτελεσμάτων έγινε χρήση μιας βάσης δεδομένων, όπως αυτή επεξεργάστηκε [29] και αφορά μία κατεύθυνση, τριών λωρίδων της λεωφόρου Αλεξάνδρας τη χρονική περίοδο 10:00-10:30.

Ο πίνακας των δεδομένων ήταν τρισδιάστατος (1129*2339*7). Η πρώτη διάσταση αφορά το σύνολο των χρονικών στιγμών (συνεπώς και δισδιάστατων πινάκων), η δεύτερη τον αριθμό των σειρών, καθεμία εκ των οποίων αναφέρεται σε ένα ξεχωριστό όχημα, η τρίτη των αριθμό των στηλών. Συγκεντρωτικά είχε την ακόλουθη μορφή, που παρουσιάζεται στον πίνακα 2:

Πίνακας 2. Βάση Δεδομένων για τη δεύτερη χρονική στιγμή

	Type of vehicle	X coordinate	Y coordinate	Velocity	Longitudinal Acc.	Side Acc.	Time
63	4.00000	2890133.79511	2040849.54281	30.79690	-0.20700	0.11080	1600.00000
64	2.00000	2890133.78080	2040919.92222	11.34350	-0.17740	-0.02060	1600.00000
65	6.00000	2890128.47145	2040992.11787	0.00000	0.00000	0.00000	1600.00000
66	1.00000	2890129.73483	2040997.85672	5.02250	-0.34840	-0.00060	1600.00000
67	5.00000	2890129.93406	2041021.98358	17.83100	0.01960	1.77190	1600.00000

Οι τύποι των οχημάτων, που εντοπίζονται στα δεδομένα είναι οι εξής:

- Μοτοσυκλέτα (1)
- Επιβατικό αυτοκίνητο (2)
- Ταξί (3)
- Ημιφορτηγό (4)
- Φορτηγό (5)
- Λεωφορείο (6)

Επιπλέον, διευκρινίζεται πως ο άξονας παράλληλος στον άξονα της οδού είναι ο γ-γ' και ο άξονας κάθετος στην διεύθυνση της οδού είναι ο x-x'.

Τέλος, οι μετρήσεις των χρόνων είναι ανά 0.8 δευτερόλεπτα.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

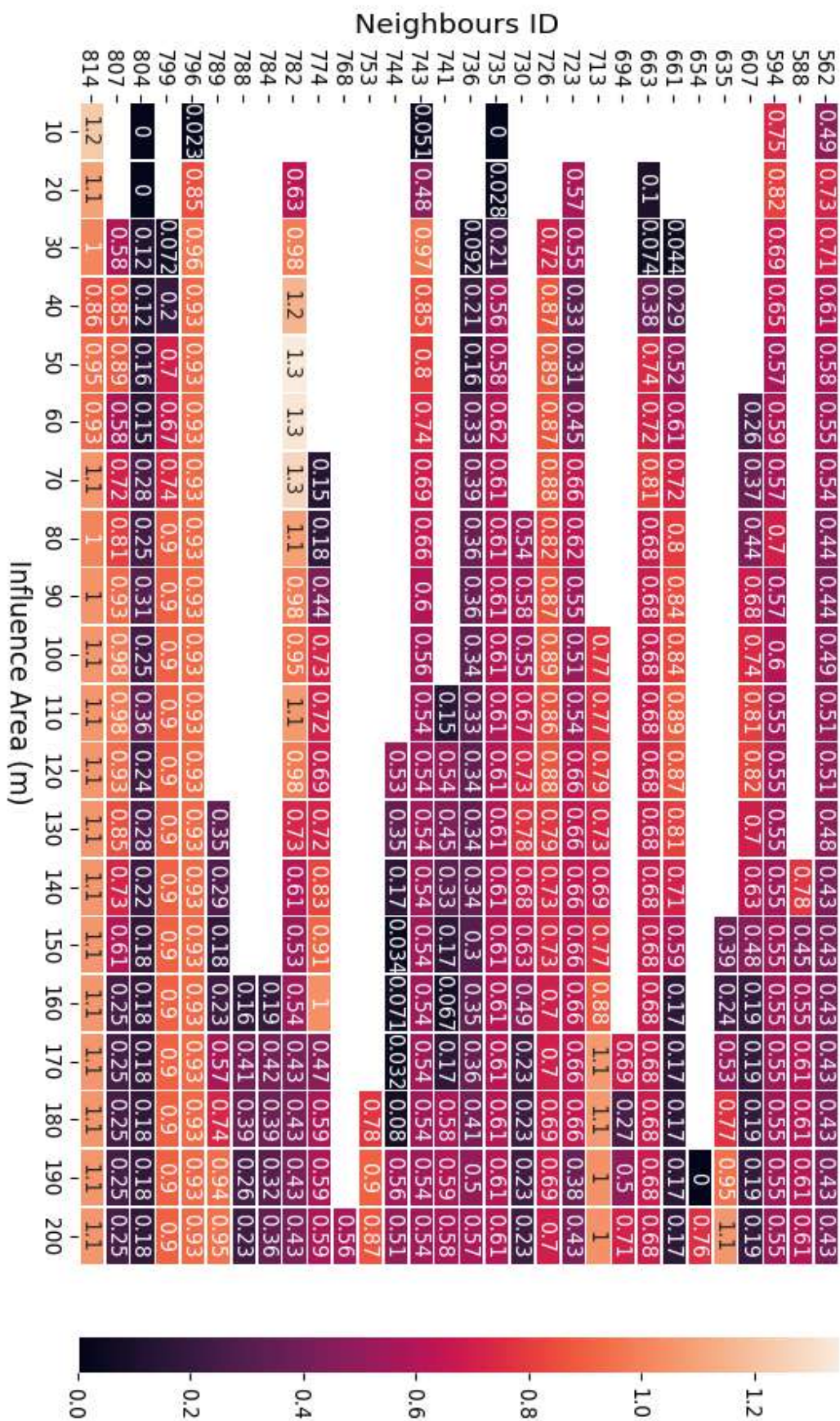
5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία παρουσίαση των ευρημάτων, που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Σε πρώτο στάδιο παρατίθεται ένα διάγραμμα από τη γενική ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε για κάθε όχημα και στη συνέχεια τα αποτελέσματα από την ανάλυση, που έγινε σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων έγινε χρήση των βιβλιοθηκών Matplotlib [30], Seaborn [31] και του προγράμματος Microsoft Excel.

5.2 Γενική ανάλυση

Όπως ήδη αναφέρθηκε, κάθε όχημα αναλύθηκε αρχικά για όλες του τις χρονικές στιγμές. Με άλλα λόγια έγινε ένας υπολογισμός της αμοιβαίας πληροφόρησης του εξεταζόμενου μηχανοκίνητου με όλα τα οχήματα, που συνάντησε σε όλη την παρουσία του στο δρόμο ανεξαρτήτως χρονικής στιγμής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5 της επόμενης σελίδας, για ένα τυχαίο αυτοκίνητο.

Από τον κάθε «χάρτη θερμότητας», που έγινε, μπορεί κάποιος να παρατηρήσει τον αριθμό των οχημάτων που συνάντησε στην προκειμένη περίπτωση το μηχανοκίνητο, καθώς και την ταυτότητα αυτού. Επίσης, δίνεται μία γενικότερη εικόνα για τα γειτονικά οχήματα με τα οποία το εξεταζόμενο είχε μεγαλύτερη αλληλεξάρτηση, δηλαδή αμοιβαία πληροφόρηση. Στις χαμηλές «θερμοκρασίες», μαύρες, ανήκουν τα γειτονικά οχήματα με τη μικρότερη επίδραση στο εξεταζόμενο όχημα. Υπενθυμίζεται ότι η αμοιβαία πληροφόρηση είναι ένας μη μηδενικός αριθμός, όμως δε διαθέτει ανώτερο όριο. Παρ' όλα αυτά στις περιπτώσεις που διερευνήθηκαν, σπάνια κάποια οχήματα εμφάνιζαν αμοιβαία πληροφόρηση μεγαλύτερη του 1.5. Αμοιβαία πληροφόρηση ίση με 1.5 σημαίνει ότι «μοιράζονται» 1.5 bit πληροφορίας.



