



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Δυναμικά πρότυπα Θεωρίας Παιγνίων για την ανάλυση της κυκλοφοριακής ροής Δικυκλιστών σε Αστικά Δίκτυα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της
Βασάκου Βασιλικής

Για τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών,

Ακαδημαϊκό Έτος 2015-2016

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Βλαχογιάννη Ελένη

Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα,

Ιούλιος 2016

*Στην οικογένειά μου, για την αμέριστη
αγάπη και υποστήριξή τους*

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να εκφράσω κατ'αρχάς την βαθιά ευγνωμοσύνη μου στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κα.Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρο καθηγήτρια του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π,για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της εν λόγω εργασίας ,την άψογη συνεργασία της ,το ενδιαφέρον και τη στήριξή της καθ'όλη τη διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Στη συνέχεια,θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον Υποψήφιο Διδάκτωρα ΕΜΠ κ.Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκη για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις του και γενικότερα για την σημαντική συμβολή του στη διεκπεραίωση της διπλωματικής αυτής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένειά μου για την ηθική και υλική συμπαράστασή τους,την ανιδιοτελή αγάπη και πίστη τους σε μένα καθώς και στους φίλους μου για την κατανόηση και τη βοήθειά τους.

Δυναμικά πρότυπα Θεωρίας Παιγνίων για την ανάλυση της κυκλοφοριακής ροής Δικυκλιστών σε Αστικά Δίκτυα

της
Βασάκου Βασιλικής

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η Θεωρία Παιγνίων μπορεί να εφαρμοσθεί στη μελέτη της κίνησης των δικυκλιστών κατά την προσπέραση, υποθέτοντας πως τόσο ο δικυκλιστής, όσο και ο οδηγός του ΙΧ που προσπερνάται είναι ορθολογικοί και αναπτύσσουν στρατηγικές με στόχο την επιδίωξη της μεγιστοποίησης των απολαβών τους, κατά την συνύπαρξή τους στο οδικό δίκτυο. Χρησιμοποιώντας μία βάση δεδομένων 850 φαινομένων προσπέρασης, που συλλέχθηκαν σε μία αστική οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση στο κέντρο της Αθήνας σε προγενέστερη έρευνα, εξάγονται οι αναγκαίες μεταβλητές που περιγράφουν καλύτερα τις αποφάσεις και τις αντίστοιχες απολαβές των δύο αυτών παικτών που αλληλεπιδρούν και στη συνέχεια μορφώνονται εκτεταμένης μορφής (δυναμικά) παίγνια. Σε καθένα από αυτά, διερευνάται μία διαφορετική στρατηγική και τα αποτελέσματά της σε όρους απολαβών και για τους δύο παίκτες. Στη συνέχεια ποσοτικοποιείται η απόκλιση των επιλογών των χρηστών από τη βέλτιστη στρατηγική τους.

Dynamic Game Theoretic Standards for the analysis of Powered Two Wheelers Traffic flow in Urban Road Networks

By
Vasakou Vasiliki

Supervisor: Vlahogianni Eleni, Assistant Professor N.T.U.A

Abstract

The aim of this research is to investigate the applicability of Game Theory for modeling motorcycle overtaking, assuming that both the PTW driver, as well as the driver of the vehicle being overtaken, are rational-decision makers who develop strategies that will maximize their payoff, while interacting in urban road networks. Based on a database of 850 overtaking cases collected in a four lane urban arterial road in the center of Athens, the necessary variables that best describe the decisions of the players who interact and their payoffs are extracted and, then, a number of extended games are formed. In each game, a different strategy and her outcome in terms of payoff for both players is being investigated. Further, the results explaining the divergence from the optimum strategy are analyzed and discussed.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων για την μελέτη του φαινομένου της προσπέρασης του δίκυκλου σε μία αστική αρτηρία. Προκύπτουν διαφορετικά παίγνια, τα οποία, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές συνθήκες και παραμέτρους, συμβάλλουν στη διερεύνηση της συμπεριφοράς των δύο οδηγών (δίκυκλιστή και προπορευόμενου οχήματος).

Αρχικά, γίνεται η υπόθεση πως αμφότεροι οι δύο παίκτες (1:δίκυκλιστής, 2:προπορευόμενο όχημα) είναι ορθολογικοί, δηλαδή ακολουθούν στρατηγικές που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση των απολαβών τους. Παράλληλα, γίνεται η θεώρηση πως ακολουθούν εκτεταμένη στρατηγική, δηλαδή δεν αποφασίζουν ταυτόχρονα τη στρατηγική που θα ακολουθήσουν, αλλά σε σειρά ο ένας μετά τον άλλο, γνωρίζοντας δηλαδή εκ των προτέρων την στρατηγική του άλλου παίκτη.

Έπειτα, σε κάθε παίγνιο, γίνεται ο προσδιορισμός των μεταβλητών που θα ληφθούν υπόψη για τη διαμόρφωση των στρατηγικών και απολαβών των παικτών, χρησιμοποιώντας ως βάση δεδομένων πραγματικές μετρήσεις 850 προσπεράσεων (εκ των οποίων οι 526 τελικώς προσπέρασαν), που διεξήχθησαν σε παλαιότερη διπλωματική, σε αστική αρτηρία 4 λωρίδων (2 ανά κατεύθυνση) στο κέντρο της Αθήνας. Στη συνέχεια, για κάθε παίγνιο διαμορφώνονται τα διαγράμματα με βάση τον συντελεστή λ του QRE που δείχνει πόσο συμμορφώνεται κάθε παίκτης και κατά πόσο εύκολα ακολουθεί τη βέλτιστη για τον ίδιο στρατηγική.

Όσον αφορά στο πρώτο παίγνιο, διερευνάται η συνεργασία που προκύπτει μεταξύ των δύο οδηγών/παικτών. Συγκεκριμένα, κάθε παίκτης θεωρείται ως συνεργάσιμος ή μη βάσει διαφορετικών παραμέτρων. Για το δίκυκλιστή η έννοια της συνεργασίας βασίζεται από την απόστασή του από το προπορευόμενο όχημα καθώς και αν βρίσκεται στην ίδια λωρίδα με αυτό. Για τον οδηγό του προπορευόμενου ΙΧ, η συνεργατικότητα του προσδιορίζεται από το άνοιγμα που αφήνει στον μοτοσικλετιστή να προσπεράσει. Εφόσον αμφότεροι οδηγοί προτιμούν να φτάσουν γρήγορα και με ασφάλεια στον προορισμό τους, οι απολαβές τους στηρίζονται στην ταχύτητα και την άνεση κατά την προσπέραση. Για εκτεταμένη μορφή παιχνιδιού, ως κυρίαρχη στρατηγική εμφανίζεται η μεταξύ συνεργασία των δύο παικτών ανεξάρτητα από τη σειρά που παίζουν. Κατόπιν, μορφώνοντας τα διαγράμματα QRE διαπιστώνεται ότι τόσο ο δίκυκλιστής όσο και ο οδηγός του ΙΧ επιλέγουν σε κάθε περίπτωση να συνεργαστούν, καθώς η απόφασή τους αυτή θα μεγιστοποιήσει τις απολαβές τους, δηλαδή δρουν ορθολογικά.

Το δεύτερο παίγνιο εξετάζει την πρόθεση του δικυκλιστή να προσπεράσει ή όχι και την αντίστοιχη συνεργασία ή όχι του προπορευόμενου οχήματος. Για τον οδηγό του οχήματος οι παράμετροι συνεργασίας είναι ίδιες με το πρώτο παίγνιο, ενώ για το δικυκλιστή λαμβάνεται υπόψη μόνο το αν πραγματοποιείται ή όχι προσπέραση. Ως απολαβή των παικτών θεωρείται η ταχύτητά τους, ενώ ως κυρίαρχη στρατηγική αναδεικνύεται πάλι η συνεργασία. Παρατηρούμε στα διαγράμματα QRE που προκύπτουν ότι η απόφαση του δικυκλιστή για προσπέραση εξαρτάται άμεσα από το άνοιγμα που του αφήνει το μπροστινό του όχημα, το οποίο αντίστοιχα επιλέγει πάντα να συνεργασθεί. Όλες οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τους οδηγούς έχουν ως στόχο την επίτευξη της βέλτιστης για τους ίδιους στρατηγικής για το λόγο αυτό θεωρούνται ως ορθολογικοί.

Το τρίτο παίγνιο εξετάζει τη συνεργασία των δύο παικτών ως εξής: για τον δικυκλιστή αν η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα είναι μεγαλύτερη ή ίση των 4.95 m και ευρίσκονται και οι δύο στην ίδια λωρίδα κυκλοφορίας, ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος αν η διαφορά των ταχυτήτων είναι μικρότερη του μηδενός. Όσον αφορά την κυρίαρχη στρατηγική προκύπτουν τα παρακάτω: Στην περίπτωση που πρώτα επιλέγει ο δικυκλιστής, κυρίαρχη στρατηγική είναι ο δικυκλιστής να μην συνεργασθεί και εν συνεχεία το ΙΧ να συνεργασθεί, ενώ στην δεύτερη περίπτωση που αποφασίζει πρώτο το όχημα ο δικυκλιστής συνεργάζεται και το όχημα δεν συνεργάζεται. Οι οδηγοί, στα διαγράμματα QRE που ακολουθούν παρακάτω, αλλάζουν τη στρατηγική τους πάντα με γνώμονα τη βέλτιστη δυνατή λύση που θα τους εξασφαλίσει αύξηση των απολαβών τους (ορθολογικοί).

Τέλος, το τέταρτο παίγνιο ασχολείται με τη διερεύνηση της συνεργασίας του οδηγού του προπορευόμενου ΙΧ, αν η διαφορά των ταχυτήτων είναι μικρότερη του μηδενός και για τον δικυκλιστή αν προσπερνά ή όχι. Ως κυρίαρχη στρατηγική λαμβάνεται αυτή στην οποία ο δικυκλιστής προσπερνά και ο οδηγός είναι μη συνεργατικός, ανεξάρτητα με τη σειρά που παίζουν οι δύο παίκτες. Τα διαγράμματα QRE δείχνουν ότι ο δικυκλιστής προσπερνά ανεξαρτήτως της στρατηγικής του αντιπάλου του, καθώς μπορεί εύκολα να ανέλθει μπροστά από το όχημα επιταχύνοντας. Παράλληλα, ο οδηγός του ΙΧ σε καμία περίπτωση δεν συνεργάζεται, καθώς στοχεύει στη διατήρηση της ταχύτητάς του, ώστε να φτάσει γρήγορα και με ασφάλεια στον προορισμό του. Η στρατηγική και των δύο οδηγών επιβεβαιώνει, όπως και στις άλλες περιπτώσεις, ότι είναι ορθολογικοί.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	11
1.1 Δίκυκλα, Μεταφορές και Ατυχήματα	11
1.2 Το Φαινόμενο της Προσπέρασης.....	12
1.3 Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών.....	16
1.4 Ευφυή Συστήματα Μεταφορών για Δίκυκλα	17
1.5 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	17
1.6 Διάρθρωση Διπλωματικής	18
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	19
2.1 Προτυποποίηση Προσπέρασης Δικύκλων	19
2.2 Διερεύνηση Κυκλοφοριακής Ροής Δικύκλων	19
2.3 Συμπέρασμα Βιβλιογραφίας.....	22
3. Μεθοδολογία.....	24
3.1 Βασικές έννοιες Θεωρίας Παιγνίων.....	24
3.2 Διαμόρφωση Παιγνίων για την Ανάλυση της Προσπέρασης	26
3.3 Quantal Response Equilibrium.....	30
4. Ανάλυση και Αποτελέσματα.....	33
4.1 Περιγραφή Πειράματος	33
4.2 Βάση δεδομένων.....	34
4.3 Αποτελέσματα.....	35
4.3.1 Μόρφωση εκτεταμένης μορφής παιγνίων	35
4.3.2 Έλεγχος ορθολογικότητας παικτών.....	40
5. Συμπεράσματα.....	49
5.1 Εισαγωγή	49
5.2 Συνοπτική παρουσίαση μεθοδολογίας- αποτελεσμάτων	49
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	51
Βιβλιογραφία	53

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Μοντέλο Δομικών Εξισώσεων για τον Παίκτη 1	21
Σχήμα 2: Μοντέλο Δομικών Εξισώσεων για τον Παίκτη 2	21
Σχήμα 3: Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής	22

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Το δίλημμα του φυλακισμένου	26
Εικόνα 2: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο χάρτη	34
Εικόνα 3: Σημείο που είχε στηθεί η κάμερα επί της πεζογέφυρας στο ρεύμα προς Αθήνα.....	34
Εικόνα 4: Απεικόνιση μετρούμενων μεταβλητών	35

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Πρώτο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής	36
Διάγραμμα 2: Δεύτερο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής.....	38
Διάγραμμα 3: Τρίτο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής.....	38
Διάγραμμα 4: Τέταρτο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής	39
Διάγραμμα 5: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο πρώτο παίγνιο (για PTW)	42
Διάγραμμα 6: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο πρώτο παίγνιο(για Veh).....	42
Διάγραμμα 7: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο δεύτερο παίγνιο (για PTW)	43
Διάγραμμα 8: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο δεύτερο παίγνιο (για Veh).....	44
Διάγραμμα 9: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τρίτο παίγνιο (για PTW).....	45
Διάγραμμα 10: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τρίτο παίγνιο (για Veh)	45
Διάγραμμα 11: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τέταρτο παίγνιο (για PTW)	46
Διάγραμμα 12:Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τέταρτο παίγνιο (για Veh)	47

1. Εισαγωγή

1.1 Δίκυκλα, Μεταφορές και Ατυχήματα

Όσο η κυκλοφοριακή συμφόρηση αυξάνεται στους δρόμους και το κόστος ταξιδιού ανεβαίνει, τόσο οι άνθρωποι τείνουν προς μέσα μεταφοράς τα οποία θα μπορέσουν να καλύψουν τις καθημερινές μεταφορικές τους ανάγκες, με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος και σε μικρό χρονικό διάστημα. Την απάντηση σε αυτή τους την αναζήτηση συχνά βρίσκουν στα δίκυκλα, όπως οι μοτοσικλέτες και τα μοτοποδήλατα, λόγω της ποικιλίας προνομίων που αυτά τους παρέχουν. Μία σύντομη αναφορά σε αυτά τα προνόμια θα μπορούσε να είναι η εξής: τα δίκυκλα προσφέρουν ελευθερία κίνησης στον αναβάτη, η απόκτηση και συντήρησή τους δεν είναι πολυδάπανη σε σχέση με τα ΙΧ, οι οδηγοί τους μπορούν ευκολότερα να βρουν θέση στάθμευσης και να μειώσουν το χρόνο του ταξιδιού τους. Αποτελούν έναν προσιτό και εναλλακτικό τρόπο μεταφοράς για ταξίδια, όπου οι Αστικές Συγκοινωνίες είναι περιορισμένες. Επιπρόσθετα, στην ίδια περίπτωση το περπάτημα ή το ποδήλατο θεωρούνται ανέφικτα λόγω τόσο χρονικών όσο και χωρικών αποστάσεων που χωρίζουν τον μετακινούμενο από τον προορισμό του. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η κατοχή ενός δίκυκλου μπορεί να συμβάλλει στη διεύρυνση των ευκαιριών εύρεσης εργασίας, καθώς πολλές δουλειές απαιτούνται να γίνουν σε μικρό χρονικό διάστημα και σε περιοχές όπου η προσβασιμότητα με το ΙΧ πιθανόν να δυσχεραίνεται ή να είναι ασύμφορη οικονομικά. Τέτοιες δουλειές για παράδειγμα μπορεί να είναι ενός ταχυδρόμου, καθώς και ενός ανθρώπου με θέση γενικών καθηκόντων σε μία επιχείρηση όπου θα είναι υπεύθυνος για τις εξωτερικές δουλειές της επιχείρησης όπως συναλλαγές με Τράπεζες, παραλαβή και μεταφορά δεμάτων σε ταχυδρομείο- μεταφορικές εταιρείες, αγορά ειδών κλπ.