Διάγραμμα 5. Χάρτης θερμότητας του αυτοκινήτου 779 για όλη τη διάρκεια παρουσίας του

Για παράδειγμα, με βάση το παραπάνω διάγραμμα για το αυτοκίνητο 779:

- Συναντά το όχημα 782 για ακτίνες μεγαλύτερες των 20 μέτρων και είναι το όχημα με τη μεγαλύτερη αλληλοσυσχέτιση. (1.3)
- Η αύξηση της αμοιβαίας πληροφόρησης, που υπάρχει μεγαλώνοντας την ακτίνα, σημαίνει ότι τα οχήματα συναντήθηκαν περισσότερες φορές και οι ταχύτητες τους εμφάνιζαν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους.
- Η μείωση της αμοιβαίας πληροφόρησης μεγαλώνοντας την ακτίνα σημαίνει ότι τα οχήματα συναντήθηκαν να μεν περισσότερες φορές, όμως οι ταχύτητες τους δεν εμφάνιζαν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους.
- Σταθερή αμοιβαία πληροφόρηση σημαίνει ότι τα δύο οχήματα δε συναντήθηκαν περισσότερες φορές αυξάνοντας την ακτίνα.
- Οχήματα, που εμφανίζονται σε αρκετά μεγάλες ακτίνες μόνο είναι πιθανό ότι μία σχετικά μεγάλη αμοιβαία πληροφόρηση δε σημαίνει αυτομάτως και μεγάλη αλληλεξάρτηση, αλλά είναι ίσως τυχαίο γεγονός.

5.3 Ανάλυση για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους

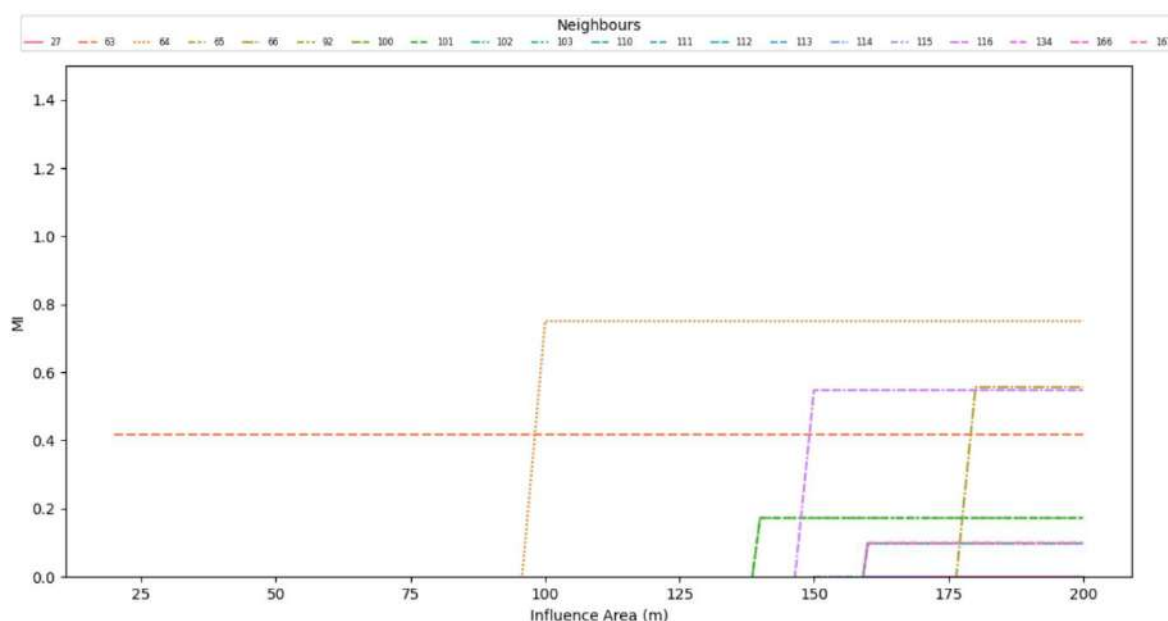
Για την εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων πραγματοποιήθηκε εκτενέστερη ανάλυση για κάθε όχημα για 4 συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, όπως αυτή περιγράφεται στο κεφάλαιο 4. Με βάση τη μεθοδολογία, προκύπτουν για κάθε όχημα τα παρακάτω διαγράμματα:

1. Διάγραμμα “Neighbours”. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούνται οι γείτονες, που έχει το κάθε όχημα για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μεγαλώνοντας την ακτίνα φαίνονται και τα πιο μακρινά οχήματα, που σταδιακά συμπεριλαμβάνονται στη λίστα των γειτόνων (Διαγράμματα 6 & 9).
2. Θηκόγραμμα . Στο διάγραμμα αυτό παρατίθενται για κάθε ακτίνα οι διάφορες τιμές της αμοιβαίας πληροφόρησης του εξεταζόμενου οχήματος με τους γείτονές του. Παρουσιάζει, εν συντομία, το εύρος των τιμών της αμοιβαίας πληροφόρησης για κάθε ακτίνα (Διαγράμματα 7 & 10).

3. Διάγραμμα «Μέσης Τιμής». Στο διάγραμμα αυτό παρατίθεται για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο για κάθε δοκιμασμένη ακτίνα ο μέσος όρος των τιμών της αμοιβαίας πληροφόρησης του εξεταζόμενου οχήματος με τα γειτονικά (Διαγράμματα 8 & 11).

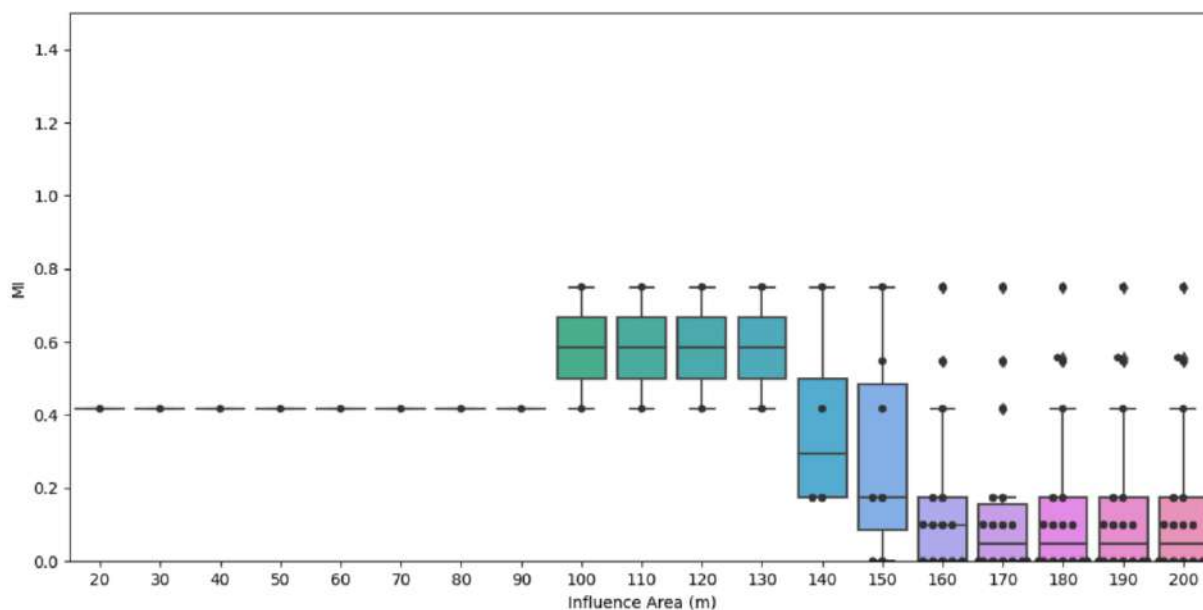
Ακολουθούν ενδεικτικά στις επόμενες σελίδες έξι διαγράμματα για δύο οχήματα, δηλαδή τρία για το καθένα.

Είναι φανερό από το Διάγραμμα 6, πως μετά την εμφάνιση ενός γείτονα, η αμοιβαία του πληροφόρηση με το εξεταζόμενο παραμένει σταθερή, εφόσον εκείνη υπολογίζεται για τις ίδιες χρονικές στιγμές. Επιπλέον στο Διάγραμμα 6 παρατηρείται πως οι γείτονες υπερτερούν των γραμμών που έχουν σχεδιαστεί και αυτό συμβαίνει, διότι χωρικά είναι εντός της εξεταζόμενης ακτίνας αλλά εμφανίζουν με το υπό μελέτη αυτοκίνητο αμοιβαία πληροφόρηση ίση με το μηδέν. Στο άνω μέρος του διαγράμματος διακρίνονται οι γείτονες.