Ο ρόλος των μηχανών στην ολοκληρωμένη πολιτική μεταφορών εγείρει ορισμένα σημαντικά και περίπλοκα θέματα. Τα περιβαλλοντικά οφέλη και ο βαθμός της κυκλοφοριακής αποσυμφόρησης εξαρτώνται από παράγοντες όπως: ο σκοπός του ταξιδιού, το μέγεθος του δίκυκλου που χρησιμοποιείται καθώς και ο τύπος της μεταφοράς τον οποίο προγενέστερα χρησιμοποιούσε ο χρήστης. Είναι σκόπιμο λοιπόν να τονιστεί πως η χρήση μοτοποδηλάτων πρέπει να ενισχύεται ως αντικατάστατο των ΙΧ για μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και για την ευελιξία του μετακινούμενου, ωστόσο πρέπει να αποθαρρύνεται σε περιπτώσεις όπου οι αστικές συγκοινωνίες μπορούν να παρέχουν την ίδια εξυπηρέτηση στον χρήστη σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Παράλληλα το ίδιο πρέπει να συμβεί όταν οι αποστάσεις που ο μετακινούμενος επιθυμεί να διανύσει είναι μικρές και

άρα μπορεί να κινηθεί περπατώντας, προκειμένου να προστατευθεί το περιβάλλον με τη μείωση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Όπως προαναφέρθηκε χάρη στο μικρό τους μέγεθος, την ευελιξία και τον κινητήρα τους, τα δίκυκλα γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή στις προτιμήσεις του κόσμου ως ιδιόκτητου μέσου μεταφοράς. Ιδιαίτερα στις χώρες της Νότιας Ευρώπης, με τον υψηλότερο δείκτη ιδιοκτησίας να βρίσκεται η Ελλάδα, με 150 μοτοποδηλάτα και 100 μοτοσικλές ανά 1000 κατοίκους. Αν και στις περισσότερες χώρες, ο αριθμός των μοτοποδηλάτων μειώνεται αλλά με διαφορετικούς ρυθμούς ή παραμένει σταθερός, εξαίρεση αποτελούν οι χώρες της Μέσης Ευρώπης, καθώς παρατηρείται αύξηση του αριθμού των μοτοσικλετών. Ωστόσο, στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, συναντάται μεγάλο ποσοστό θνησιμότητας σε αναβάτες ηλικίας από 25 ετών και άνω.

Έρευνες ατυχημάτων όπου ο αναβάτης είχε χρησιμοποιήσει μοτοποδηλάτο ή μοτοσικλέτα, δείχνουν ότι μεγάλο ποσοστό εξ' αυτών αποτελεί η σύγκρουση ενός οδηγού αυτοκινήτου με αυτό, καθώς αδυνατεί να διακρίνει εγκαίρως τη διέλευση του μοτοσικλετιστή [20-21]. Οι αιτίες που οδηγούν στη δημιουργία αυτών των προβλημάτων είναι τόσο φυσικές, λόγω του μικρού μεγέθους/πλάτους της μηχανής, όσο και ψυχολογικές: η παρουσία και η συμπεριφορά ενός δικυκλιστή δεν είναι αναμενόμενη από τον οδηγό του ΙΧ και ενίοτε δίνεται λίγη σημασία σ' αυτούς. Ορισμένοι δικυκλιστές ενισχύουν το φαινόμενο αυτό επιταχύνοντας και αναπτύσσοντας μία επιθετική συμπεριφορά. Ως μία ενδεικτική λύση για την αποφυγή δυστυχημάτων θα μπορούσε να είναι η χρήση των προβολέων της μηχανής κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς και η κατάλληλη ένδυση με έντονα φωσφορίζοντα ρούχα. Επιτρέποντας την κίνηση των μηχανών σε λεωφορειολωρίδες μπορεί να συνδράμει στη μείωση των ατυχημάτων και στην ασφαλέστερη μετάβαση των δικυκλιστών στον προορισμό τους.

Η μελέτη της οδικής ασφάλειας αποτέλεσε στο παρελθόν πηγή ενδιαφέροντος για τους ερευνητές, ωστόσο στο φαινόμενο της προσπέρασης των δικυκλιστών από κυκλοφοριακής άποψης έχει γίνει μικρή αναφορά στα μακροσκοπικά ή μικροσκοπικά χαρακτηριστικά κίνησης των δικυκλιστών.

1.2 Το Φαινόμενο της Προσπέρασης

Ένας σύντομος ορισμός της προσπέρασης είναι ο εξής: Προσπέραση είναι η πράξη ενός οχήματος να περνά κινούμενα οχήματα που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση αλλά συνήθως με μικρότερη ταχύτητα, σε δρόμο κατάλληλο για ελιγμό.

Η προσπέραση δίκυκλων αποτελεί πλέον σύνηθες φαινόμενο κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα σε ώρες αιχμής. Ο τρόπος και η θέση που θα λάβει ο δικυκλιστής,

συχνά εξαρτάται από τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας της οδού στην οποία κινούνται. Αναλυτικότερα παρατηρείται ότι:

Αν πρόκειται για οδό μονής λωρίδας κυκλοφορίας, η σωστή προσπέραση σύμφωνα με τον Κ.Ο.Κ. είναι αυτή που πραγματοποιείται με την κίνηση του αναβάτη προς τα αριστερά του προπορευόμενου ΙΧ, προκειμένου να γίνει εύκολα αντιληπτός. Ωστόσο χρειάζεται να εξεταστούν παράγοντες όπως το πλάτος του δρόμου και η απόστασή του από το ΙΧ καθώς και η χρονική και χωρική απόστασή του από τα οχήματα της αντίθετης κατεύθυνσης, προκειμένου η προσπέραση να θεωρηθεί επιτυχής.

Για την περίπτωση των δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, που είναι η συνηθέστερη στην Ελλάδα, η προσπέραση πραγματοποιείται με γνώμονα την εκάστοτε στάθμη εξυπηρέτησης. Για παράδειγμα, αν η στάθμη είναι υψηλή, τότε ο αναβάτης θα κινηθεί στην ελεύθερη λωρίδα του δρόμου ανεξάρτητα αν βρίσκεται στα αριστερά ή δεξιά του, με αποτέλεσμα συχνά η κίνησή του να παίρνει τη μορφή 'ζιγκ-ζαγκ' καθώς ελίσσεται ανάμεσα στα κινούμενα ΙΧ.

Τέλος, όσον αφορά τις 3 λωρίδες κυκλοφορίας, παρατηρείται αύξηση της πολυπλοκότητας μελέτης της κίνησης των δικυκλιστών καθώς είναι λιγότερο περιορισμένοι με πριν, άρα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας επιπλέον παραμέτρους όπως οι ταχύτητες κίνησης των οχημάτων στην κάθε λωρίδα, η απόστασή του από το προπορευόμενο ΙΧ και ο βαθμός κατάληψης της λωρίδας την ώρα που ο δικυκλιστής αποφασίζει να πραγματοποιήσει την προσπέρασή του.

Σύμφωνα με το άρθρο 17 του Κ.Ο.Κ που αναφέρεται στην προσπέραση και στην κυκλοφορία κατά στοίχους ισχύουν τα εξής:

1. Ο οδηγός επιτρέπεται να προσπεράσει προπορευόμενο όχημα, μόνον εφόσον μπορεί να το κάνει χωρίς κίνδυνο ή παρακώλυση της κυκλοφορίας και εφόσον προειδοποιήσει έγκαιρα γι' αυτό, σύμφωνα με το άρθρο 21 παρ. 2 του παρόντος Κώδικα.

2. Το προσπέρασμα επιτρέπεται, κατά κανόνα, από τα αριστερά. Κατ' εξαίρεση, το προσπέρασμα επιτρέπεται από τα δεξιά, αν ο προπορευόμενος οδηγός έχει δώσει σήμα ότι προτίθεται να στρίψει αριστερά και έχει μετακινήσει το όχημα ή τα ζώα του προς την πλευρά αυτήν.

3. Το προσπέρασμα απαγορεύεται γενικά στις εξής περιπτώσεις:

α) Όταν κάποιος από τους οδηγούς που ακολουθούν αυτόν που προτίθεται να προσπεράσει, άρχισε ήδη το προσπέρασμα.

β) Όταν ο οδηγός που προπορεύεται στην αυτή λωρίδα κυκλοφορίας, δώσει σήμα ότι προτίθεται να προσπεράσει άλλον.

γ) Όταν η λωρίδα κυκλοφορίας, την οποία θα χρησιμοποιήσει ο οδηγός κατά το προσπέρασμα, δεν είναι ελεύθερη σε αρκετή απόσταση μπροστά του, κατά τρόπο ώστε, λαμβανομένης υπόψη της διαφοράς ταχύτητας του οχήματός του, κατά το χρόνο του προσπεράσματος, και εκείνης των οχημάτων, τα οποία προτίθεται να προσπεράσει, να μην εκθέσει σε κίνδυνο ή παρεμποδίσει τους ερχόμενους αντίθετα.

δ) Αμέσως προ ή επί μη κυκλικού ισόπεδου οδικού κόμβου, εκτός αν:

I) επιτρέπεται το προσπέρασμα προς τα δεξιά, κατά την περίπτωση της παρ. 2 του άρθρου αυτού,

II) η οδός, στην οποία γίνεται το προσπέρασμα, έχει προτεραιότητα,

III) η κυκλοφορία ρυθμίζεται από τροχονόμο ή με φωτεινούς σηματοδότες και

IV) το όχημα το οποίο προσπερνιέται είναι ποδήλατο, μοτοποδήλατο ή μοτοσυκλέτα χωρίς καλάθι.

ε) Αμέσως προ ή επί ισόπεδου σιδηροδρομικής διάβασης χωρίς κινητά φράγματα, εκτός αν η οδική κυκλοφορία ρυθμίζεται από φωτεινούς σηματοδότες, όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται στους ισόπεδους οδικούς κόμβους.

στ) Αμέσως προ ή σε διάβαση πεζών, η οποία έχει σημανθεί ως διάβαση πεζών στο οδόστρωμα ή με πινακίδα σήμανσης.

ζ) Μέσα στις σήραγγες.

η) Όταν σχολικό λεωφορείο έχει σταματήσει σε οδόστρωμα με μία ή δύο λωρίδες κυκλοφορίας προς την κατεύθυνση που κινείται και έχει αναμμένα τα φώτα έκτακτης ανάγκης για την αποβίβαση και επιβίβαση μαθητών.

4. Ειδικότερα σε οδόστρωμα διπλής κατεύθυνσης, το προσπέρασμα απαγορεύεται και κατά την προσέγγιση σε κυρτή αλλαγή κλίσης ή σε στροφές με ανεπαρκή ορατότητα, εκτός αν υπάρχει στα σημεία αυτά διαχωριστική νησίδα ή δύο τουλάχιστον λωρίδες κυκλοφορίας προς την κατεύθυνση αυτού που προσπερνά, οι οποίες ορίζονται με κατά μήκος διαγραμμώσεις, το δε προσπέρασμα γίνεται χωρίς να εγκαταλείψει ο οδηγός τις λωρίδες κυκλοφορίας που σημειώνονται ως κλειστές γι' αυτούς που έρχονται αντίθετα.

5. Ο οδηγός, κατά το προσπέρασμα, υποχρεούται να αφήνει στο όχημα το οποίο προσπερνά αρκετό χώρο παραπλεύρως.

6. Ο οδηγός, υποχρεούται μετά το προσπέρασμα, να επαναφέρει το όχημά του πλησίον του δεξιού άκρου του οδοστρώματος, χωρίς κίνδυνο γι' αυτούς που προσπερνά. Αν όμως κινείται σε οδόστρωμα με δύο τουλάχιστον λωρίδες κυκλοφορίας κατά κατεύθυνση και προτίθεται να προσπεράσει περισσότερα από ένα οχήματα, μπορεί να παραμείνει στη λωρίδα που χρησιμοποιεί για το προσπέρασμα, αν η ενέργειά του αυτή δεν προκαλεί δυσχέρεια στους οδηγούς ταχύτερων οχημάτων που τον πλησιάζουν από πίσω.

7. Οδηγός που αντιλαμβάνεται ότι άλλος οδηγός προτίθεται να τον προσπεράσει, υποχρεούται να κινείται πλησίον του δεξιού άκρου του οδοστρώματος και να μην επιταχύνει την κίνησή του. Ο οδηγός βραδέως κινούμενου ή ογκώδους οχήματος, του οποίου δεν είναι ευχερές και ασφαλές το προσπέρασμα, λόγω της στενότητας ή της κατάστασης του οδοστρώματος, σε συνδυασμό με την πυκνότητα της αντιθέτως ερχόμενης κυκλοφορίας, υποχρεούται να μειώνει την ταχύτητά του και να πλησιάζει κατά το δυνατόν, στο δεξιό άκρο του οδοστρώματος, για να διευκολύνει το προσπέρασμα από οχήματα που ακολουθούν.

8. α) Σε μονόδρομους και οδούς διπλής κατεύθυνσης, που υπάρχουν δύο τουλάχιστον λωρίδες κυκλοφορίας κατά κατεύθυνση, μέσα σε κατοικημένες περιοχές και τρεις λωρίδες κυκλοφορίας εκτός αυτών, διαχωριζόμενες με κατά μήκος διαγραμμίσεις, επιτρέπεται η κυκλοφορία σε παράλληλες σειρές (στοίχους).

β) Στην περίπτωση αυτή, αλλαγή λωρίδας επιτρέπεται μόνον εφόσον δεν προκαλείται κίνδυνος ή παρακώλυση της κυκλοφορίας και δίνεται έγκαιρα προειδοποίηση, σύμφωνα με το άρθρο 21 παρ. 2 του παρόντος Κώδικα.

γ) Στην περίπτωση που προβλέπεται στο εδάφιο α' της παρούσας παραγράφου, ο προβλεπόμενος τρόπος οδήγησης δε θεωρείται ότι αποτελεί προσπέρασμα κατά την έννοια του παρόντος άρθρου. Η διάταξη της περίπτωσης στ' της παραγράφου 3 του άρθρου αυτού παραμένει εφαρμόσιμη.

9. Αν η πυκνότητα της κυκλοφορίας είναι τέτοια ώστε τα οχήματα να καταλαμβάνουν ολόκληρο το πλάτος του οδοστρώματος προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας και κινούνται με την ταχύτητα του προπορευόμενου αυτών οχήματος, αλλαγή λωρίδας επιτρέπεται μόνο προκειμένου το όχημα να στρίψει δεξιά ή αριστερά ή να σταθμεύσει.

10. Στις περιπτώσεις κίνησης των οχημάτων σε παράλληλες σειρές (στοίχους), οι οδηγοί των βραδυπορούντων οχημάτων υποχρεούνται να κινούν αυτό στη δεξιά λωρίδα του οδοστρώματος.

11. Αυτός που παραβαίνει τις διατάξεις των περιπτώσεων α', β', ε', στ' και ζ' της παραγράφου 3 και της παραγράφου 4 του άρθρου αυτού τιμωρείται με διοικητικό

πρόστιμο επτακοσίων (700,00) ευρώ, τις δε λοιπές διατάξεις, με διοικητικό πρόστιμο ογδόντα (80,00) ευρώ.

1.3 Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών

Ο αστικός χώρος αποτελεί ένα σύνολο υποδομών, δραστηριοτήτων, αλλά και προϊόν της ανθρώπινης ανάγκης για επικοινωνία, κοινωνικές συναναστροφές και οργανωμένες, πολύπλοκες δραστηριότητες. Οι πόλεις χαρακτηρίζονται από το συνεχές της δόμησής τους, τις οργανωμένες υποδομές και την πληθώρα των δραστηριοτήτων αυτών, όπου βασικό συστατικό αποτελεί η επικοινωνία, η οποία επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο με μετακινήσεις εντός του αστικού χώρου. Οι μετακινήσεις επομένως αποτελούν κύριο χαρακτηριστικό της λειτουργίας της πόλης.

Ο αστικός χώρος είναι από τη φύση του περιορισμένος και οι δυνατότητες δημιουργίας νέων υποδομών για την εξυπηρέτηση των ολοένα αυξανόμενων μετακινήσεων είναι μικρές, περιβαλλοντικά προβληματικές και οικονομικά ασύμφορες. Ένα μέτρο που θα μπορούσε να συνδράμει στη διευκόλυνση των μετακινήσεων στις πόλεις, είναι η διαχείριση της αστικής κινητικότητας με χρήση μεθόδων που θα αποσκοπούν στη μεταβολή της ανθρώπινης συμπεριφοράς μέσω της ενημέρωσης του μετακινούμενου ως προς τις εναλλακτικές επιλογές μετακίνησής του. Τέτοιου είδους πληροφόρηση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των Ευφυή Συστημάτων Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems).

Τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (Intelligent Transportation Systems-ITS) είναι ένας συνδυασμός τεχνολογιών πληροφόρησης και επικοινωνιών, εφαρμοσμένων στον τομέα των μεταφορών με στόχο την αποδοτικότερη, ασφαλέστερη και οικονομικότερη κυκλοφορία των ατόμων ή των εμπορευμάτων κάνοντας χρήση των νέων τεχνολογιών, επιτρέποντας την παροχή πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο σε όλους τους εμπλεκόμενους στη μεταφορική διαδικασία.

Τα τελευταία χρόνια δίνεται μεγάλη έμφαση στα συστήματα μεταφορών και ο ρόλος των συστημάτων αυτών έχει καταστεί κρίσιμος για να επιτευχθεί ποιοτική και αποδοτική μετακίνηση και μεταφορά [22-24]. Τα ITS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οδικά, σιδηροδρομικά, θαλάσσια και εναέρια συστήματα μεταφορών, προκειμένου να συμβάλλουν στη βελτίωση της ασφάλειας, τη μείωση του χρόνου και κόστους μεταφοράς καθώς και των αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον. Είναι συμβατά με κάθε μέσο μεταφοράς και μπορούν να εφαρμοσθούν σε εφαρμογές λειτουργίας και διαχείρισης δημοσίων και ιδιωτικών τρόπων ή μέσων μεταφοράς και συγκοινωνίας.

1.4 Ευφυή Συστήματα Μεταφορών για Δίκυκλα

Κύριος στόχος των ITS αποτελεί η εξοικονόμηση των πόρων και η ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής. Σύμφωνα με τους Vahidi και Sayed[25], ο σχεδιασμός τους έγκειται στην προσπάθεια βελτίωσης της κινητικότητας και του επιπέδου ασφαλείας. Σήμερα, οι εφαρμογές στις μεταφορές που χρησιμοποιούν τέτοια έξυπνα συστήματα, είναι πιο ευρείες και πολύπλοκες, περιλαμβάνοντας συστήματα διαχείρισης της κίνησης και ελέγχου των διαδρομών. Παράλληλα, εμπεριέχουν πρόληψη ατυχημάτων και πληροφορίες επιβάτη ή χειριστή που συνδράμουν στη βέλτιστη ροή σε μία ευρεία περιοχή, παρουσιάζοντας εναλλακτικές διαδρομές με διαθεσιμότητα χώρου (πχ αν υπάρχουν δυστυχήματα). [48-50]

Ο Lansdown [26] υπογραμμίζει πως οι πρόσφατες εξελίξεις στα ευφυή συστήματα μεταφορών, επιτρέπουν την εισαγωγή μέσα στο όχημα πληροφοριακών ενδείξεων πιο πολύπλοκης φύσης, όπως η καθοδήγηση πορείας μέσω της χρήσης πολλών πρωτότυπων συστημάτων που δημιουργήθηκαν τα τελευταία χρόνια, εκ των οποίων κάποια από αυτά έχουν χρησιμοποιήσει απλές συμβολικές στατικές απεικονίσεις πληροφοριών ενώ άλλα πολύχρωμους κινούμενους χάρτες. Παρόλα αυτά κρίσιμος είναι ο προβληματισμός γύρω από το πόσο οι πληροφοριακές απεικονίσεις των συστημάτων αυτών, μπορεί να αποσπάσουν την προσοχή των οδηγών και έτσι να γίνει αίτιο πρόκλησης ενδεχομένων ατυχημάτων.

1.5 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Στη διπλωματική αυτή εργασία γίνεται προσπάθεια διερεύνησης του φαινομένου της προσπέρασης των δικυκλιστών με χρήση της Θεωρίας των Παιγνίων. Η Θεωρία Παιγνίων (Game Theory) ορίζεται ως ένα σύνολο αναλυτικών εργαλείων ,σχεδιασμένων να βοηθήσουν στην κατανόηση των φαινομένων που παρατηρούνται όταν αλληλεπιδρούν άνθρωποι οι οποίοι χρειάζεται να λάβουν κάποια απόφαση(παίκτες). Οι βασικές υποθέσεις στις οποίες βασίζεται, είναι ότι τα άτομα που θα λάβουν κάποια απόφαση είναι ορθολογικοί (επιδιώκουν το βέλτιστο για τους ίδιους αποτελέσματα) και λαμβάνουν υπόψη τους τις γνώσεις τους ή τις επιδιώξεις των υπόλοιπων ανθρώπων με τους οποίους συνυπάρχουν. Με βάση την παραπάνω θεώρηση, θα οριστούν ως παίκτες ο δικυκλιστής και το προπορευόμενο όχημα και θα μελετηθεί τι θα συμβεί ανάλογα με την πρόθεσή τους ή όχι για μεταξύ τους συνεργασία. Στη συνέχεια, με βάση τα εκτεταμένης μορφής παίγνια που θα δημιουργηθούν, θα εξεταστεί κατά πόσο εύκολα οι παίκτες επιλέγουν την κατάλληλη για αυτούς στρατηγική. Τα συμπεράσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεταγενέστερες έρευνες, που αφορούν τη χρήση των Ευφυή Συστημάτων Μεταφορών στην κυκλοφορία, προκειμένου να διευκολύνουν την ασφαλή και γρήγορη ροή των οχημάτων.

1.6 Διάρθρωση Διπλωματικής

Η διπλωματική εργασία εξελίσσεται σε πέντε κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στη συμβολή του δίκυκλου στις μεταφορές και στα ατυχήματα, αναφέρεται η έννοια και ο τρόπος προσπέρασης του δικυκλιστή και οι διατάξεις του άρθρου 17 του Κ.Ο.Κ. Παράλληλα, γίνεται μία εισαγωγή στα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών και στα στοιχεία στα οποία θα εστιάσει η έρευνα που θα ακολουθήσει.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προγενέστερες έρευνες που σχετίζονται με την κίνηση των δικυκλιστών, στις οποίες είχε γίνει χρήση τόσο της μεθόδου της προσομοίωσης όσο και πραγματικών μετρήσεων. Ακολουθεί αναφορά σε έρευνες σχετικές με τη χρήση των Ευφυή Συστημάτων Μεταφοράς και στη χρήση της στην ανάλυση του φαινομένου της προσπέρασης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, κάνοντας μία σύντομη εισαγωγή στη θεωρία παιγνίων και πώς αυτή συμβάλλει στη μελέτη του φαινομένου της προσπέρασης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη περιγραφή του πειράματος που διεξήχθη, οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα από τα επιμέρους παίγνια που δημιουργήθηκαν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται προτάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω έρευνες του φαινομένου της προσπέρασης και γίνεται μία σύντομη ανακεφαλαίωση των όσων ειπώθηκαν.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Προτυποποίηση Προσπέρασης Δικύκλων

Τα δίκυκλα συνιστούν μεγάλο ποσοστό των κινούμενων οχημάτων σε μία αστική αρτηρία, λόγω των προνομίων που προσφέρουν στο χρήστη τους. Η μελέτη επομένως της συμπεριφοράς των δικυκλιστών αποτέλεσε αντικείμενο πολλών ερευνών. Στις περισσότερες εξ'αυτών μελετήθηκαν οι παράγοντες που επιδρούν στην ασφάλεια των δικυκλιστών [15-16], ενώ όσον αφορά το φαινόμενο της προσπέρασης ασχολήθηκαν κυρίως με αυτή που πραγματοποιείται από το όχημα [10-14].

Για τη μοντελοποίηση της κυκλοφορίας των δίκυκλων μία πρώτη προσέγγιση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου της προσομοίωσης. Έρευνες πραγματοποιήθηκαν για κίνηση σε δρόμο 2 λωρίδων με χρήση στατιστικών μοντέλων [17] και την κίνηση των μοτοσικλετιστών για διάφορες κυκλοφοριακές ρυθμίσεις [27-28]. Ακόμη αναπτύχθηκαν μοντέλα προσομοίωσης Cellular Automata [29-31]. Ωστόσο, όπως έδειξαν οι έρευνες των *Lee et al.* [32] και *Vlahogianni* [33] η μέθοδος της προσομοίωσης δεν είναι κατάλληλη για την ορθή περιγραφή της συμπεριφοράς των δικυκλιστών, λόγω των προβλημάτων απεικόνισης τροχιών των δίκυκλων κατά την αλλαγή λωρίδας ή όταν προσπερνάνε, κλπ.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην επεξεργασία και ανάλυση των βίντεο, συντελούν στην ακριβή συλλογή δεδομένων για τη μελέτη των τροχιών των δίκυκλων καθώς και φαινομένων όπως αυτό της προσπέρασης. Επομένως, πολλές έρευνες στη συνέχεια διεξήχθησαν με βάση δεδομένα πραγματικού χρόνου.

Μελετήθηκαν οι ελιγμοί που πραγματοποιούνται από την παράλληλη κίνηση των δίκυκλων [18-19], το ελάχιστο κενό ασφαλείας ώστε να θεωρείται ότι ο δικυκλιστής προσπερνά με ασφάλεια, δίχως την ανάπτυξη επιθετικής συμπεριφοράς [34-35] και αναγνωρίστηκαν πρότυπα που προκύπτουν σε καταστάσεις όπου παρατηρούνται σημαντικά περιστατικά με τα οποία έρχονται αντιμέτωποι οι οδηγοί δίκυκλων [36].

2.2 Διερεύνηση Κυκλοφοριακής Ροής Δίκυκλων

Σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε οδικές αστικές αρτηρίες για τη διερεύνηση της κίνησης των δικυκλιστών έναντι άλλων οχημάτων, έγινε χρήση μαθηματικών μοντέλων προκειμένου να μπορέσουν οι επιστήμονες, να κατανοήσουν καλύτερα την οδική συμπεριφορά των παικτών και να προβλέψουν όσο το δυνατόν τη στρατηγική που θα ακολουθήσουν [37-38]. Μέσω της θεωρίας παιγνίων, έγινε η θεώρηση ότι τόσο οι δικυκλιστές όσο και οι οδηγοί των υπόλοιπων οχημάτων,

αποτελούν ορθολογικούς παίκτες οι οποίοι αλληλεπιδρούν και λαμβάνουν αποφάσεις. Ως παίκτης ένα λαμβάνεται ο δικυκλιστής, καθώς είναι αυτός ο οποίος αποφασίζει να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα, λαμβάνοντας υπόψη του στοιχεία όπως η ταχύτητα, το μέγεθος του ΙΧ, η απόσταση μεταξύ τους, το άνοιγμα που δημιουργείται κτλ, προκειμένου να προβεί στην προσπέραση ή όχι.

Ο τρόπος με τον οποίο ο δικυκλιστής θα δράσει και το όχημα θα αντιδράσει, μπορεί να είναι είτε συνεργατικός και άρα να επιτευχθεί σωστά η προσπέραση, είτε μη συνεργατικός.

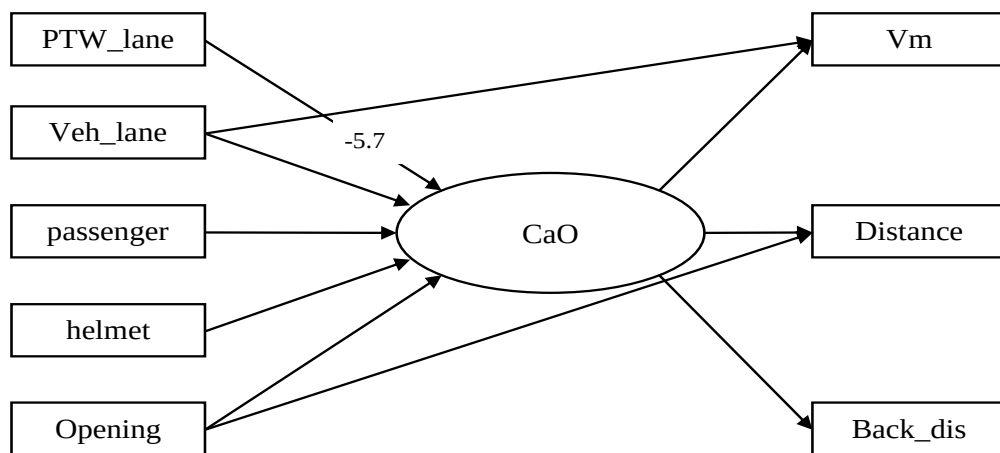
Παρόλο που ο δικυκλιστής (παίκτης 1) επηρεάζεται από όλα τα οχήματα που βρίσκονται στο ίδιο οδικό τμήμα, ωστόσο η επίδρασή τους θεωρείται αμελητέα σε σχέση με αυτή που υπάρχει μεταξύ αυτού και του προπορευόμενου οχήματος (παίκτης 2). Για το λόγο αυτό για να απλοποιηθεί η διερεύνηση του φαινομένου θεωρούνται ως παίκτες του εκάστοτε παιγνίου μόνο οι 2 αυτοί παίκτες.

Σε προγενέστερες έρευνες, έγιναν κάποιες προσεγγίσεις με τη χρήση της Θεωρίας Παιγνίων για την μελέτη της αλληλεπίδρασης των 2 αυτών οχημάτων κατά τη διάρκεια του φαινομένου της προσπέρασης[4-9]. Αρχικά, θεωρήθηκε πως το παίγνιο που διαμορφώθηκε είναι στρατηγικής μορφής πλήρους πληροφορίας, δηλαδή οι παίκτες γνωρίζουν τη στρατηγική του αντιπάλου τους και αποφασίζουν παράλληλα αν θα ακολουθήσουν συνεργατική ή μη συμπεριφορά, βάση των χωρικών αποστάσεων, ανοίγματος και μπροστινής απόστασης, που έχουν οι δύο αυτοί παίκτες. Ως απολαβή κάθε παίκτη θεωρήθηκε η μέγιστη ταχύτητα κίνησής του και η κατάλληλη στρατηγική αυτή της διπλής συνεργασίας, προκειμένου και οι δύο οδηγοί να έχουν το βέλτιστο όφελος. Παρόλα αυτά, διαπιστώθηκε πως υπήρχε αναντιστοιχία των προβλεπόμενων καταστάσεων με αυτές που υπήρχαν στην πραγματικότητα, στοιχείο που κατέδειξε αναγκαία την προσθήκη και άλλων συνθηκών/παραμέτρων τόσο στην απολαβή όσο και στον προσδιορισμό της έννοιας της συνεργασίας μεταξύ των δύο οδηγών.

Στη συνέχεια, ορίσθηκε το μέγεθος «Άνεση κατά την προσπέραση» σαν απολαβή με χρήση μοντέλων δομικών εξισώσεων, έχοντας ως θεώρηση ότι οι οδηγοί αποσκοπούν να προσπεράσουν με ασφάλεια και άνεση. Καθώς το μοντέλο αυτό είναι κάτι που απαιτεί να ποσοτικοποιηθεί, προκειμένου να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς, αναπτύχθηκαν δύο επιμέρους μεγέθη για τους παίκτες 1 και 2 αντίστοιχα.

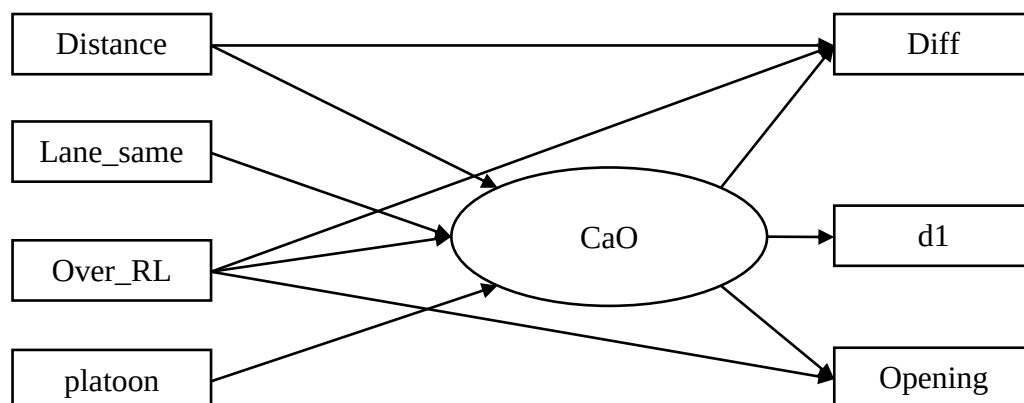
Για τον παίκτη 1 (δικυκλιστή) οι μεταβλητές που λήφθηκαν υπόψη ήταν οι εξής: η ταχύτητα του δίκυκλου(V_m) που δείχνει την πρόθεση του οδηγού να οδηγήσει γρηγορότερα, η απόσταση (DistanceXY) που απαιτείται για την αποφυγή σύγκρουσης του δικυκλιστή με τον οδηγό του προπορευόμενου ΙΧ και τέλος, την

απόσταση (Back_dis) του δικυκλιστή από το όχημα που το ακολουθεί. Οι συντελεστές των μεταβλητών έδειξαν πως κρίσιμοι παράγοντες για τον υπολογισμό της Άνεσης κατά την Προσπέραση είναι η ταχύτητα του δικυκλιστή και η απόσταση του οχήματος που πορεύεται από πίσω του. Σημαντικοί ακόμη παράγοντες είναι αυτοί της τοποθέτησης οχημάτων ανά λωρίδα, το αν φοράει κράνος ή όχι και η απόσταση Opening.