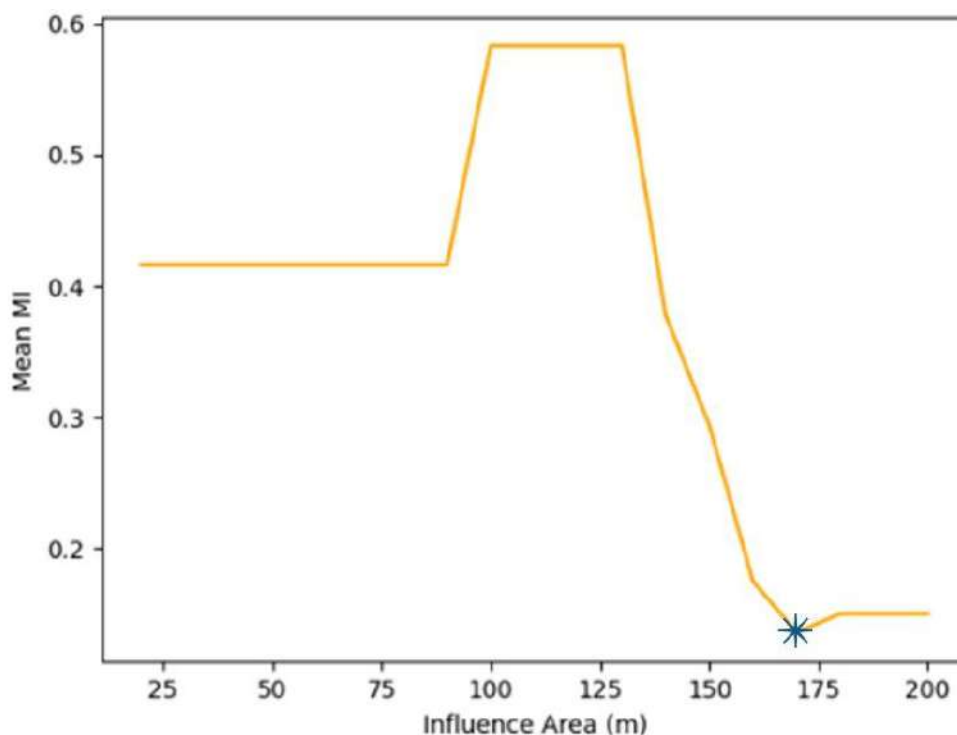
Διάγραμμα 6. «Neighbours» Αυτοκίνητο 62, περίοδος 1

Στο Διάγραμμα 7 τα μαύρα σημεία είναι οι τιμές της αμοιβαίας πληροφόρησης του εξεταζόμενου οχήματος με τους γείτονές του. Με παύλα συμβολίζεται ο μέσος των τιμών για κάθε ακτίνα. Συγκριτικά με το προηγούμενο διάγραμμα φαίνονται πιο καθαρά οι ακτίνες στις οποίες εμφανίζονται οι γείτονες, που παρουσιάζουν μηδενική αμοιβαία πληροφόρηση με το υπό μελέτη αυτοκίνητο.



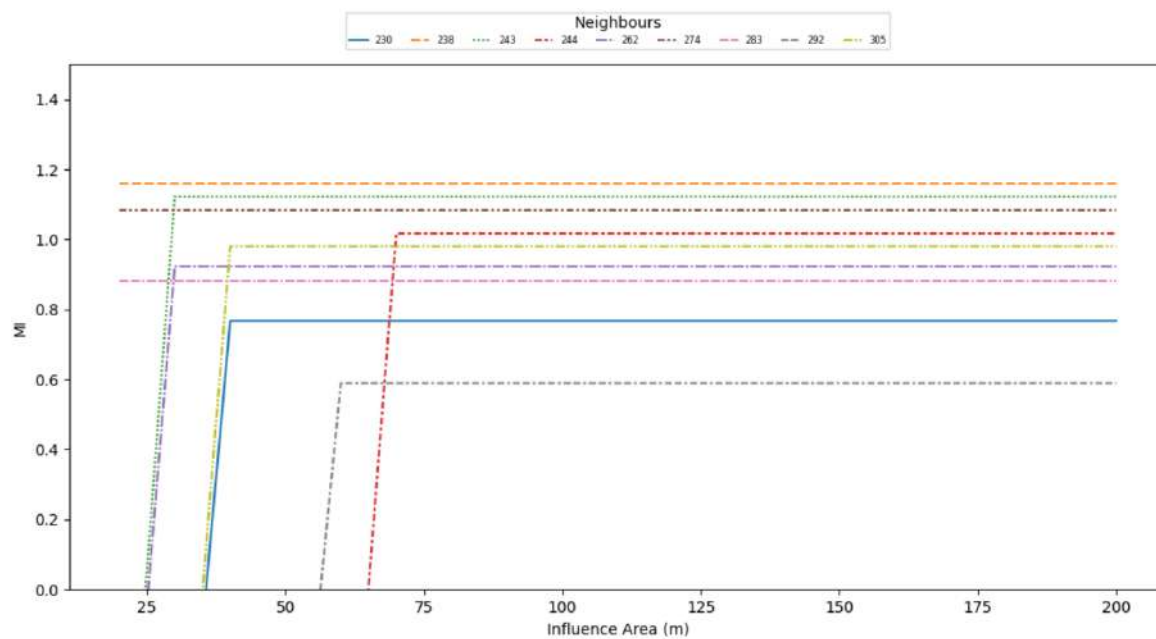
Διάγραμμα 7. Θηκόγραμμα για το Αυτοκίνητο 62, περίοδος 1

Στο Διάγραμμα 8 με αστερίσκο συμβολίζεται η ελάχιστη τιμή του μέσου όρου της αμοιβαίας πληροφόρησης του αυτοκινήτου 62 με τους γείτονες του. Το σημείο αυτό εντοπίζεται για ακτίνα ίση με 170 μέτρα. Η ακτίνα αυτή αποτελεί την ακτίνα της περιοχής επιρροής του αυτοκινήτου 62.