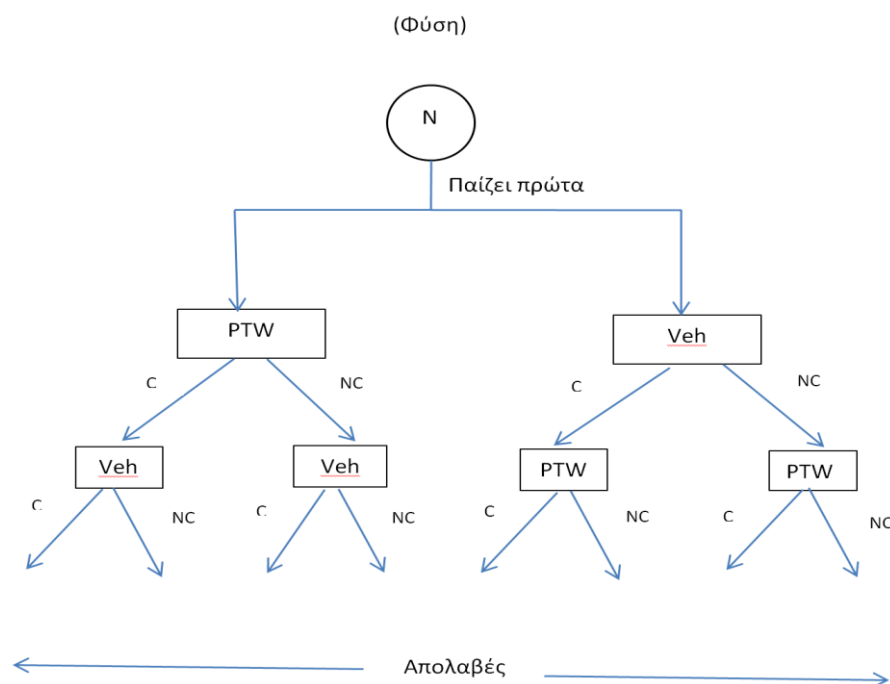
Σχήμα 1: Μοντέλο Δομικών Εξισώσεων για τον Παίκτη 1

Για τον παίκτη 2 (οδηγό προπορευόμενου οχήματος) λήφθηκαν ως μεταβλητές η διαφορά ταχυτήτων μεταξύ των δύο παικτών (Diff) που δείχνει την επιθυμία του παίκτη 2 να μην προσπερνιέται με μεγάλες ταχύτητες, καθώς και οι αποστάσεις d1 και opening. Παρατηρήθηκε πως το αν ο δικυκλιστής κινείται στην ίδια λωρίδα με το προπορευόμενο όχημα (lane same) αλλά και η κατεύθυνση από την οποία προσπερνά, δεξιά ή αριστερά, χαίρουν μεγάλης σημασίας, ενώ έπονται οι μεταβλητές των αποστάσεων Opening και d1.



Σχήμα 2: Μοντέλο Δομικών Εξισώσεων για τον Παίκτη 2

Έπειτα, για τη μελέτη του φαινομένου της προσπέρασης του δικυκλιστή πραγματοποιήθηκε μία διαφορετική προσέγγιση της Θεωρίας Παιγνίων, αυτή τη φορά εξετάζοντας τη δυναμική πλευρά του φαινομένου, υποθέτοντας πως αμφότεροι οι παίκτες αποφασίζουν σε σειρά τη στρατηγική που θα ακολουθήσουν, έχοντας πλήρη επίγνωση της στρατηγικής του αντιπάλου τους (Extensive Form Games). Όπως παρουσιάζουν σε άρθρο τους οι Barbounakis et al.[3] το παραπάνω παίγνιο μπορεί να εξετασθεί ως παίγνιο Stackelberg, δηλαδή ένας παίκτης να αναλάβει το ρόλο του αρχηγού και ο άλλος του ακόλουθου, που μορφώνει τη στρατηγική του ύστερα από τον αρχηγό. Για την καλύτερη περιγραφή του, εισήχθη ο ρόλος της φύσης ως παίκτης 3 η οποία είναι αυτή που τυχαία αποφασίζει ποιος από τους 2 άλλους παίκτες θα παίξει πρώτος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής

Η συνεργατικότητα των δύο παικτών ορίστηκε από την απόσταση μεταξύ τους ($\text{Distance } XY \geq 4,95 \text{ m}$), το διαθέσιμο κενό που έχει ο δικυκλιστής να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα ($\text{opening} \geq 12\text{m}$) και τέλος η λωρίδα στην οποία βρίσκεται ο δικυκλιστής την ώρα που πραγματοποιεί τον ελιγμό αυτό ($\text{same lane}=0$).

2.3 Συμπέρασμα Βιβλιογραφίας

Σύμφωνα με τις παραπάνω έρευνες, συμπεραίνεται πως οι ελιγμοί των δικυκλιστών κατά την προσπέραση συνθέτουν ένα περίπλοκο πρόβλημα για τους ερευνητές, το οποίο ωστόσο δεν έχει διερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Αρχική προσέγγιση

στην εξέταση του φαινομένου αυτού αποτέλεσε η χρήση της μεθόδου της προσομοίωσης, η οποία στη συνέχεια αμφισβητήθηκε για την αποτελεσματικότητα και γενικότερα εφαρμογή της . Έπειτα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση βίντεο σε δεδομένα πραγματικού χρόνου ώστε να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, όπως συνέβη και στην παρούσα διπλωματική. Η εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων για τη μοντελοποίηση και διερεύνηση του φαινομένου της προσπέρασης στην έρευνα αυτή, συνέβαλε στην προσπάθεια ανάλυσης των στρατηγικών που ακολουθούν οι 2 παίκτες, ώστε αργότερα τα πορίσματα αυτά ενδεχομένως να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε Έξυπνα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου για τη βελτίωση της κυκλοφορίας και ασφάλειας των οχημάτων.

3. Μεθοδολογία

3.1 Βασικές έννοιες Θεωρίας Παιγνίων

Η Θεωρία παιγνίων συνιστά ένα σύνολο εργαλείων και μεθόδων, με σκοπό τη λήψη αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας, όπου δύο ή περισσότεροι ευφυείς και ορθολογικοί αντίπαλοι επιδιώκουν έκαστος να βελτιστοποιήσουν τις αποφάσεις του σε βάρος των υπολοίπων.

Η βασική πτυχή της θεωρίας αυτής αποσκοπεί να απεικονίσει με μαθηματικά μοντέλα, σύνθετα προβλήματα λήψης αποφάσεων μεταξύ κοινών ή αντικρουόμενων θέσεων και συμφερόντων. Το όλον, στοχεύει στη μείωση ζημιών ή στην αύξηση κέρδους ή στην ενδυνάμωση ίδιων θέσεων για ένα μεταβατικό διάστημα. Βασικό στοιχείο είναι ο εκάστοτε υπολογισμός της ισχύος των συνεταίρων και αντιπάλων, που όμως μεταβάλλεται ενίοτε σημαντικά στην πορεία. Υπάρχει μία στρατηγική αλληλεξάρτηση μεταξύ των αποφάσεων των διαφόρων ομάδων ανθρώπων, δηλαδή η απόφαση του καθενός θα επηρεάσει τη συμπεριφορά και τις αποφάσεις των υπολοίπων. Τα τελευταία τριάντα χρόνια η θεωρία αυτή έχει βρει ευρύτατη εφαρμογή στα οικονομικά, ενώ χρησιμοποιείται και σε ένα ευρύ φάσμα άλλων επιστημών, όπως η πολιτική οικονομία, η ψυχολογία, η εξελικτική βιολογία, η κοινωνιολογία, καθώς και σε παιχνίδια όπως το σκάκι. Αναλυτικότερα, επιμέρους στοιχεία της θεωρίας αυτής αποτελούν τα εξής:

1. Ο παίκτης: πρόκειται για ένα ορθολογικό άτομο το οποίο αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα άτομα και λαμβάνει κάποιες αποφάσεις. Έχει τέλεια γνώση του πώς να παίξει το παίγνιο προκειμένου να μεγιστοποιήσει το όφελός του.
2. Η στρατηγική: η μεθοδολογία, το σύνολο των κανόνων που ακολουθούν οι παίκτες, προκειμένου να έχουν το καλύτερο για αυτούς αποτέλεσμα. Κάθε παίκτης επιλέγει τις ενέργειές του με βάση την ερμηνεία των αλληλεπιδράσεων.
3. Το παίγνιο: μαθηματική μέθοδος ανάλυσης προβλημάτων, που αφορούν τον τρόπο λήψης αποφάσεων σε καταστάσεις σύγκρουσης και συνεργασίας. Η κατάσταση εκείνη κατά την οποία δύο ή περισσότεροι ορθολογικοί παίκτες με αντικρουόμενους στόχους επιλέγουν τρόπους ενέργειας, δημιουργώντας συνθήκες ανταγωνιστικής αλληλεξάρτησης.

Προκειμένου να ορισθεί το παίγνιο, πρέπει να ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις: Το σύνολο των παιχτών να είναι μη κενό και πεπερασμένο, κάθε παίκτης να έχει ένα μη κενό σύνολο ενεργειών και τέλος, για τον κάθε παίκτη να υπάρχει μία συνάρτηση

ωφέλειας, που να δείχνει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς ενεργειών των παικτών σε πραγματικούς αριθμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά μεταξύ παιγνίου και μίας πραγματικής κατάστασης απλού ανταγωνισμού ή σύγκρουσης, έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο πραγματοποιείται υπό ορισμένες συνθήκες και σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες.

Οι βασικότερες μορφές με τις οποίες μπορεί να αναπαρασταθεί ένα παίγνιο είναι :

- 1) παίγνιο στρατηγικής μορφής, στο οποίο οι συμμετέχοντες επιλέγουν μόνο μία φορά και κάθε παίκτης εκτελεί την ενέργειά του «ταυτόχρονα» με τους υπόλοιπους παίκτες, χωρίς να γνωρίζουν τις ενέργειες των άλλων παικτών ,
- 2) παίγνιο επεκταμένης μορφής, όπου οι παίκτες παίζουν ακολουθιακά, έχοντας τέλεια πληροφόρηση των αποφάσεων που έλαβαν προηγουμένως οι αντίπαλοί τους και αναλόγως εφαρμόζουν τη στρατηγική τους. Το παίγνιο αυτό αναπαρίσταται από ένα δέντρο παιγνίου(game tree).

Ο παίκτης συχνά χρειάζεται να επιλέξει μεταξύ δύο στρατηγικών(έστω A, B) αυτή η οποία θα του δώσει το βέλτιστο για τον ίδιο όφελος. Συγκρίνει επομένως τις 2 αυτές στρατηγικές και το αποτέλεσμα θα είναι :

- Η B κυριαρχεί στην A, δηλαδή δίνει ίδιο ή καλύτερο αποτέλεσμα από την A και επομένως είναι αυστηρώς κυρίαρχη(αν δίνει πάντα καλύτερο αποτέλεσμα από την A) ή ασθενώς κυρίαρχη(αν υπάρχει τουλάχιστον ένα σύνολο δράσεων του αντιπάλου στο οποίο η B είναι ανώτερη και σε όλες τις υπόλοιπες δράσεις του δίνει το ίδιο αποτέλεσμα με την A.
- Η B και η A είναι αμετάβατες, δηλαδή καμία από τις δύο δεν κυριαρχεί και η επιλογή της μίας ή της άλλης, εξαρτάται από το πώς ακριβώς ο αντίπαλος επιλέγει να παίξει.
- Η B κυριαρχούμενη της A, δηλαδή επιλέγοντας τη B να μην δίνει ποτέ καλύτερο αποτέλεσμα από την A, ανεξάρτητα του τρόπου που παίζει ο αντίπαλος.

Ένας ορθολογικός παίκτης, δεν θα επέλεγε ποτέ να παίξει μια κυριαρχούμενη στρατηγική, καθώς στοχεύει πάντα στην εξασφάλιση του μέγιστου δυνατού οφέλους για τον ίδιο. Για την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο επιλέγεται η κυρίαρχη στρατηγική, δίνεται το παρακάτω παράδειγμα στρατηγικής μορφής που αφορά το γνωστό στη Θεωρία Παιγνίων «Δίλημμα του Φυλακισμένου».

Έστω δύο παίκτες κρατούμενοι που αμφότεροι έχουν να επιλέξουν μεταξύ δύο στρατηγικών: τη Συνεργασία(C) ή τη Λιποταξία(D). Η ανάκρισή τους γίνεται

ξεχωριστά και τίθεται το ερώτημα αν τελικώς θα ομολογήσουν(Συνεργασία) ή θα αρνηθούν τη συμμετοχή τους στην κατηγορία (Λιποταξία), ενώ υπάρχει και η περίπτωση ένας από τους δύο να ομολογήσει. Μορφώνεται επομένως το παρακάτω παίγνιο:

		II	
		<i>c</i>	<i>d</i>
I	<i>C</i>	2, 2	3, 0
	<i>D</i>	0, 3	1, 1

The Prisoner's Dilemma game

Εικόνα 1: Το δίλημμα του φυλακισμένου

Οι αριθμοί που εμπεριέχονται παρουσιάζουν τις απολαβές των παικτών για το συνδυασμό στρατηγικών που θα επιλέξουν.

Αν ο παίκτης 1 επιλέξει τη συνεργασία(C),τότε: αν ο παίκτης 2 επιλέξει επίσης C, οι απολαβές του θα είναι 2, ενώ αν επιλέξει D θα ναι 3.

Άρα τον παίκτη 2 τον συμφέρει να επιλέξει να συνεργασθεί καθώς θα έχει λιγότερη ποινή(2 χρόνια φυλάκισης έναντι 3).

Αν ο παίκτης 1 επιλέξει τη Λιποταξία (D), τότε ο παίκτης 2 θα προτιμήσει να επιλέξει C καθώς η ποινή του θα ναι κανένας χρόνος φυλάκισης σε σχέση με D που θα είναι 1 χρόνος.

Επομένως, οποιαδήποτε στρατηγική και αν επιλέξει ο παίκτης 1, υπερिशύει να συνεργασθεί ο παίκτης 2, άρα η C είναι κυρίαρχη της D. Ομοίως γίνεται και για τον παίκτη 1, όπου πάλι κυρίαρχη στρατηγική εμφανίζεται η C. Το μοναδικό αποτέλεσμα στο παίγνιο αυτό είναι η συνεργασία (C,C) η οποία ωστόσο είναι δυσμενέστερη από το να επέλεγαν D,D.

3.2 Διαμόρφωση Παιγνίων για την Ανάλυση της Προσπέρασης

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η μοντελοποίηση του φαινομένου της προσπέρασης, με χρήση της εκτεταμένης μορφής Θεωρίας Παιγνίων. Κατασκευάσθηκαν επομένως διαφορετικής μορφής παίγνια, στα οποία ο πρωταρχικός ρόλος(παίκτης 1) ανατίθεται στον δικυκλιστή, καθώς αυτός είναι που

αποφασίζει να προσπεράσει ή όχι, και ως παίκτης 2 ορίστηκε ο οδηγός του προπορευόμενου ΙΧ., αγνοώντας την επίδραση των άλλων οχημάτων στην οδό. Ο καθορισμός των στρατηγικών και απολαβών τους, στηρίχθηκε σε βάση δεδομένων 850 περιπτώσεων πραγματικού χρόνου προσπέρασης, που συλλέχθηκαν από προηγούμενη διπλωματική του κ.Μπαρμπουνάκη[6].