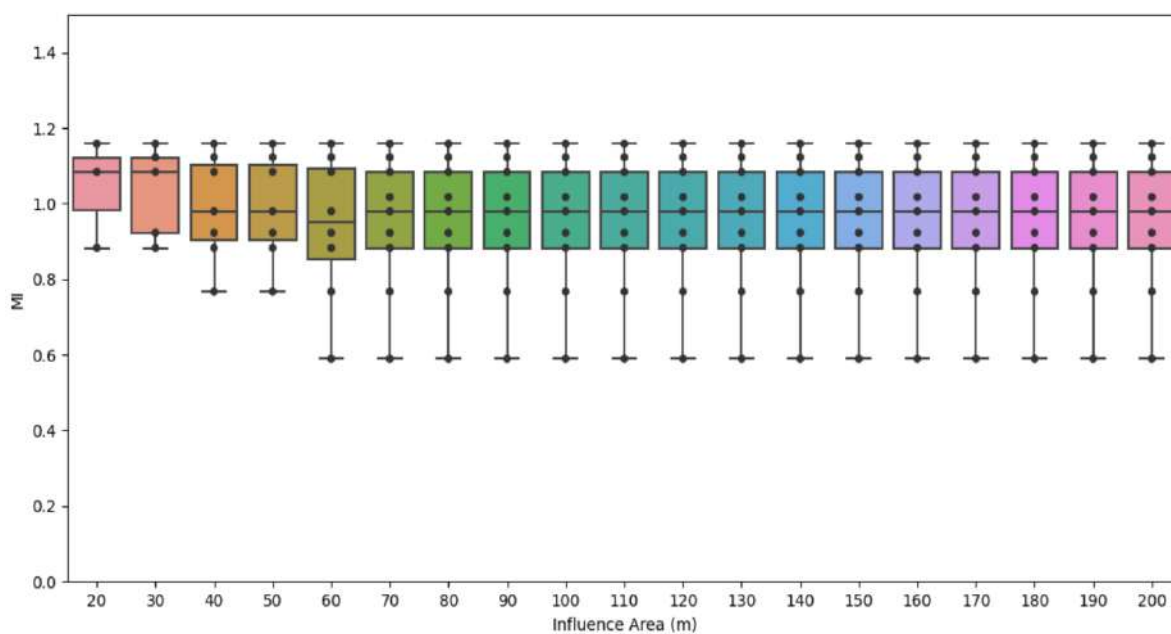


Διάγραμμα 8. «Μέσης Τιμής» Αυτοκίνητο 62, περίοδος 1

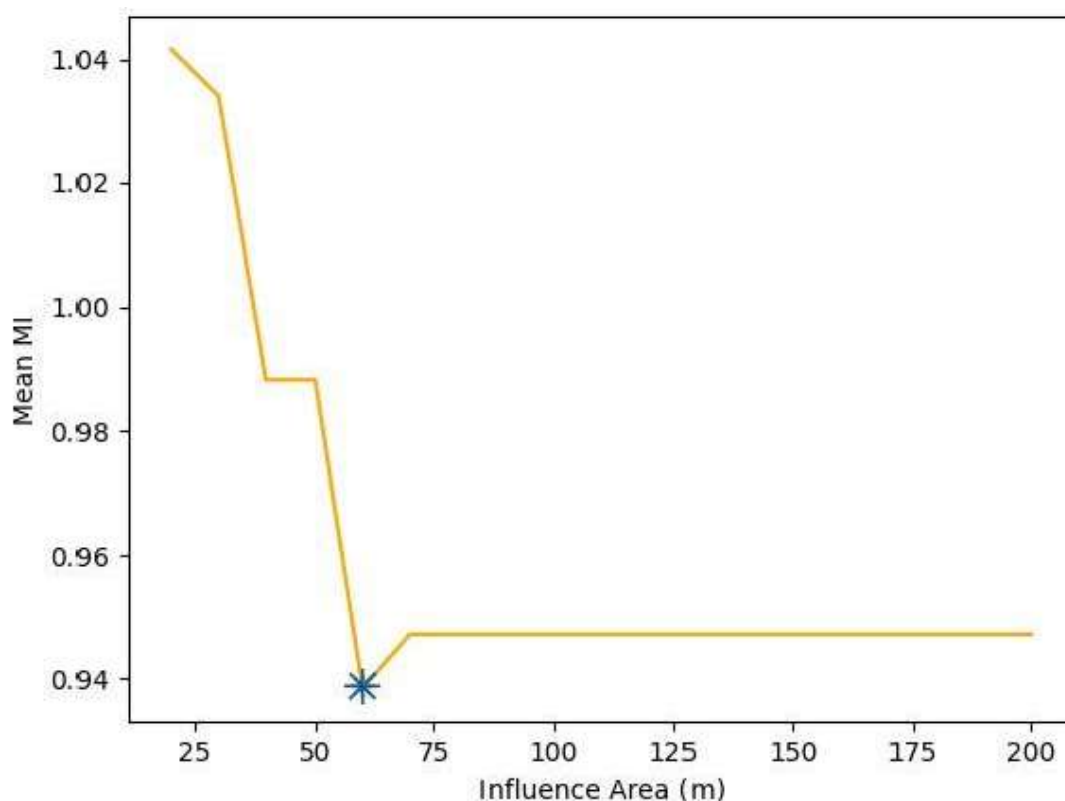
Ακολουθούν αντίστοιχα διαγράμματα για τη μοτοσυκλέτα 225.



Διάγραμμα 9. «Neighbours» Μοτοσυκλέτα 225, περίοδος 4



Διάγραμμα 10. Θηκόγραμμα για τη Μοτοσυκλέτα 225, περίοδος 4



Διάγραμμα 11 «Μέσης Τιμής» Μοτοσυκλέτα 225, περίοδος 4

Αξίζει να σημειωθεί πως στα διαγράμματα κάποιων οχημάτων οι ακτίνες της περιοχής επιρροής (άξονας x) ξεκινάνε από μετά τα 10 μέτρα. Αυτό συμβαίνει επειδή το εξεταζόμενο μηχανοκίνητο για μικρότερες ακτίνες δεν εμφάνιζε κάποιο σταθερό γείτονα στο υπό μελέτη χρονικό διάστημα. Το ίδιο εντοπίζεται και στον άξονα γ, εφόσον το εύρος των τιμών της αμοιβαίας πληροφόρησης επίσης ποικίλει, όμως, όπως ήδη αναφέρθηκε, σπάνια κάποια οχήματα εμφάνιζαν αμοιβαία πληροφόρηση μεγαλύτερη του 1.5.

Στο Παράρτημα παρατίθενται διαγράμματα για μερικά ακόμη οχήματα.

Με βάση τα αποτελέσματα του τελευταίου διαγράμματος, εντοπίζοντας κάθε φορά το ελάχιστο, εκτιμάται η κρίσιμη ακτίνα επιρροής του οχήματος. Επιπλέον, υπολογίζεται η πυκνότητα του οδικού δικτύου με βάση τον αριθμό των μηχανοκίνητων που συμπεριλαμβάνονται εντός του κύκλου με ακτίνα 100 μέτρων. Επιλέχθηκε η ακτίνα αυτή ως ο μέσος των τιμών των ακτινών, που διερευνήθηκαν (10m - 200m). Στην πορεία η πυκνότητα αυτή ανάγεται σε οχήματα ανά χιλιόμετρο (v/km). Έτσι προκύπτει ο τελικός πίνακας των αποτελεσμάτων, κομμάτι του οποίου προστίθεται παρακάτω (Πίνακας 3).

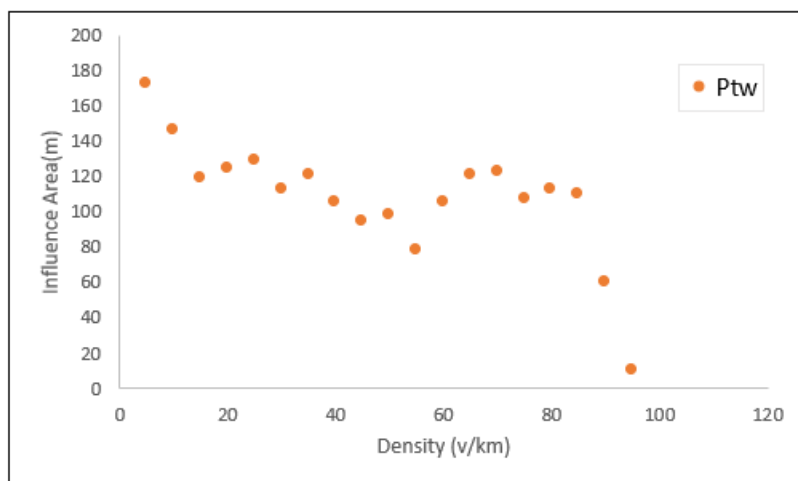
Υπενθυμίζεται ότι για τους τύπους οχημάτων η αντιστοιχία με τους αριθμούς είναι η εξής:

- Μοτοσυκλέτα/ Μηχανοκίνητο δίκυκλο (1)
- Επιβατικό όχημα (2)
- Ταξί (3)
- Ημιφορτηγό (4)
- Φορτηγό (5)
- Λεωφορείο (6)

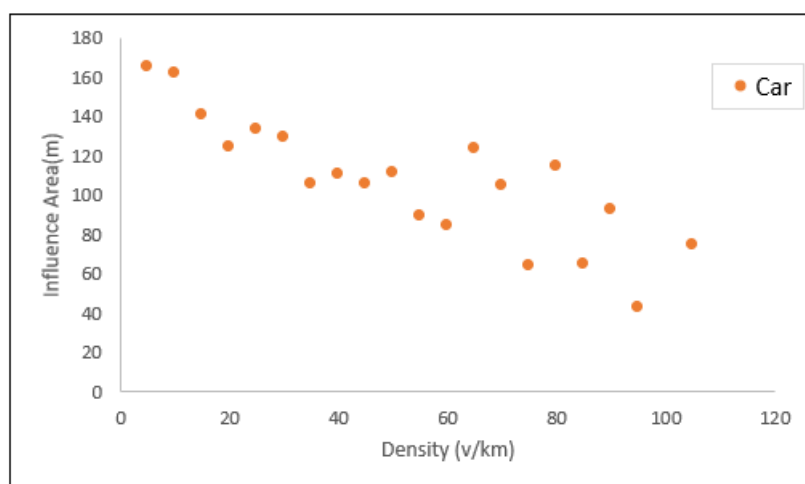
Πίνακας 3. Τμήμα αποτελεσμάτων ανάλυσης της περιοχής επιρροής