Γίνεται η υπόθεση ότι πρόκειται για επαναλαμβανόμενο παίγνιο, στο οποίο κάθε φορά παίζουν διαφορετικοί παίκτες, οι οποίοι όμως είναι πάντα ένα δίκυκλο και το προπορευόμενο όχημά του, μιας και πρόκειται για μετρήσεις που διεξήχθησαν από ένα σταθερό σημείο και κατέγραψαν διαφορετικές περιπτώσεις προσπεράσεων.

Τα παίγνια που θα εξεταστούν είναι τα εξής:

Πρώτο Παίγνιο

Αρχικά, διερευνάται η περίπτωση όπου αμφότεροι οι παίκτες έχουν της ίδιας μορφής επιλογές, δηλαδή να συνεργαστούν ή όχι.

$$\Omega = \{Cooperative, Non-Cooperative\}$$

Ωστόσο, οι μεταβλητές που επιλέγονται για την περιγραφή και ποσοτικοποίηση της συμπεριφοράς τους είναι διαφορετικές. Έτσι λοιπόν, για τον παίκτη 1 (PTW), ως συνεργασία ορίζεται όταν υπάρχει επαρκής απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, ώστε να γίνει η προσπέραση με ασφάλεια, που αποτυπώνεται από τη μεταβλητή $Distance_{XY} \geq 4,95 \text{ m}$ καθώς και αν βρίσκεται σε παρακείμενη λωρίδα από το προπορευόμενο όχημα ($same \text{ lane} = 0$). Αντίστοιχα, για τον παίκτη 2, αναγκαία προϋπόθεση για τη συνεργασία του αποτελεί η ύπαρξη επαρκούς ανοίγματος, που θα διευκολύνει τον ελιγμό του δικυκλιστή χωρίς την πρόκληση ατυχημάτων ($Opening \geq 12 \text{ m}$). Τα όρια με τα οποία κρίθηκαν οι αποστάσεις αυτές βασίστηκαν στις ήδη υπάρχουσες έρευνες και τη βιβλιογραφία ως αποστάσεις ασφαλείας.

Για τη μέτρηση των απολαβών που θα έχει κάθε παίκτης βάσει της στρατηγικής που θα ακολουθήσει, λήφθηκαν υπόψη οι ταχύτητες που αναπτύσσονται και η άνεση που έχουν οι εξεταζόμενοι αυτοί οδηγοί, αφού στόχος και των δύο αποτελεί η ολοκλήρωση της διαδρομής τους με ασφάλεια και όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Ειδικότερα, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2.2 η άνεση αυτή προέκυψε βάσει των αποτελεσμάτων των δομικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν[5] καθώς και των συνθηκών που ορίστηκαν στο παίγνιο αυτό, προκειμένου να υπάρχει συνεργασία μεταξύ των παικτών.

Έτσι για τον δικυκλιστή αρχικά μετράται η παρακάτω μεταβλητή που αντικατοπτρίζει την «άνεση» του δικυκλιστή για κάθε μία από τις 850 περιπτώσεις προσπέρασης που βρέθηκαν:

$$Cao_mor(i) = (Cao_m(i) - Cao_min) / (Cao_max - Cao_m(i))$$

Στη συνέχεια, για κάθε στρατηγική που επιλέγει, οι απολαβές του προκύπτουν βάσει του παρακάτω τύπου:

Αν και οι δύο είναι συνεργάσιμοι (C,C):

$$Average[(Cao_mor(i)) + (Dist \geq 4,95 \text{ or same lane} = 0) + Opening \geq 12]$$

Αν και οι δύο είναι μη συνεργάσιμοι (NC,NC):

$$Average [(Cao_mor(i) + (Dist < 4,95 \text{ or same lane} = 1) + Opening < 12)]$$

Αν ο δικυκλιστής συνεργάζεται μόνο (C,NC):

$$Average[(Cao_mor(i)) + (Dist \geq 4,95 \text{ or same lane} = 0) + Opening < 12]$$

Αν ο οδηγός του ΙΧ συνεργάζεται μόνο (NC,C):

$$Average[(Cao_mor(i)) + (Dist < 4,95 \text{ or same lane} = 1) + Opening \geq 12]$$

Ομοίως για το οδηγό του ΙΧ:

$$Cao_veh(i) = (Cao_veh(i) - Cao_veh_min) / (Cao_veh_max - Cao_veh_min)$$

Άρα, αναλόγως με τη στρατηγική που αμφοτέρωι οι οδηγοί ακολουθούν, οι απολαβές τους είναι οι αντίστοιχες με αυτές που περιγράφονται στους τύπους του δικυκλιστή με μόνη διαφορά στη θέση του $Cao_mor(i)$ μπήκε η μεταβλητή $Cao_veh(i)$.

Δεύτερο Παίγνιο

Αυτή τη φορά οι παραδοχές διαφέρουν από αυτές του πρώτου παιγνίου. Παρόλο που οι επιλογές και οι μεταβλητές του δεύτερου παίκτη παραμένουν ίδιες, ο πρώτος παίκτης έχει ως στρατηγική, την πρόθεσή του να προσπεράσει ή όχι. Επομένως, τα σύνολα που διαμορφώνονται είναι τα εξής:

$$\begin{aligned}\Omega(P1) &= \{ Overtake, Not Overtake \} \\ \Omega(P2) &= \{ Cooperative, Non-Cooperative \}\end{aligned}$$

Για τη μέτρηση των απολαβών των δύο παικτών, λαμβάνεται πάλι η ταχύτητα και η άνεση που θα υπάρχει σε κάθε συνδυασμό στρατηγικών, ανάλογα με την

επιθετικότητα του δικυκλιστή, προκειμένου να διέλθει μπροστά και τη διάθεση του οδηγού IX να τον αφήσει ή όχι. Η συμπεριφορά αυτή του δικυκλιστή και του προπορευόμενου οχήματος ποσοτικοποιείται λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος «Άνεση Κατά την Προσπέραση» και τις υπάρχουσες συνθήκες συνεργασίας, ούτως ώστε να προκύψουν οι απολαβές των δύο αυτών παικτών. Ομοίως με πριν θα ισχύουν:

Αν ο δικυκλιστής επιθυμεί να προσπεράσει και ο οδηγός του IX είναι συνεργάσιμος (O,C):

$$\text{Average}[(\text{Ca0_mor}(i)) + \text{Over}+1 + \text{Opening} \geq 12]$$

Αν ο δικυκλιστής δεν προσπερνά και ο οδηγός είναι μη συνεργάσιμος (NO,NC):

$$\text{Average}[(\text{Cao_mor}(i) + \text{Over}=0 + \text{Opening} < 12)]$$

Αν ο δικυκλιστής προσπερνά και ο οδηγός του IX δε συνεργάζεται (O,NC):

$$\text{Average}[(\text{Ca0_mor}(i)) + \text{Over}=1 + \text{Opening} < 12]$$

Αν ο οδηγός του IX συνεργάζεται όμως ο δικυκλιστής δεν προσπερνά (NO,C):

$$\text{Average}[(\text{Ca0_mor}(i)) + \text{Over}=0 + \text{Opening} \geq 12]$$

Ομοίως για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος οι απολαβές του προκύπτουν όπως και αυτές του δικυκλιστή, ανάλογα με τις προθέσεις που έχουν αμφότεροι και την «άνεσή» του που εκφράστηκε με τη μεταβλητή $\text{Cao_veh}(i)$.

Τρίτο Παίγνιο

Στο παίγνιο αυτό εξετάζεται πάλι η περίπτωση όπου αμφότεροι οι παίκτες έχουν της ίδιας μορφής επιλογές, δηλαδή να συνεργαστούν ή όχι.

$$\Omega = \{\text{Cooperative}, \text{Non-Cooperative}\}.$$

Ως συνεργασία των δύο παικτών ορίζεται η εξής: για τον δικυκλιστή αν $\text{DistanceXY} \geq 4,95 \text{ m}$, $\text{same lane} = 0$ ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος $\text{Diff} < 0$. Οι απολαβές είναι πάλι της ίδιας λογικής με τα προηγούμενα παίγνια, δηλαδή βάσει της «άνεσης κατά την προσπέραση» (Cao_mor , Cao_veh αντίστοιχα) και των συνθηκών συνεργασίας:

Αν και οι δύο είναι συνεργάσιμοι(C,C):

$$\text{Average}[(\text{CaO_mor}(i)) + (\text{Dist} \geq 4,95 \text{ or same lane} = 0) + \text{Diff} < 0]$$

Αν και οι δύο είναι μη συνεργάσιμοι (NC,NC):

$$\text{Average}[(\text{Cao_mor}(i)) + (\text{Dist} < 4,95 \text{ or same lane} = 1) + \text{Diff} > 0]$$

Αν ο δικυκλιστής συνεργάζεται μόνο(C,NC):

$$\text{Average}[(\text{CaO_mor}(i)) + (\text{Dist} \geq 4,95 \text{ or same lane} = 0) + \text{Diff} < 0]$$

Αν ο οδηγός του ΙΧ συνεργάζεται μόνο(NC,C):

$$\text{Average}[(\text{CaO_mor}(i)) + (\text{Dist} < 4,95 \text{ or same lane} = 1) + \text{Diff} > 0]$$

Ομοίως για το οδηγό του ΙΧ_οι απολαβές του υπολογίζονται βάσει της μεταβλητής Cao_veh(i) και των αποφάσεων των οδηγών.

Τέταρτο Παίγνιο

Τέλος, το τέταρτο παίγνιο ασχολείται με τη διάθεση του δικυκλιστή να προσπεράσει και του προπορευόμενου οχήματος να συνεργασθεί.

Ως σύνολα λήφθηκαν ίδιας μορφής με αυτά του δεύτερου παιγνίου, δηλαδή:

$$\begin{aligned}\Omega(P1) &= \{ \text{Overtake, Not Overatke} \} \\ \Omega(P2) &= \{ \text{Coopeerative, Non-Cooperative} \}\end{aligned}$$

Για το πρώτο σύνολο: εξετάσαμε την επιθυμία του δικυκλιστή να προσπεράσει ή όχι, ενώ στο δεύτερο σύνολο η συνεργασία εξετάσθηκε με τη μορφή της διαφοράς ταχυτήτων, δηλαδή αν επιβραδύνει ή όχι ο οδηγός του ΙΧ που εκφράζεται μέσω της μεταβλητής Diff< 0. Οι απολαβές υπολογίσθηκαν με γνώμονα την παράμετρο «άνεση» όπως και πριν και τις εκάστοτε συνθήκες που περιγράφουν τη συμπεριφορά των δύο αντιπάλων-οδηγών. Το μόνο που αλλάζει δηλαδή σε σχέση με το παίγνιο 2 είναι ότι αντί για την τιμή του ανοίγματος (opening>=12) θα μπει η τιμή της διαφοράς ταχυτήτων(Diff<0) για τη μέτρηση της συνεργασίας του οδηγού του ΙΧ στις απολαβές των δύο οδηγών.

3.3 Quantal Response Equilibrium

Η θεώρηση που γίνεται για την εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στη διερεύνηση του φαινομένου της προσπέρασης, είναι ότι αμφότεροι οι παίκτες είναι ορθολογικοί, δηλαδή καταστρώνουν στρατηγικές με στόχο τη μεγιστοποίηση του

κέρδους τους. Η έννοια της «τέλειας λογικής» συμβάλλει στην κατασκευή γενικών προγνωστικών μοντέλων, των οποίων η αξιολόγηση με χρήση δεδομένων πραγματικού χρόνου απαιτεί την ενσωμάτωση τυχαίων λαθών που δεν είχαν συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς, λάθη μέτρησης κλπ.

Το Quantal Response Equilibrium (QRE) αποτελεί έναν τρόπο μοντελοποίησης παιγνίων με θορυβώδεις παίκτες [44-47]. Αυτού του είδους τα μοντέλα στηρίζονται σε συναρτήσεις, οι οποίες έχουν το χαρακτηριστικό ότι οι αποκλίσεις από τις βέλτιστες αποφάσεις συσχετίζονται αρνητικά με τις συναφείς απολαβές. Αυτό σημαίνει ότι τα άτομα είναι πιθανότερο να επιλέξουν καλύτερες αποφάσεις από χειρότερες. Ωστόσο αυτό δε σημαίνει ότι θα επιλέξουν τις βέλτιστες αποφάσεις. Η πιθανότητα, επομένως, να επιλεγεί μία στρατηγική είναι συσχετισμένη με τις απολαβές της και παρόλο που υποτίθεται ότι οι παίκτες κάνουν λάθη, είναι απίθανο αυτά να έχουν σημαντικές συνέπειες. Εισάγεται λοιπόν μία τυχειότητα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, προκειμένου να συμπεριληφθεί η ανικανότητα των παικτών να παίζουν τη στρατηγική που μεγιστοποιεί τις απολαβές τους. Κάθε στρατηγική παίζεται με μη μηδενική πιθανότητα και κάθε δεδομένο είναι πιθανό αλλά όχι απαραίτητα λογικό.

Στην ισορροπία Logit, οι στρατηγικές κάθε παίκτη επιλέγονται ανάλογα με την πιθανοτική κατανομή:

$$P_{ij} = \frac{\exp(\lambda EU_{ij}(P_{-i}))}{\sum_k \exp(\lambda EU_{ik}(P_{-i}))}$$

Όπου P_{ij} είναι η πιθανότητα ενός παίκτη i να επιλέξει τη στρατηγική j . $EU_{ij}(P_{-i})$ είναι η αναμενόμενη χρησιμότητα, δηλαδή η απολαβή, του παίκτη i επιλέγοντας τη στρατηγική j , δεδομένου ότι οι υπόλοιποι παίκτες παίζουν με βάση την πιθανοτική κατανομή P_{-i} .

Για δυναμικά (εκτεταμένης μορφής) παίγνια οι McKelvey and Palfrey[47] προσδιόρισαν την “Agent Quantal Response Equilibrium”. Σε αυτή, κάθε παίκτης παίζει πραγματοποιώντας κάποια λάθη όπως στην QRE. Σε ένα κόμβο απόφασης, ο παίκτης καθορίζει τις αναμενόμενες απολαβές κάθε πράξης του, θεωρώντας τον μελλοντικό εαυτό του ως ανεξάρτητο παίκτη με γνωστή πιθανοτική κατανομή στις πράξεις του. Όπως στην QRE, στην AQRE κάθε στρατηγική επιλέγεται με μη μηδενική πιθανότητα.

Παράλληλα, ενδιαφέρον έχει η μη αρνητική παράμετρος λ (ενίοτε γραμμένη και ως $1/\mu$), η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως παράμετρος ορθολογικότητας. Όσο το λ τείνει στο 0, οι παίκτες γίνονται εντελώς παράλογοι και παίζουν κάθε στρατηγική με ίση

πιθανότητα, ενώ όσο το λ τείνει στο άπειρο, οι παίκτες γίνονται τελείως ορθολογικοί και το παίγνιό τους πλησιάζει στην Ισορροπία κατά Να. Ωστόσο, ο προσδιορισμός του πώς ακριβώς υπολογίζεται ο συντελεστής αυτός, δεν είναι εφικτός και οι εκτιμήσεις του από πειράματα ποικίλλουν σημαντικά .

Στην προκειμένη εργασία όπου μελετάται ο ελιγμός που πραγματοποιούν οι δικυκλιστές κατά το φαινόμενο της προσπέρασης, ως λ θεωρείται ο συντελεστής αυτός, ο οποίος δείχνει την εμπειρία που αποκόμισαν οι παίκτες επαναλαμβάνοντας το ίδιο παίγνιο καθώς και την ικανότητά τους να επιλέγουν τη στρατηγική που περιλαμβάνει τη βέλτιστη για αυτούς απολαβή. Με βάση το παραπάνω σκεπτικό, με την αύξηση των τιμών που λαμβάνει το λ , τόσο πιο ορθολογικός τείνει να γίνει ο παίκτης και να επιλέξει την καλύτερη για αυτόν στρατηγική.

Τα δεδομένα αυτά, δηλαδή της στρατηγικής που παίζει ο παίκτης συναρτήσει του δείκτη λ μπορούν να θεωρηθούν ως βάση, στην οποία μπορούν να ανατρέξουν οι παίκτες σε περίπτωση που βρεθούν σε αντίστοιχο παίγνιο, ώστε να επιτύχουν το επιθυμητό για αυτούς αποτέλεσμα.

4. Ανάλυση και Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της περιοχής μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση δεδομένων για το πείραμα αυτό, ο τρόπος που διαμορφώθηκε το εκάστοτε παίγνιο, οι απολαβές των παικτών και θα ελεγχθεί κατά πόσο οι παίκτες αυτοί συμμορφώνονται και επομένως επιλέγουν ευκολότερα την βέλτιστη για αυτούς στρατηγική.

4.1 Περιγραφή Πειράματος

Για τη συλλογή δεδομένων τροχιών δικυκλιστών τέθηκαν οι παρακάτω προδιαγραφές [6]:

1. Η οδός που θα επιλεγεί να είναι 4 λωρίδων, δηλαδή 2 λωρίδες ανά κατεύθυνση.
2. Να μην εμφανίζονται στροφές και κοίλες ή κυρτές καμπύλες στο δρόμο.
3. Οι δύο διευθύνσεις των λωρίδων να χωρίζονται, με την ύπαρξη νησίδας ενδιάμεσα, προκειμένου να αποφευχθεί η είσοδος οχημάτων στην αντίθετη κατεύθυνση σε περίπτωση ελιγμού.
4. Η φυσιολογική ροή των οχημάτων να μην διαταράσσεται από την ύπαρξη βενζινάδικων, καταστημάτων, στάσεων λεωφορείων ή ταξί καθώς και παρκαρισμένων ΙΧ.
5. Το σημείο μελέτης, να μη βρίσκεται κοντά σε σηματοδοτούμενο κόμβο καθώς αυτό θα περιλαμβάνει ανεπιθύμητες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις λόγω κόκκινης σηματοδότησης.
6. Το σημείο που θα επιλεγεί να είναι υπερυψωμένο, ούτως ώστε να υπάρχει οπτική αντίθεση προς τη ροή της κυκλοφορίας και να εξασφαλισθεί η εγκυρότητα των μετρήσεών μας.

Για την ικανοποίηση των παραπάνω περιορισμών, επιλέχθηκε η Λεωφόρος Μεσογείων στο κέντρο της Αθήνας και ειδικότερα η πεζογέφυρα του Santiago Calatrava, δίπλα από το μετρό Κατεχάκη (Εικόνα 2). Λόγω του γεγονότος πως βρισκόταν δίπλα από την Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, ήταν εφικτή η πρόσβαση οποιαδήποτε ώρα και μέρα για την καταγραφή του βίντεο (Εικόνα 3).



Εικόνα 2: Απεικόνιση της περιοχής μελέτης στο χάρτη



Εικόνα 3: Σημείο που είχε στηθεί η κάμερα επί της πεζογέφυρας στο ρεύμα προς Αθήνα

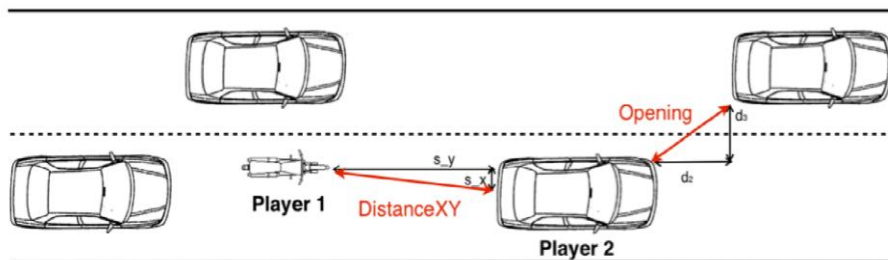
4.2 Βάση δεδομένων

Από τις μετρήσεις που διεξήχθησαν διάρκειας 4 ωρών, παρατηρήθηκαν 850 περιπτώσεις προσπέρασης οχήματος από δίκυκλο, οι οποίες στη συνέχεια επεξεργάστηκαν από τον κ. Μπαρμπουνάκη βάσει του προγράμματος Trajectory Extractor . Ορισμένες από τις παραμέτρους που προέκυψαν και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν οι εξής:

1. **Over** : Αν πραγματοποιήθηκε ή όχι η προσπέραση
2. **Vm** : Η ταχύτητα του δίκυκλου που προσπερνά (σε km/h)
3. **V1** : Η ταχύτητα του οχήματος που προσπερνιέται (σε km/h)
4. **DistanceXY (m)**: Ορίζεται ως η γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του δίκυκλου με το πίσω μέρος του οχήματος, που αλληλεπιδρά τη στιγμή

που ξεκινά η προσπάθεια. Η μεταβλητή αυτή υπολογίζεται από τη μαθηματική σχέση: $DistanceXY = (s_x^2 + s_y^2)^{(1/2)}$

5. όπου s_x, s_y οι αποστάσεις του δικύκλου από το όχημα στους δύο άξονες, παράλληλο και κάθετο στον άξονα της οδού. Η μεταβλητή $DistanceXY$ περιέχει την πληροφορία και των δύο μετρηθέντων αποστάσεων και άρα κρίνεται καταλληλότερη από τη μεμονωμένη χρήση των s_x, s_y .
6. **Opening (m):** Ορίζεται το άνοιγμα που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα. Η μαθηματική σχέση που την εκφράζει είναι: $Opening = (d_2^2 + d_3^2)^{(1/2)}$
7. Δημιουργήθηκε με την ίδια λογική με τη μεταβλητή $DistanceXY$ και εκφράζει τις δύο αποστάσεις d_2, d_3 ταυτόχρονα. Στην περίπτωση που το όχημα 3 δεν υπάρχει ή βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση, η τιμή της $Opening$ είναι μηδέν (0).
8. **Diff (km/h):** Η διαφορά ταχυτήτων του μοτοσικλετιστή με το όχημα 1. Ορίζεται ως $Diff = V_m - V_1$.
9. **Lane_Same:** Αν το δίκυκλο και το προπορευόμενο όχημα 1 βρίσκονται στην ίδια λωρίδα ή όχι (0 για διαφορετική, 1 για ίδια)



Εικόνα 4: Απεικόνιση μετρούμενων μεταβλητών

4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 Μόρφωση εκτεταμένης μορφής παιγνίων

Με βάση τις παραπάνω μεταβλητές μορφώνονται διάφορα εκτεταμένης μορφής παίγνια, δηλαδή παίγνια στα οποία οι παίκτες αποφασίζουν σε σειρά, όπου αυτός που θα αποφασίσει πρώτος εκλέγεται τυχαία (φύση). Στη συνέχεια, για κάθε παίγνιο υπολογίζονται οι απολαβές των παικτών συναρτήσει των συνθηκών συνεργασίας, καθώς και του όρου Άνεση κατά την προσπάθεια που είχε αναλυθεί σε προγενέστερη διπλωματική[5] και υπολογίζεται η κυρίαρχη στρατηγική κάθε παιγνίου.

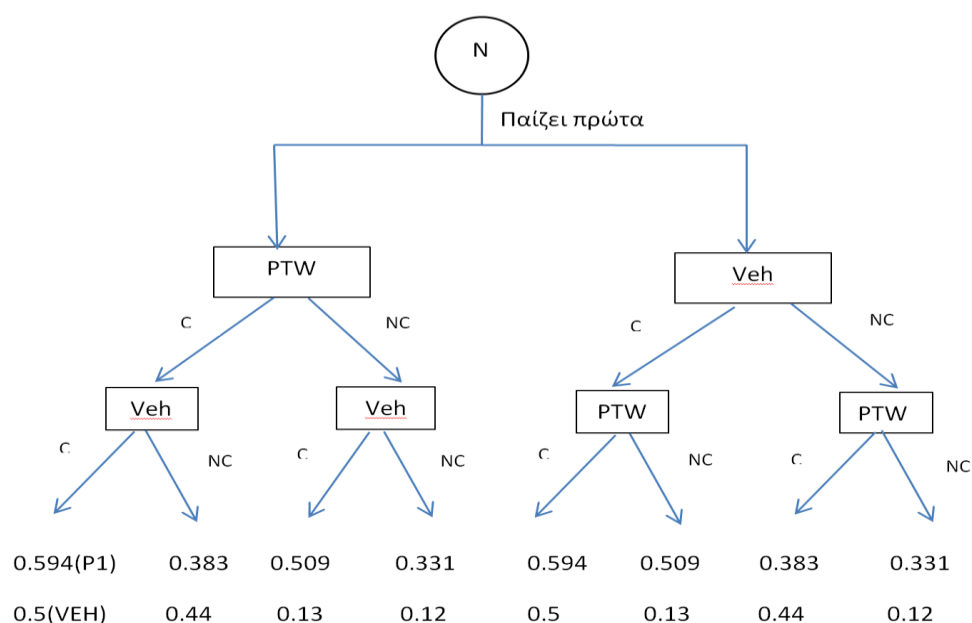
Πρώτο παίγνιο

Στο πρώτο παίγνιο, στο οποίο εξετάζεται η συνεργασιμότητα ή όχι των εκάστοτε παικτών, ορίζεται η διάθεση του δικυκλιστή για συνεργασία βάσει της απόστασης $\text{DistanceXY} (\geq 4.95 \text{ m})$ και το αν βρίσκεται στην γειτονική λωρίδα ($\text{same lane} = 0$, ανεξαρτήτως DistanceXY), ενώ αντίστοιχα για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος αν το άνοιγμα που αφήνει είναι επαρκές ($\text{Opening} \geq 12 \text{ m}$).

Οι στρατηγικές, επομένως χωρίζονται σε 4 επιμέρους κατηγορίες:

1. οι δύο οδηγοί να είναι μη συνεργάσιμοι (NC,NC),
2. ο παίκτης 1 να συνεργασθεί σε αντίθεση με τον παίκτη 2 (NC,C),
3. ο παίκτης 2 να συνεργασθεί αλλά ο παίκτης 1 να μην συνεργασθεί (C,NC),
4. αμφότεροι οι παίκτες να επιλέξουν τη συνεργασία (C,C).

Στο Διάγραμμα 3 φαίνονται οι απολαβές για κάθε παίκτη, οι οποίες κανονικοποιούνται σε κλίμακα 0-1, ούτως ώστε η χειρότερη περίπτωση να εμφανίζεται για τιμή ίση με 0, ενώ η καλύτερη όταν η τιμή γίνει 1,άρα το σύνολο στο οποίο οι δείκτες αυτοί κυμαίνονται είναι το $[0,1]$.



Διάγραμμα 1: Πρώτο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής

Φαίνεται πώς όταν οι δύο παίκτες συνεργάζονται μεταξύ τους ανεξαρτήτως της σειράς που παίζουν το παίγνιο, οι απολαβές τους μεγιστοποιούνται, ενώ οι

ελάχιστες απολαβές εντοπίζονται στην περίπτωση που αμφότεροι είναι μη συνεργάσιμοι που είναι λογικό, καθώς η έλλειψη συνεργασίας από μέρους των οδηγών δυσχεραίνει την επιθυμία τους για άνετο και ασφαλές ταξίδι. Με χρήση της προς τα πίσω επαγωγής εύκολα διαπιστώνεται, πως η κυρίαρχη στρατηγική είναι αυτή στην οποία εντοπίζονται και οι μέγιστες απολαβές, δηλαδή η περίπτωση της αμοιβαίας συνεργασίας των οδηγών, άρα οι οδηγοί όντως επιλέγουν την καλύτερη για αυτούς στρατηγική.

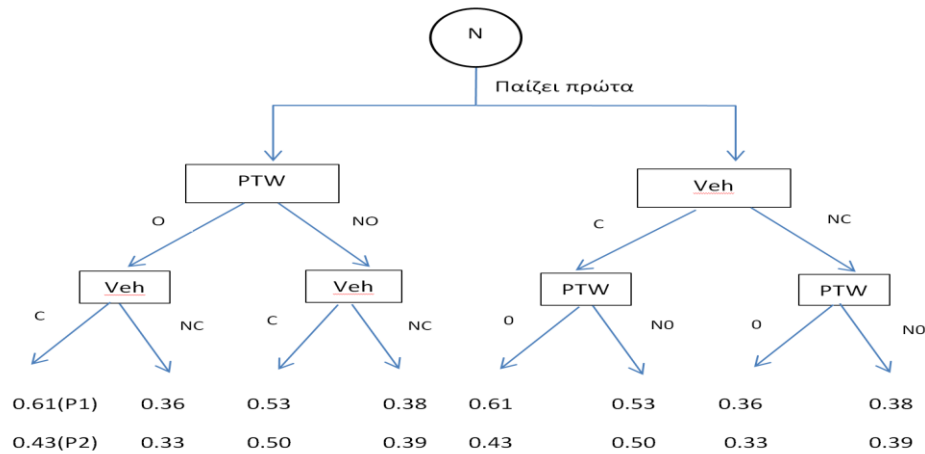
Δεύτερο παίγνιο

Στο δεύτερο παίγνιο εξετάζεται η συνεργασιμότητα του παίκτη 2(προπορευόμενου οχήματος) με τις ίδιες συνθήκες όπως με το πρώτο παίγνιο ,ενώ για τον δικυκλιστή, η στρατηγική που ακολουθεί είναι να πραγματοποιεί ή όχι την προσπάθεια βάσει της μεταβλητής Over (=1 αν προσπερνάει).

Οι στρατηγικές επομένως που περιγράφουν το παίγνιο αυτό χωρίζονται σε 4 επιμέρους κατηγορίες:

1. Να μην προσπεράσει ο δικυκλιστής και ο οδηγός να μην συνεργασθεί {NO,NC}
2. Να μην προσπεράσει ο δικυκλιστής αλλά ο οδηγός να είναι συνεργάσιμος {NO,C}
3. Να προσπεράσει ο δικυκλιστής αλλά ο οδηγός ΙΧ να μην συνεργασθεί {O,NC}
4. Να συνεργασθεί ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος και να προσπεράσει ο δικυκλιστής. {O,C}

Από τις απολαβές που βρέθηκαν (Διάγραμμα 4), παρατηρείται ότι όταν ο δικυκλιστής προσπερνά και το όχημα συνεργάζεται, τότε οι απολαβές του δικυκλιστή μεγιστοποιούνται, ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος αυτό συμβαίνει όταν ο δικυκλιστής αποφασίζει να μην προσπεράσει, ενώ αυτός είναι συνεργάσιμος. Παρόλο που οι απολαβές του παίκτη 2 είναι εξίσου σημαντικές στην περίπτωση της μεταξύ τους συνεργασίας, ο πιθανός λόγος για τον οποίο εντοπίζεται αλλού η μέγιστη τιμή τους, οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές φορές ο δικυκλιστής λόγω έλλειψης εμπειρίας φοβάται να πραγματοποιήσει την προσπάθειά του ακόμη και αν οι προϋποθέσεις πραγματοποίησης του ελιγμού αυτού είναι ευνοϊκές. Έτσι, ο οδηγός του προπορευόμενου ΙΧ δεν απαιτείται να αλλάξει τον τρόπο οδήγησής του και επομένως ανενόχλητος πορεύεται προς τον προορισμό του.

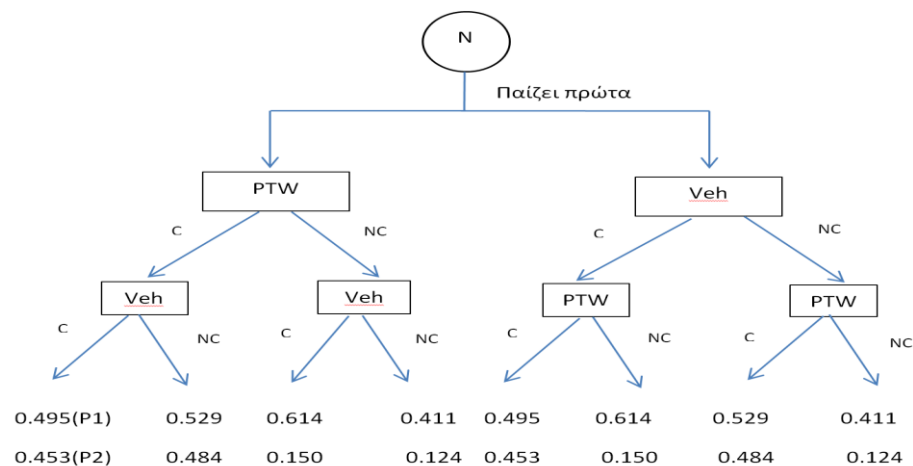


Διάγραμμα 2: Δεύτερο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής

Υπολογίζοντας την κυρίαρχη στρατηγική για το παίγνιο αυτό, παρατηρείται πώς υπερισχύει να συνεργασθούν μεταξύ τους οι 2 παίκτες, υπό τη μορφή προσπέρασης για το δικυκλιστή. Ο δικυκλιστής επομένως αποφασίζει να πραγματοποιήσει την προσπέραση, ώστε να έχει το μέγιστο όφελος.