Χρονική Περίοδος	Ι.δ. Οχήματος	Είδος οχήματος	Πυκνότητα (v/km)	Περιοχή επιρροής (m)
1	27	1	60	10
1	44	2	15	150
1	45	2	10	30
1	48	2	20	50
1	54	2	20	200
1	62	2	10	170
1	63	2	10	160
1	64	2	70	80
1	65	5	60	30
1	66	1	60	30
1	84	2	10	140
1	87	2	5	130
1	88	2	10	180
1	92	1	25	200
1	99	2	10	50
1	100	2	25	200
1	103	2	25	170
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

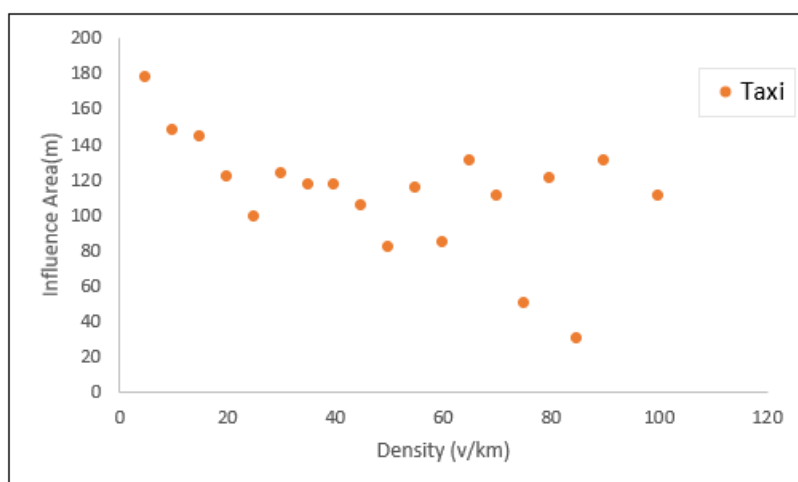
Στηριζόμενοι στα αποτελέσματα του Πίνακα 3 προκύπτουν τα ακόλουθα Διαγράμματα 12 έως 17, που απεικονίζουν τη σχέση πυκνότητας οδικού δικτύου με την ακτίνα επιρροής των οχημάτων. Με άλλα λόγια δείχνουν με ποιο τρόπο μεταβάλλεται η ακτίνα της περιοχής επιρροής από την πυκνότητα του οδικού τμήματος στο οποίο κινούνται. Έχει σχεδιαστεί ένα διάγραμμα για τον κάθε τύπο οχήματος. Αναλυτικότερα, το Διάγραμμα 12 αφορά τα μηχανοκίνητα δίκυκλα, το Διάγραμμα 13 τα επιβατικά αυτοκίνητα, το Διάγραμμα 14 τα ταξί, το Διάγραμμα 15 τα ημιφορτηγά, το Διάγραμμα 16 τα φορτηγά και τέλος το Διάγραμμα 17 τα λεωφορεία.



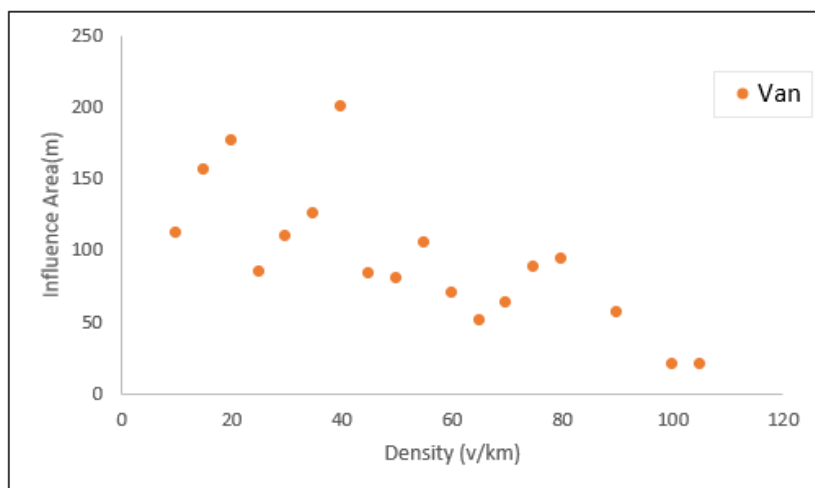
Διάγραμμα 12. Μοτοσυκλέτα/Powered two Wheeler