Τρίτο Παίγνιο

Στο τρίτο παίγνιο, αυτή τη φορά εξετάζεται και πάλι η συνεργασία του παίκτη 2(προπορευόμενου οχήματος) με τον παίκτη 1. Συγκεκριμένα, ο δικυκλιστής χαρακτηρίζεται ως συνεργάσιμος αν $Distance_{XY} \geq 4,95 \text{ m}$ ή $same \ lane = 0$ (ανεξαρτήτως της τιμής της $Distance_{XY}$) ενώ για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος $Diff < 0$. Οι στρατηγικές επομένως που προκύπτουν είναι ίδιες μορφής με αυτές του πρώτου παιγνίου.



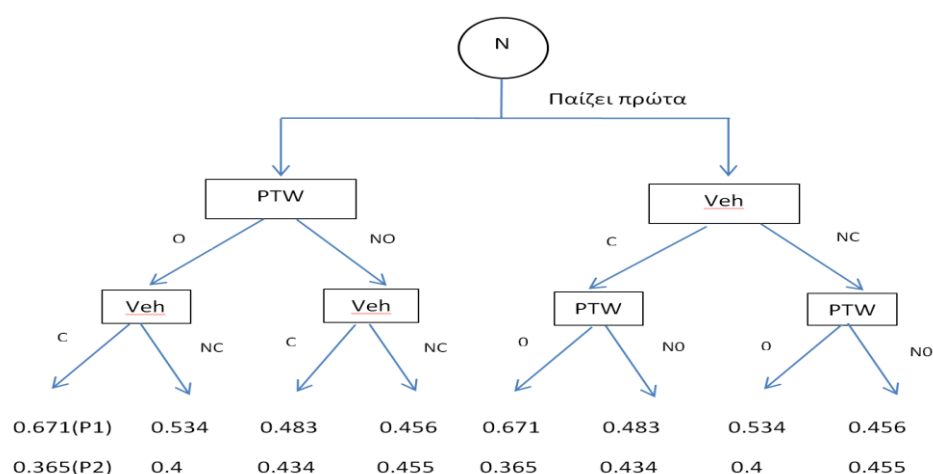
Διάγραμμα 3: Τρίτο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής

Από τις παραπάνω απολαβές (Διάγραμμα 5) παρατηρείται και πάλι αναντιστοιχία μεταξύ της συνθήκης για την οποία επιτυγχάνεται το μέγιστο όφελος για καθέναν από τους επιμέρους παίκτες του παιγνίου. Συγκεκριμένα, για τον δικυκλιστή η βέλτιστη λύση είναι να μη συνεργάζεται με το προπορευόμενο ΙΧ, το οποίο με τη σειρά του συνεργάζεται, ενώ για τον οδηγό του ΙΧ ισχύει το ακριβώς αντίθετο. Όσον αφορά το δικυκλιστή, η επιλογή του να μη συνεργάζεται πηγάζει από την επιθυμία του να περάσει μπροστά προκειμένου να μειώσει το χρόνο ταξιδιού του και να φτάσει γρήγορα στον προορισμό του. Έτσι αναπτύσσει επιθετική συμπεριφορά, αναγκάζοντας τον οδηγό του προπορευόμενου ΙΧ να συνεργασθεί προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα.

Η κυρίαρχη στρατηγική αυτή τη φορά είναι, είτε να μη συνεργάζεται ο δικυκλιστής και να συνεργάζεται το προπορευόμενο όχημα (αν πρώτος παίζει ο δικυκλιστής), είτε να μη συνεργάζεται το προπορευόμενο όχημα και να συνεργάζεται ο δικυκλιστής (αν πρώτος αποφασίζει ο παίκτης 2). Εύλογα συμπεραίνεται λοιπόν ότι αναλόγως με τη σειρά που παίζουν οι 2 παίκτες, αυτός που πρωτοαποφασίζει τη στρατηγική που θα ακολουθήσει είναι εν τέλει και αυτός ο οποίος αποφασίζει να μη συνεργάζεται, προκειμένου να επωφεληθεί ο ίδιος της ταχύτητας που αναπτύσσει για να φτάσει χωρίς κανένα πρόβλημα εκεί που επιθυμεί. Ο παίκτης που τον διαδέχεται σε σειρά απόφασης, γνωρίζοντας την μη συνεργατική στάση του αντιπάλου του, αποφασίζει να συνεργασθεί προκειμένου να εξασφαλίσει την ασφαλή κίνησή του.

Τέταρτο Παίγνιο

Τέλος, το τέταρτο παίγνιο ασχολείται με τη μελέτη της συνεργασίας του οδηγού του προπορευόμενου ΙΧ (αν $Diff < 0$) και για τον δικυκλιστή αν προσπερνά ή όχι. Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται το παίγνιο αυτό είναι ίδιας μορφής με το 2 παίγνιο, δηλ. $\{O, C\}$, $\{NO, NC\}$, $\{O, NC\}$, $\{NO, C\}$.



Διάγραμμα 4: Τέταρτο Παίγνιο Εκτεταμένης Μορφής

Οι απολαβές που προκύπτουν(Διάγραμμα 6) δείχνουν πως μεγιστοποιούνται σε διαφορετικές θέσεις για τον κάθε παίκτη, δηλαδή για τον παίκτη 1 όταν υπάρχει συνεργασία μεταξύ τους, ενώ για τον παίκτη 2 όταν κανένας τους δε συνεργάζεται. Στις δύο αυτές περιπτώσεις μάλιστα παρατηρούνται και αντίστοιχα οι χαμηλότερες απολαβές για τον άλλο παίκτη. Η εξήγηση που μπορεί να δοθεί είναι ότι αρχικά στην πρώτη περίπτωση, ο δικυκλιστής επωφελείται από την απόφαση του οδηγού του οχήματος να συνεργασθεί, καθώς ελίσσεται χωρίς κάποιον κίνδυνο, ωστόσο ο οδηγός προκειμένου να τον αφήσει να διέλθει μπροστά, αναγκάζεται να έχει μειωμένη την ταχύτητά του και άρα να καθυστερήσει περισσότερο να φτάσει στον προορισμό του. Έπειτα, στη δεύτερη περίπτωση διακρίνεται ότι ο οδηγός του ΙΧ έχει αυτή τη φορά κέρδος μεταφρασμένο σε όρους ταχυτήτων, καθώς η απόφασή του να μην αφήσει τον δικυκλιστή να τον προσπεράσει ή αντίστοιχα η απόφαση του δικυκλιστή να μην πραγματοποιήσει την προσπέραση, συνδράμουν ώστε ο οδηγός του ΙΧ να πορευθεί κανονικά χωρίς να αναγκασθεί να επιβραδύνει.

Η κυρίαρχη στρατηγική που προκύπτει, δείχνει ότι τελικά οι οδηγοί καταλήγουν να συμπεριφερθούν βάση της περίπτωσης 1 και έτσι να υπάρχει συνεργασία για να προσπεράσει επιτυχώς ο δικυκλιστής, στοιχείο που λειτουργεί υπέρ της ασφαλείας για τους δύο αυτούς οδηγούς.

4.3.2 Έλεγχος ορθολογικότητας παικτών

Η αρχική υπόθεση που γίνεται για την μελέτη του φαινομένου της προσπέρασης μέσω της Θεωρίας Παιγνίων είναι ότι τόσο ο παίκτης 1 όσο και ο παίκτης 2 δρουν ως ορθολογικοί, δηλαδή επιλέγουν τη βέλτιστη για αυτούς στρατηγική. Στην πραγματικότητα, η θεώρηση αυτή δεν είναι απόλυτα σωστή, καθώς οι οδηγοί μπορεί ενδεχομένως, όπως φαίνεται στα παραπάνω παίγνια, να επιλέγουν κάποια άλλη στρατηγική η οποία να μην είναι η καλύτερη δυνατή. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι ενίοτε οι οδηγοί των προπορευόμενων οχημάτων, δεν αφήνουν επαρκές κενό για να διέλθουν οι δικυκλιστές, αδιαφορώντας για το όφελος που θα έχουν αν συνεργασθούν ώστε να μην διακόψουν την πορεία κίνησής τους, ενώ παράλληλα οι δικυκλιστές μπορεί να παρουσιάζουν έλλειψη διάθεσης για συνεργασία με στόχο την γρήγορη και σύντομη μετακίνηση τους, στοιχείο που θα βοηθήσει να περάσουν με πιο μεγάλη επιτυχία το προπορευόμενο όχημα από ότι αν συνεργαζόντουσαν.

Προκειμένου να εξετασθεί σε ποια έκταση οι οδηγοί κάνουν χρήση των ικανοτήτων τους, δηλαδή είναι σε θέση να διακρίνουν ποια στρατηγική θα τους ωφελήσει καλύτερα, τι συνέπειες θα έχει αυτή τους η επιλογή αλλά και πώς πρέπει να κινηθούν όταν δεν είναι σίγουροι για την επιλογή τους, γίνεται χρήση της έννοιας του Quantal Response Equilibrium (QRE), που πρώτοι εισήγαγαν οι McKelvey and Palfrey [46], το οποίο αναφέρθηκε σε προηγούμενο εδάφιο του Κεφαλαίου 3.

Χρησιμοποιώντας την παράμετρο λ ως δείκτη ορθολογικότητας, αλλά και εκπαίδευσης των οδηγών, γίνεται προσπάθεια διαπίστωσης πόσο εύκολα ο παίκτης επιλέγει τη βέλτιστη για αυτόν στρατηγική. Είναι εύλογη η θεώρηση ότι όσο πιο πολλές επαναλήψεις του ίδιου παιγνίου πραγματοποιούνται, ο παίκτης κερδίζει ολοένα και περισσότερη εμπειρία, ούτως ώστε μελλοντικά να μπορέσει να επιλέξει την καλύτερη για αυτόν στρατηγική καθώς θα γνωρίζει εκ των προτέρων τις ενδεχόμενες απολαβές του σε κάθε περίπτωση. Στόχος επομένως των παικτών είναι να πάρουν την καλύτερη δυνατή απόφαση κατευθείαν ή έπειτα από πολύ λίγες επαναλήψεις του παιγνίου.

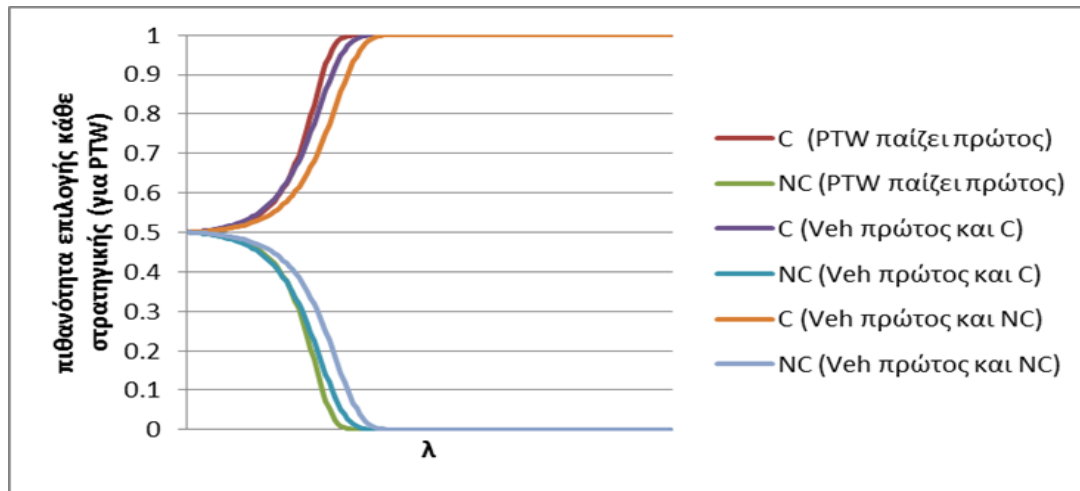
Με βάση την παραπάνω θεώρηση, διερευνάται σε κάθε παίγνιο η ικανότητα αυτή του εκάστοτε οδηγού, να ανατρέχει σε προηγούμενες εμπειρίες προκειμένου να λάβει τη συμφέρουσα για τον ίδιο απόφαση και σχολιάζονται τα επιμέρους πορίσματα. Το εύρος τιμών του λ προκύπτει μέσω του προγράμματος Gambit συναρτήσει των απολαβών των παικτών για κάθε στρατηγική που ακολουθούν.

Ακόμη, σε κάθε διάγραμμα παρατηρούνται 3 καμπύλες για κάθε στρατηγική αντίστοιχα, που δηλώνουν τον κόμβο απόφασης στον οποίο ο παίκτης που εξετάζεται βρίσκεται, ωστόσο οι δείκτες αυτοί αντιπροσωπεύουν διαφορετικές στρατηγικές ανάλογα με τον παίκτη, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα.

Πρώτο παίγνιο

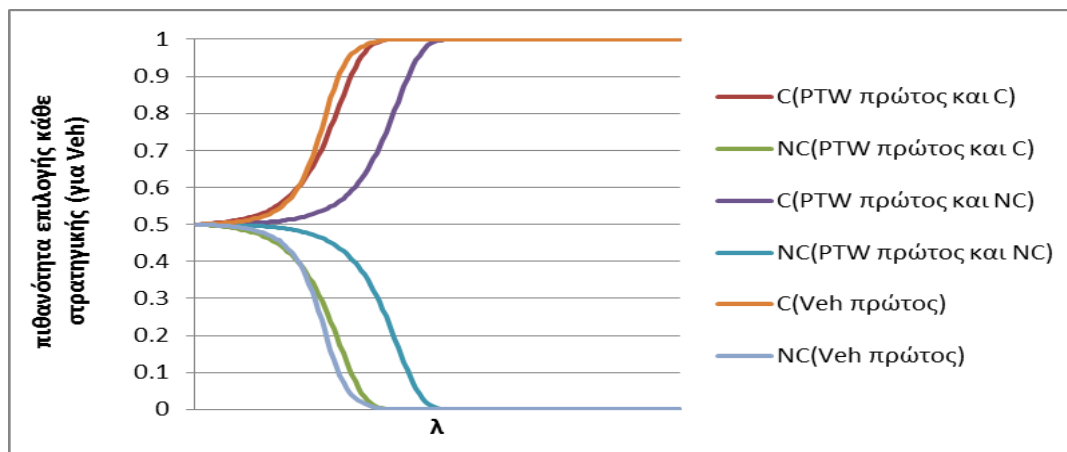
Στο πρώτο παίγνιο μελετάται η συνεργασία των δύο οδηγών-παικτών συναρτήσει χωρικών παραγόντων, όπως το διαθέσιμο άνοιγμα και η απόσταση του δικυκλιστή από το προπορευόμενο άνοιγμα.

Ξεκινώντας από τον δικυκλιστή, από το Διάγραμμα 7 φαίνεται ότι ανεξάρτητα της σειράς που παίζει ή της στρατηγικής που ακολουθεί ο παίκτης 2, ο δικυκλιστής αποφασίζει να συνεργαστεί. Ο βαθμός κατά τον οποίο αυτό συμβαίνει, εμφανίζει κάποιες αποκλίσεις οι οποίες αναπαρίστανται στις επιμέρους κλίσεις των καμπυλών του διαγράμματος. Συγκεκριμένα, η κλίση είναι πιο απότομη στην περίπτωση που πρώτος παίζει ο δικυκλιστής και λιγότερο απότομη όταν το όχημα παίζει πρώτο και αποφασίζει να μη συνεργασθεί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο δικυκλιστής επιλέγοντας πρώτος τη στρατηγική που θα ακολουθήσει, διαμορφώνει ανάλογα και το παίγνιο προκειμένου να επιτύχει κατά το δυνατόν το βέλτιστο για αυτόν όφελος, μέσω της συνεργασίας του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος, ο οποίος πιθανώς βλέποντας πως επιθυμεί να τον προσπεράσει ο δικυκλιστής, παίρνει τα απαραίτητα μέτρα ώστε αυτή η μετάβαση να γίνει ομαλά και με ασφάλεια. Ο δικυκλιστής ως ορθολογικός επομένως επιλέγει τη βέλτιστη για τον ίδιο στρατηγική, η οποία θα του μεγιστοποιήσει τις απολαβές του υπό την έννοια της άνεσης και ασφάλειας κατά την προσπέραση.