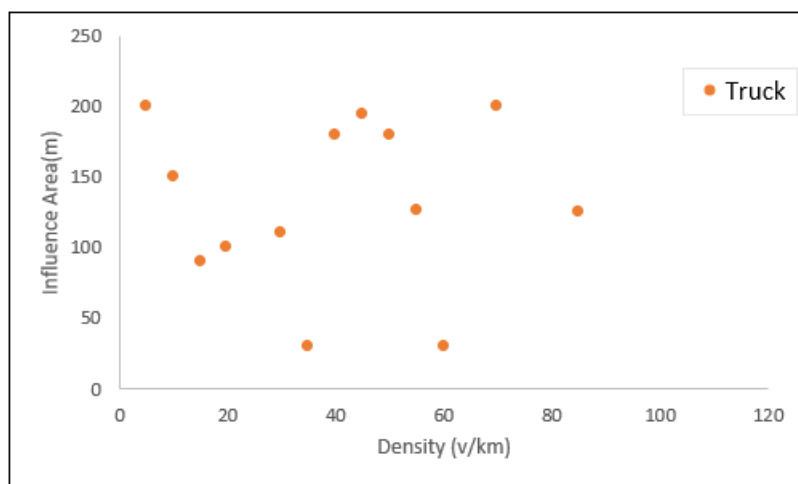
Διάγραμμα 13. Αυτοκίνητο/Car



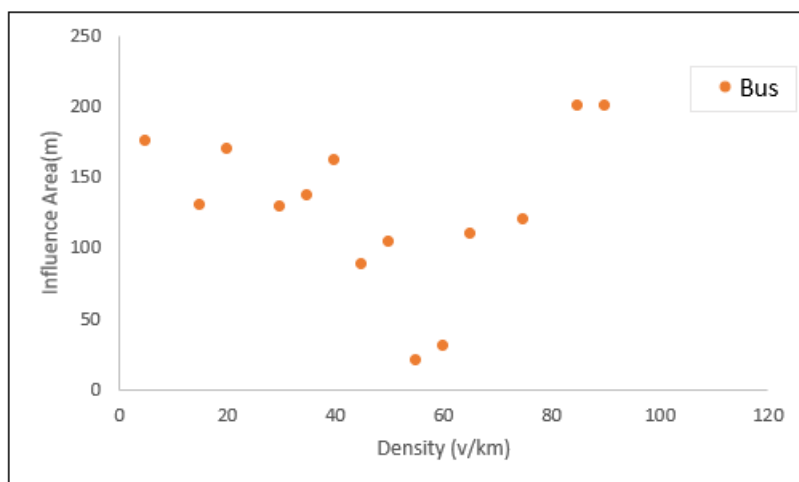
Διάγραμμα 14. Ταξί/Taxi



Διάγραμμα 15. Ημιφορτηγό/Van



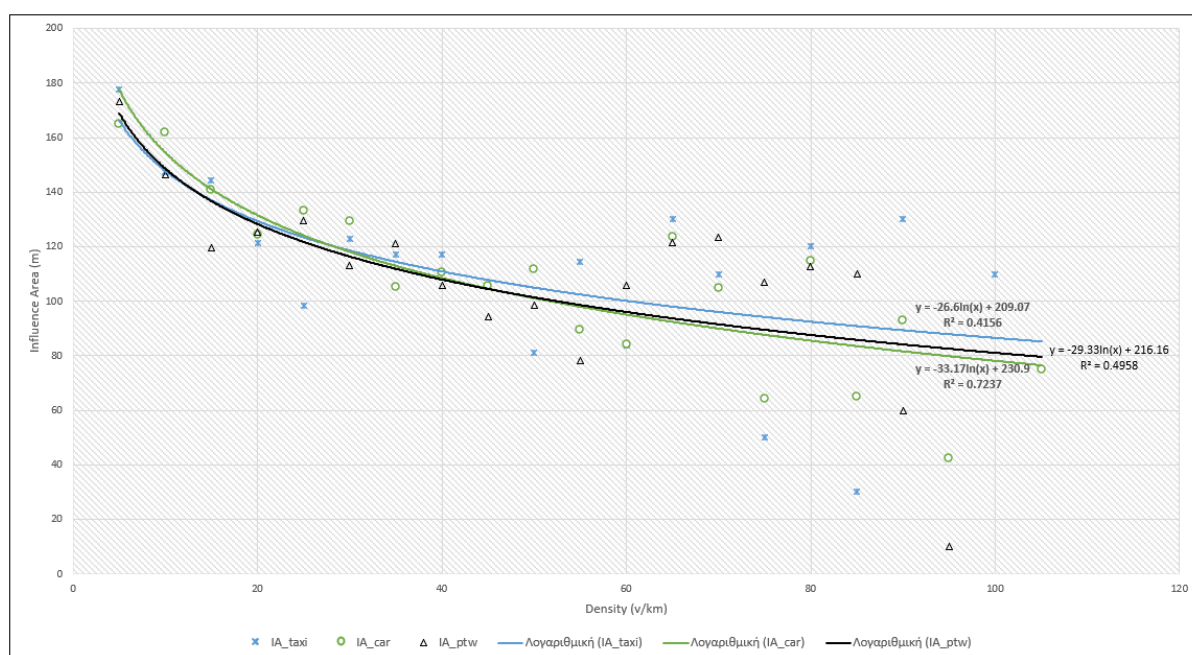
Διάγραμμα 16. Φορτηγό/Truck



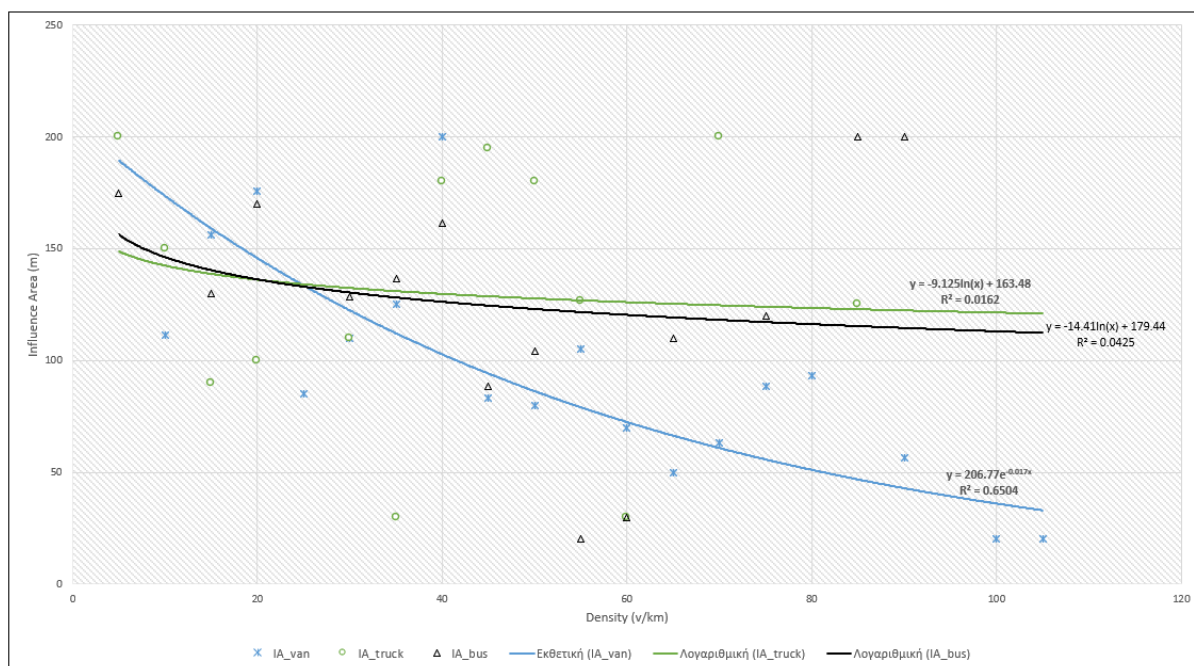
Διάγραμμα 17. Λεωφορείο/Bus

Παρατηρείται ότι τα διαγράμματα που αφορούν στα μηχανοκίνητα δίκυκλα, τα αυτοκίνητα, τα ταξί και τα ημιφορτηγά έχουν, κατά κύριο λόγο, μία καθοδική τάση, δηλαδή όσο αυξάνεται η πυκνότητα του οδικού δικτύου, τόσο μειώνεται η ακτίνα της περιοχής επιρροής. Σε αντίθεση με αυτά, τα φορτηγά και τα λεωφορεία μοιάζει να μην ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο, αλλά κάποιο τυχαίο.

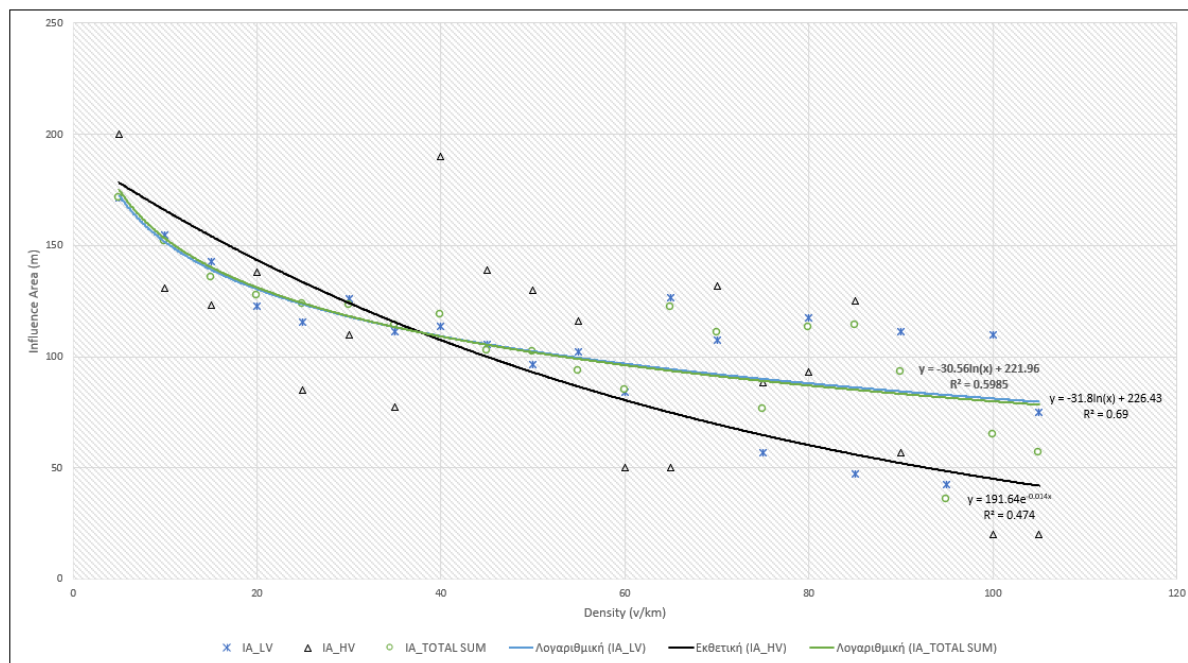
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι λογαριθμικές ή εκθετικές εξισώσεις που περιγράφουν καλύτερα τα αποτελέσματα συνοδευόμενες από το αντίστοιχο συντελεστή προσδιορισμού (coefficient of determination) R^2 (Διαγράμματα 18, 19 & 20). Υπενθυμίζεται ότι ο συντελεστής R^2 λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Τιμές κοντά στο 1 υποδεικνύουν τέλεια προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα.



Διάγραμμα 18. Λογαριθμικές εξισώσεις ταξί, αυτοκινήτων και μοτοσυκλετών



Διάγραμμα 19. Λογαριθμικές και εκθετικές εξισώσεις ημιφορτηγών, φορτηγών και λεωφορείων



Διάγραμμα 20. Λογαριθμικές και εκθετικές εξισώσεις συνόλων οχημάτων

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα, τα συμβατικά αυτοκίνητα παρουσιάζουν έναν συντελεστή προσδιορισμού κοντά στο 70%, τα ταξί με τις μοτοσυκλέτες ένα R^2 σχεδόν 45%, ενώ τα φορτηγά και τα λεωφορεία σημειώνουν χαμηλούς συντελεστές, κοντά στο μηδέν. Τα ημιφορτηγά παρουσιάζουν έναν, επίσης, ικανοποιητικό συντελεστή προσδιορισμού στο 65%. Επιπλέον, οι λογαριθμικές των αυτοκινήτων και των ταξί σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους, όπως και η αθροιστική τους λογαριθμική με αυτή του συνόλου των οχημάτων, με την πρώτη να παρουσιάζει R^2 κοντά στο 60% και τη δεύτερη κοντά στο 70% σχεδόν ίσο με εκείνον των συμβατικών αυτοκινήτων. Τέλος, η εκθετική γραμμή τάσης των βαρέων οχημάτων σημειώνει συντελεστή προσδιορισμού κοντά στο 47%.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος. Ακολουθεί μία σύντομη ανακεφαλαίωση των σημαντικών σημείων της έρευνας.

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της περιοχής επιρροής ενός οχήματος κάτω από διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες και για ποικίλους τύπους οχημάτων κάνοντας χρήση της θεωρίας της αμοιβαίας πληροφόρησης. Τα δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν είναι αποτέλεσμα ενός πειράματος, που έλαβε χώρα στο κέντρο της Αθήνας, με σκοπό την καταγραφή κινηματικών χαρακτηριστικών και τροχιών οχημάτων μέσω ΣμηΕΑ.

Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Python 3.8. Ο τελικός πίνακας των αποτελεσμάτων παρουσιάζει για καθένα από τα έξι είδη οχημάτων την κρίσιμη ακτίνα της περιοχής επιρροής τους, την πυκνότητα του οδικού δικτύου εκείνη τη χρονική περίοδο και την αντίστοιχη χρονική περίοδο.

6.2 Βασικά Συμπεράσματα

Από την ανάλυση της συσχέτισης της περιοχής επιρροής με την πυκνότητα προκύπτει ότι σε κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις, ενώ η πυκνότητα είναι υψηλή, η ακτίνα επιρροής είναι εξίσου μεγάλη αγγίζοντας ακόμη και τα 200 μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι το εξεταζόμενο όχημα εμφάνιζε κοινή σχεδόν ταχύτητα με πολλά άλλα μηχανοκίνητα στο οδικό δίκτυο, με αποτέλεσμα να μην εντοπιστεί κάποιο ελάχιστο. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στον τυχαίο παράγοντα, που εμπεριέχει η ανάλυση μόνο της ταχύτητας ως τυχαίας μεταβλητής, αφού συχνά δύο οχήματα μπορεί να έχουν όμοιες ταχύτητες στο δίκτυο ανεξαρτήτως της μεταξύ τους επιρροής. Ένας άλλος λόγος ίσως είναι ο αρχικός περιορισμός των δεδομένων, με αποτέλεσμα να μην αναλυθούν οχήματα, που ίσως για μερικές χρονικές στιγμές εμφανίστηκαν στο οδικό δίκτυο και επηρέασαν το εξεταζόμενο μηχανοκίνητο.

Στις περιπτώσεις των μηχανοκίνητων δίκυκλων, των συμβατικών αυτοκινήτων και των ταξί το μέγεθος της κρίσιμης περιοχής επιρροής τους επηρεάζεται από την πυκνότητα του οδικού δικτύου: όσο χαμηλότερη η πυκνότητα τόσο μεγαλύτερη η ακτίνα της περιοχής επιρροής του οχήματος και το αντίθετο. Το παραπάνω συμπέρασμα θα έλεγε κάποιος ότι είναι αναμενόμενο, ιδιαίτερα αν αναλογιστεί πως σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, ο οδηγός τείνει να παρατηρεί τα πιο κοντινά σε εκείνον οχήματα.

Στις περιπτώσεις των φορτηγών και των λεωφορείων, από την άλλη πλευρά, η περιοχή επιρροής τους μοιάζει να 'ναι ανεξάρτητη της πυκνότητας του οδικού δικτύου. Το συμπέρασμα αυτό χρήζει παραπάνω διερεύνησης, καθώς δεν μπορεί να διευκρινιστεί αν προκύπτει εξαιτίας της ιδιαίτερης κίνησής τους, που σε γενικές γραμμές είναι σταθερή, ή του μικρού αριθμού των μελετημένων οχημάτων αντίστοιχου τύπου.

Στην περίπτωση των ημιφορτηγών παρατηρήθηκε κάτι περίεργο, καθώς μπορεί να συγκαταλέγονται στα βαρέα οχήματα, όμως τα αποτελέσματα δείχνουν πως, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά την πυκνότητα, η συμπεριφορά τους είναι όμοια με εκείνη των αυτοκινήτων.

Σχετικά με τις λογαριθμικές και εκθετικές γραμμές τάσης, αποδεκτοί γίνονται οι συντελεστές συσχετισμού που είναι κοντά στο 50% και άνω. Εκ πρώτης όψεως το νούμερο αυτό ίσως δεν ακούγεται επαρκές, όμως σε περιπτώσεις όπως η κίνηση των οχημάτων, που διαθέτουν τον σχετικά απρόοπτο παράγοντα της ανθρώπινης οδηγικής συμπεριφοράς, είναι κάτι που συνηθίζεται. Έτσι, οι εξισώσεις που προκύπτουν για τα συμβατικά οχήματα, τις μοτοσυκλέτες και τα ημιφορτηγά είναι ικανοποιητικές. Όσον αφορά τα ταξί, προέκυψε σχετικά χαμηλός συντελεστής συσχετισμού, παρόλο που η λογαριθμική γραμμή τάσης τους δε διαφέρει ιδιαίτερα από εκείνη των αυτοκινήτων.

Συνοψίζοντας, η επιλογή της ταχύτητας, ως τυχαίας μεταβλητής για την έρευνα, δίνει στις περισσότερες περιπτώσεις ικανοποιητικά αποτελέσματα για την έκδοση συμπερασμάτων που αφορούν την περιοχή επιρροής. Επιπλέον, η πυκνότητα αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της ακτίνας της περιοχής επιρροής αντιμετωπίζοντας όλους τους τύπους οχημάτων ως σύνολο. Όμως, αναλύοντας το κάθε είδος μηχανοκίνητου ξεχωριστά, τα λεωφορεία και τα φορτηγά μοιάζουν να είναι ανεξάρτητα της πυκνότητας. Επιπλέον, οι λογαριθμικές και οι εκθετικές εξισώσεις, που προτάθηκαν αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα κυρίως των μοτοσυκλετών, των συμβατικών αυτοκινήτων και των

ημιφορτηγών. Θεωρώντας, παρ' όλα αυτά, τα ταξί και τα συμβατικά αυτοκίνητα ως ελαφριά οχήματα και αντίστοιχα τα ημιφορτηγά και τα φορτηγά ως βαρέα, οι γραμμές τάσης δείχνουν να περιγράφουν την πρώτη κατηγορία, αλλά όχι τη δεύτερη. Έτσι, συμπεραίνεται πως τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας είναι ικανοποιητικά για τα μηχανοκίνητα δίκυκλα, τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα ταξί και τα ημιφορτηγά.

6.3 Προτάσεις περαιτέρω έρευνας

6.3.1 Περιοχή επιρροής με θεωρία της πληροφόρησης

Η περιοχή επιρροής θα μπορούσε να υπολογιστεί με πολλούς ακόμη διαφορετικούς τρόπους, έχοντας ως βάση της θεωρία της πληροφόρησης. Ξεκινώντας από την αμοιβαία πληροφόρηση, θα είχε ενδιαφέρον μια διερεύνηση του ζητήματος με τυχαίες μεταβλητές τις επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις των οχημάτων. Μία ακόμη πρόταση αφορά τον υπολογισμό της αμοιβαίας πληροφόρησης θεωρώντας ως τυχαίες μεταβλητές την απόσταση δύο οχημάτων και τη διαφορά των μεταξύ τους ταχυτήτων.

Η χρήση της δεσμευμένης εντροπίας ίσως να 'ναι μία ακόμη ενδιαφέρουσα σκοπιά για το συγκεκριμένο ζήτημα, αφού θα μπορούσε να δώσει κατεύθυνση στην πληροφορία και κατ' επέκταση στη σχέση μεταξύ δύο οχημάτων. Παρ' όλα αυτά, θα προϋπέθετε την ύπαρξη διακριτών δεδομένων ή έστω την ομαδοποίηση των συνεχών δεδομένων, γεγονός που ίσως καθιστούσε τα αποτελέσματα ελαφρώς αναξιόπιστα.

Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η δημιουργία ενός μοντέλου ή εξίσωσης, που θα μπορούσε να υπολογίσει την επιρροή του περιβάλλοντος του οχήματος ως σύνολο (όχι δηλαδή ανά δύο οχήματα).

6.3.2 Περιοχή επιρροής συγκριτικά με άλλους παράγοντες

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η σχέση πυκνότητας με περιοχή επιρροής. Προτείνεται, συνεπώς, η εξέταση της επιρροής της οδηγικής συμπεριφοράς στον καθορισμό της περιοχής επιρροής, αφού ένας συντηρητικός οδηγός επηρεάζεται από μεγαλύτερο εύρος οχημάτων συγκριτικά με έναν επιθετικό.

6.3.3 Προσομοίωση κυκλοφορίας και ευφυή συστήματα

Μια ιδέα για περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων ή και σύγκριση αυτών θα ήταν η εφαρμογή των δεδομένων σε περιβάλλον προσομοίωσης με στόχο την ανάπτυξη και εκτίμηση των επιπτώσεων των συνεργατικών ευφυών συστημάτων (cooperative ITS) στην οδηγική συμπεριφορά και την μακροσκοπική κυκλοφοριακή ροή.

Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τα αυτοκίνητα, τις μοτοσυκλέτες, τα ταξί και τα ημιφορτηγά, προκειμένου να εξυπηρετήσουν το σκοπό για τον οποίο υπολογίστηκαν. Με άλλα λόγια μέσω αυτών και κάποιων επιπρόσθετων παραγόντων να γίνει προσδιορισμός του εύρους ασύρματου δικτύου ενός αυτόνομου οχήματος, το οποίο, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, αναμένεται να 'ναι μεγαλύτερο της περιοχής επιρροής, ώστε να εξασφαλίζεται η αποστολή των απαραίτητων μηνυμάτων σε όλα τα οχήματα, που επηρεάζονται .

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] E. Barmounakis και N. Geroliminis, «On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment,» 2019.
- [2] European Commission, «Delegated Regulation of 13.3.2019 Supplementing Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council with Regard to the Deployment and Operational Use of Cooperative Intelligent Transport Systems,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/3/2019/EN/C-2019-1789-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>.
- [3] European Commission, «Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM),» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en.
- [4] Ketchum, «Americans Spend More Time Behind the Wheel, Despite Reduction in Daily Mobility, According to Ketchum's Daily Ride Index,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ketchum.com/news/americans-spend-more-time-behind-the-wheel-despite-reduction-in-daily-mobility-according-to-ketchums-daily-ride-index/>.
- [5] . I. M. Φραντζεσκάκης και I. K. Γκόλιας, Οδική Ασφάλεια, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1994.
- [6] A. Reuschel, σε Vehicle movements in the column uniformly accelerated delayed, Österreich, 1950, pp. 193-215.
- [7] L. A. Pipes, «An Operational Analysis of Traffic Dynamics,» Journal of Applied Physics Vol. 24, Issue 3, doi.org/10.1063/1.1721265, 1953.
- [8] D. C. Gazis, R. Herman και R. W. Rothery, «Gazis, Denos C., Robert Herman, and RichaNonlinear Follow-The-Leader Models of Traffic Flow,» Operations Research 9, no. 4 (1961): 545-67, December 1960.
- [9] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata και Y. Sugiyama, «Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation,» Physical Review E Stat Phys Plasmas Fluids Relat Interdiscip Topics. ;51(2):1035-1042. doi: 10.1103/physreve.51.1035, 1995.
- [10] H. Lenz, C. Wagner και R. Sollacher, «Multi-anticipative car-following model,» The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems volume 7, pp. 331-335, 1999.
- [11] R. Jiang, Q. Wu και Z. Zhu, «Full velocity difference model for a car-following theory,» Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys.2001 Jul;64(1 Pt 2):017101. doi: 10.1103/PhysRevE.64.017101. Epub 2001 Jun 22. PMID: 11461442., 2001.
- [12] G. H. Peng και D. H. Sun, «A dynamical model of car-following with the consideration of the multiple information of preceding cars,» Physics Letters A, Volume 374, Issues 15016, doi.org/10.1016/j.physleta.2010.02.020, pp. 1694-1698, 2010.
- [13] Hong-xia Ge, Xiang-pei Meng, Jian Ma και Siu-ming Lo, «An improved car-following model considering influence of other factors on traffic jam,» Physics Letters A, Volume 377, Issues 1-2, doi.org/10.1016/j.physleta.2012.10.005, pp. 9-12, 2012.

- [14] Peng, Yong & Liu, Shijie & Yu και Z. Dennis, «An improved car-following model with consideration of multiple preceding and following vehicles in a driver's view,» *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 538, doi.org/10.1016/j.physa.2019.122967, 2020.
- [15] V. Papathanasopoulou και C. Antoniou, «Towards data-driven car-following models,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 55, doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.016, pp. 469-509, 2015.
- [16] E. I. Vlahogianni, M. G. Karlaftis και J. C. Golias, «Spatio-Temporal Short-Term Urban Traffic Volume Forecasting Using Genetically Optimized Modular Networks,» *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* Volume 22, Issue 5, <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2007.00488.x>, pp. 317-325, 2007.
- [17] E. I. Vlahogianni, M. G. Karlaftis και J. C. Golias, «Temporal Evolution of Short-Term Urban Traffic Flow: A Nonlinear Dynamics Approach,» *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* Volume 23, Issue 7, <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2008.00554.x> , pp. 536-548, 2008.
- [18] E. I. Vlahogiannni, «Enhancing Predictions in Signalized Arterials with Information on Short-Term Traffic Flow Dynamics,» *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 13:2, 73-84, DOI: 10.1080/15472450902858384, 2009.
- [19] Unsok Ryu, Jian Wang, Thaeyong Kim, Sonil Kwak και Juhyok U, «Construction of traffic state vector using mutual information for short-term traffic flow prediction,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 96, ISSN 0968-090X, doi.org/10.1016/j.trc.2018.09.015, pp. 55-71, 2018.
- [20] S. Kaza, Tao Wang, H. Gowda και Hsinchun Chen, «Target vehicle identification for border safety using mutual information,» *Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems*, Vienna, Austria, doi: 10.1109/ITSC.2005.1520212, pp. 1141-1146, 2005.
- [21] «medium.com,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://medium.com/machine-learning-bootcamp/demystifying-information-theory-e21f3af09455>.
- [22] Shannon και Claude Elwood, «A Mathematical Theory of Communication,» *Bell System Technical Journal*, vol. 27, no. (3) doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x, pp. 379-423.
- [23] I. Goodfellow, Y. Bengio και A. Courville, σε *Deep Learning*, MIT Press, 2016.
- [24] C. E. Shannon και Warren Weaver, σε *The Mathematical Theory of Communication*, ISBN 978-0-252-72548-7, Illinois , 1949.
- [25] T. M. Cover και J. A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley-Interscience Publications, 1991.
- [26] A. Kraskov, H. Stögbauer και P. Grassberger, «Estimating Mutual Information,» *Physical Review E.*, Vol. 69, doi:10.1103/physreve.69.066138, 2004.
- [27] «Datacamp.com,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.datacamp.com/community/tutorials/k-nearest-neighbor-classification-scikit-learn>.
- [28] «Scikit-learn,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://scikit-learn.org/stable/>.

- [29] Β. Κυριαζόπουλος και Ε. Ι. Βλαχογιάννη, «Αλγόριθμοι Ενισχυτικής Μάθησης για τη Βελτίωση της Οδηγικής Συμπεριφοράς,» Αθήνα, 2019.
- [30] «Matplotlib,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://matplotlib.org/stable/index.html>.
- [31] «Seaborn,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://seaborn.pydata.org/index.html>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Επιπλέον Διαγράμματα «Μέσης Τιμής»

Στο σημείο αυτό της διπλωματικής εργασίας παρατίθενται επιπρόσθετα παραδείγματα διαγραμμάτων «Μέσης Τιμής». Υπενθυμίζεται πως στον κάθετο άξονα σημειώνεται ο μέσος όρος της αμοιβαίας πληροφόρησης του κάθε αναγραφόμενου οχήματος με το σύνολο των γειτονικών οχημάτων για κάθε ακτίνα και στον οριζόντιο άξονα σημειώνεται η αντίστοιχη ακτίνα της περιοχής επιρροής σε μέτρα. Με αστερίσκο ορίζεται η κρίσιμη ακτίνα κάθε οχήματος, η οποία ταυτίζεται με την ακτίνα για την οποία εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή του μέσου όρου της αμοιβαίας πληροφόρησης (5.3).