Διάγραμμα 5: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο πρώτο παίγνιο (για PTW)

Προχωρώντας στον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος (Διάγραμμα 8), βάση του παρακάτω διαγράμματος, παρατηρούνται πάλι όπως και πριν διαφορές ανάλογα με τη θέση που παίζουν οι παίκτες και τη στρατηγική των αντιπάλων τους, οι οποίες εδώ είναι ακόμη πιο εμφανείς ιδίως όσον αφορά τις δύο ακραίες καμπύλες. Ομοίως με πριν, ο οδηγός επιλέγει πάντα να συνεργαστεί, εξασφαλίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο πως θα μεγιστοποιηθούν οι απολαβές του (ορθολογικός).

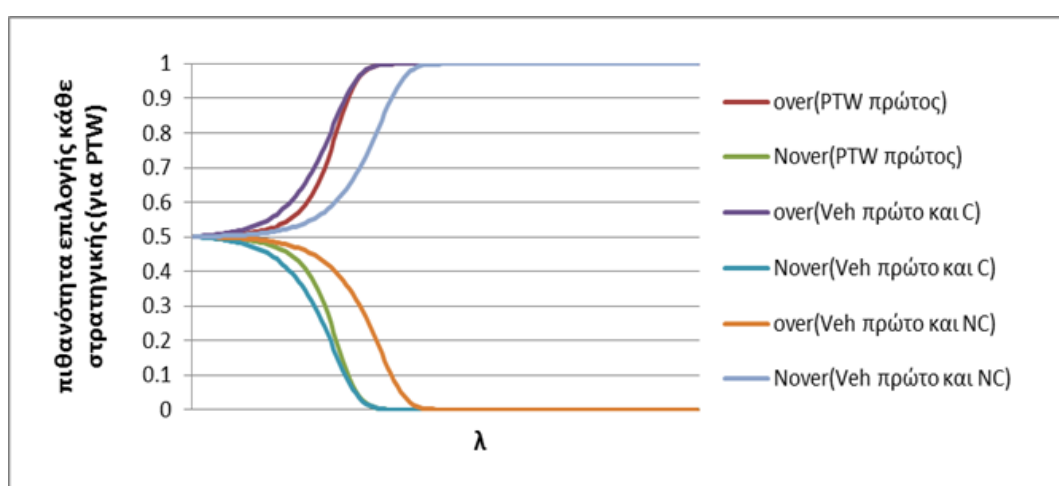


Διάγραμμα 6: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο πρώτο παίγνιο (για Veh)

Δεύτερο παίγνιο

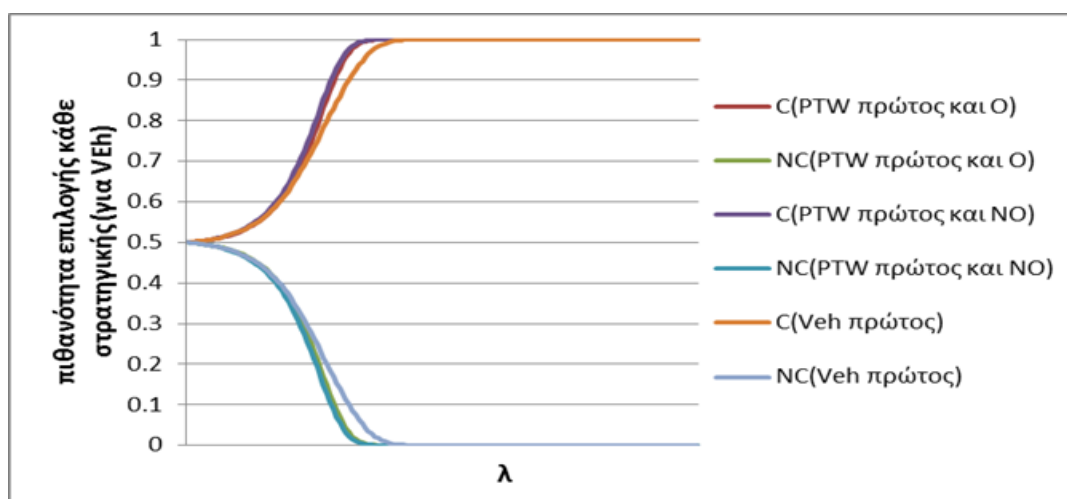
Στο δεύτερο αυτό παίγνιο μελετάται η πρόθεση του δικυκλιστή να προσπεράσει, συναρτήσει του διατιθέμενου ανοίγματος που αφήνει το προπορευόμενο όχημα. Εξετάζοντας τη συμπεριφορά του δικυκλιστή (Διάγραμμα 9) ως προς την προσπέραση συναρτήσει της παραμέτρου λ , φαίνεται ότι πιο εύκολα επιλέγει να προσπεράσει όταν πρώτο επιλέγει το όχημα να συνεργασθεί, στοιχείο που δρα υπέρ της ασφαλείας και της άνεσης των δύο οδηγών και μεγιστοποιεί τις απολαβές

του δικυκλιστή. Επιλέγει δηλαδή ευκολότερα την κυρίαρχη στρατηγική {O,C}. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που το όχημα δε συνεργάζεται ο δικυκλιστής αποφασίζει να αλλάξει στρατηγική και να μην προσπεράσει. Η απόφασή του αυτή, του αποφέρει πολύ μικρές απολαβές αλλά με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται τα λάθη και η ριψοκινδυνευμένη προσπέραση από μέρους του, αν και στο συμπέρασμα αυτό καταλήγει λιγότερο γρήγορα σε σχέση με άλλες στρατηγικές. Είναι πρόδηλο επομένως, ότι ο δικυκλιστής δρα με γνώμονα την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου κέρδους, υπό την έννοια των απολαβών και γι' αυτό θεωρείται ορθολογικός.



Διάγραμμα 7: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο δεύτερο παίγνιο (για PTW)

Ο οδηγός του οχήματος που προπορεύεται (Διάγραμμα 10), επιλέγει το ίδιο συχνά τη στρατηγική που θα ακολουθήσει αν πρώτος ο δικυκλιστής αποφασίζει είτε να προσπεράσει είτε να μην προσπεράσει. Επομένως, ανεξάρτητα της τακτικής που ακολουθεί ο δικυκλιστής, ο οδηγός του προπορευόμενου ΙΧ πιο γρήγορα εκπαιδεύεται να ενεργεί δεύτερος, γνωρίζοντας προηγουμένως τη στρατηγική του αντιπάλου του. Η απόφασή του αυτή μεγιστοποιεί τις απολαβές του και συμφωνεί με την κυρίαρχη στρατηγική. Ομοίως συμβαίνει στην περίπτωση που πρώτα παίζει το όχημα και αποφασίζει να συνεργασθεί, καθώς αφήνοντας το απαραίτητο άνοιγμα στο δικυκλιστή είτε αποφασίσει να προσπεράσει είτε όχι ο τελευταίος, ο ελιγμός αυτός θα πραγματοποιηθεί χωρίς να κινδυνεύσει κανένας από τους 2 οδηγούς. Κρίνοντας από τα παραπάνω, ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος είναι ορθολογικός καθώς επιλέγει πάντα την καλύτερη για τον ίδιο λύση και παράλληλα επιλέγει πάντα τη συνεργασία, για την αποφυγή ατυχημάτων και την εξασφάλιση της ασφάλειας αμφότερων οδηγών.

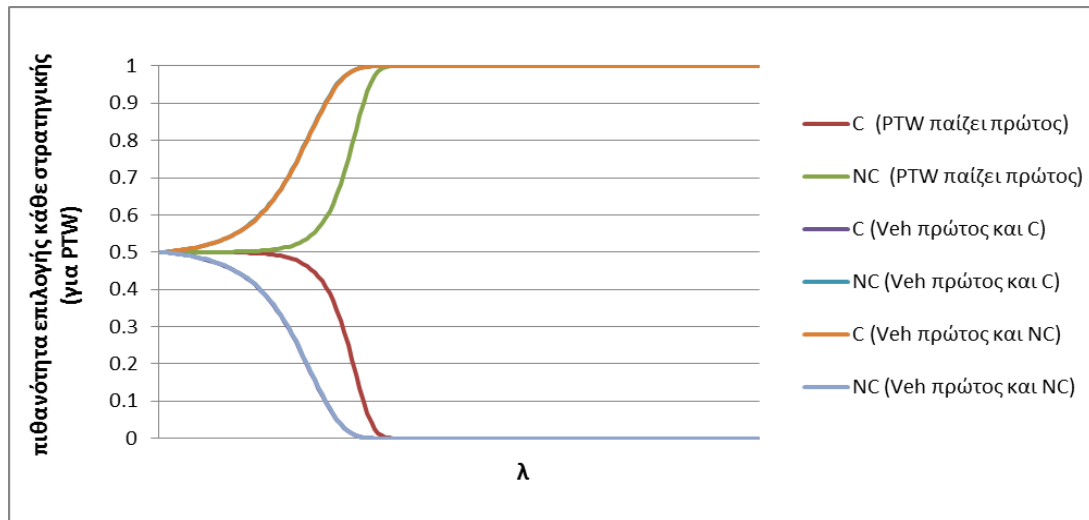


Διάγραμμα 8: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο δεύτερο παίγνιο (για Veh)

Τρίτο παίγνιο

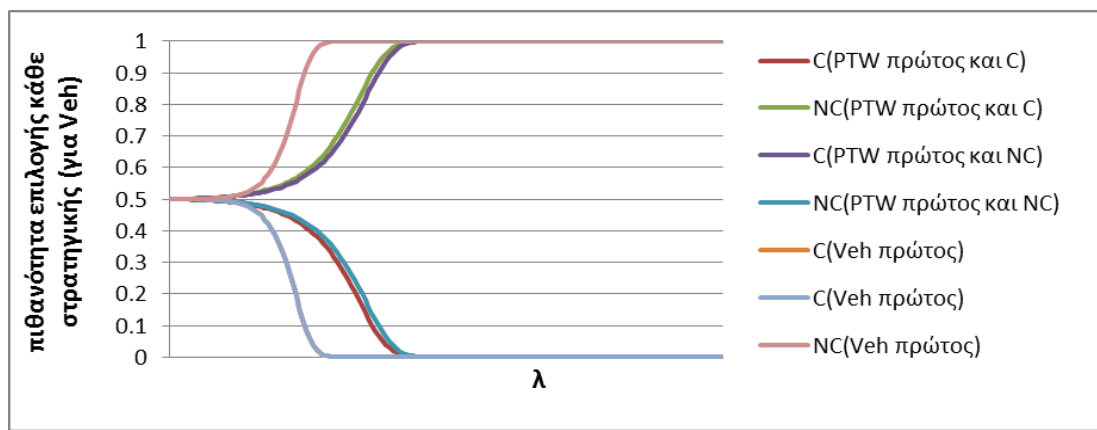
Στο τρίτο παίγνιο εξετάζεται πάλι η πρόθεση των παικτών να συνεργάζονται ή όχι, συνδυάζοντας χωρικούς παράγοντες(απόσταση δικυκλιστή από πίσω όχημα και λωρίδα που βρίσκεται) με την ταχύτητα που έχουν οι δύο αυτοί παίκτες.

Για τον δικυκλιστή (Διάγραμμα 11) μία αρχική παρατήρηση είναι ότι η περίπτωση όπου το όχημα παίζει πρώτο και κανείς τους δεν είναι συνεργάσιμος, ταυτίζεται με αυτή στην οποία το όχημα παίζει πρώτο και αμφότεροι συνεργάζονται. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα, οι δύο αυτές στρατηγικές αποφέρουν τις μικρότερες απολαβές στον δικυκλιστή, επομένως αποφεύγει να τις ακολουθήσει. Αλλάζοντας τη στρατηγική του ο δικυκλιστής και επιλέγοντας σε περίπτωση που το όχημα συνεργάζεται(επιβραδύνει) να μη συνεργαστεί, επιδιώκει να εξασφαλίσει ότι θα μεγιστοποιήσει τις απολαβές του, στοιχείο που τον καθιστά ορθολογικό παίκτη. Επιλέγει επομένως τις 2 κυρίαρχες στρατηγικές{NC(P2) & C(P1)} ,{NC(P1) & C(P2)} πιο εύκολα από τις υπόλοιπες.



Διάγραμμα 9: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τρίτο παίγνιο (για PTW)

Προχωρώντας στον οδηγό του IX (Διάγραμμα 12), φαίνεται ότι ο οδηγός μαθαίνει πιο γρήγορα να παίζει πρώτος και να μην συνεργάζεται. Η συνεργασία, που μετρίεται ανάλογα της τιμής της διαφοράς ταχυτήτων των δύο οχημάτων, αποφεύγεται καθώς ο οδηγός επιθυμεί να οδηγήσει ανενόχλητος, χωρίς καθυστερήσεις μέχρι τον προορισμό του. Παράλληλα, εφόσον ο δικυκλιστής παίζει πρώτος και συνεργάζεται, ο οδηγός μαθαίνει πιο γρήγορα να συνεργάζεται, που είναι και η βέλτιστη για τον ίδιο στρατηγική από άποψη απολαβών. Η ορθολογικότητά του επιβεβαιώνεται, καθώς σε κάθε περίπτωση οι αποφάσεις που παίρνει του αποφέρουν τις καλύτερες απολαβές.



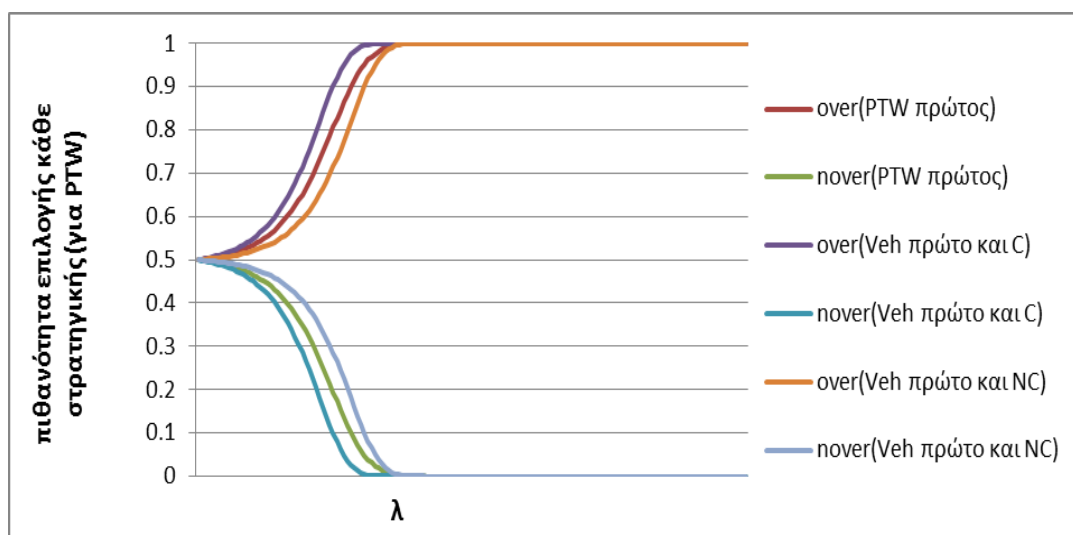
Διάγραμμα 10: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τρίτο παίγνιο (για Veh)

4. Τέταρτο παίγνιο

Τέλος, στο τέταρτο παίγνιο εξετάζεται η συνεργασία του οδηγού του οχήματος, υπό την έννοια της διαφοράς ταχυτήτων των δύο παικτών, προκειμένου να προσπεράσει ο δικυκλιστής.

Ξεκινώντας λοιπόν από τον δικυκλιστή (Διάγραμμα 13), δεν εμφανίζεται κάποια αλλαγή στην στρατηγική που θα επιλέξει ανεξαρτήτως της σειράς που θα παίξει ή της συμπεριφοράς του αντιπάλου του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θεώρηση της συνεργασίας που έγινε εκ μέρους του οδηγού του ΙΧ, αφορούσε μόνο την ταχύτητα που αμφότεροι αναπτύσσουν. Ο δικυκλιστής επομένως προσπερνά πάντα, ακόμη και όταν ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος επιταχύνει, καθώς η επιτάχυνση του δικυκλιστή ενδεχομένως είναι μεγαλύτερη και έτσι μπορεί να προσπεράσει το μπροστινό του αμάξι.

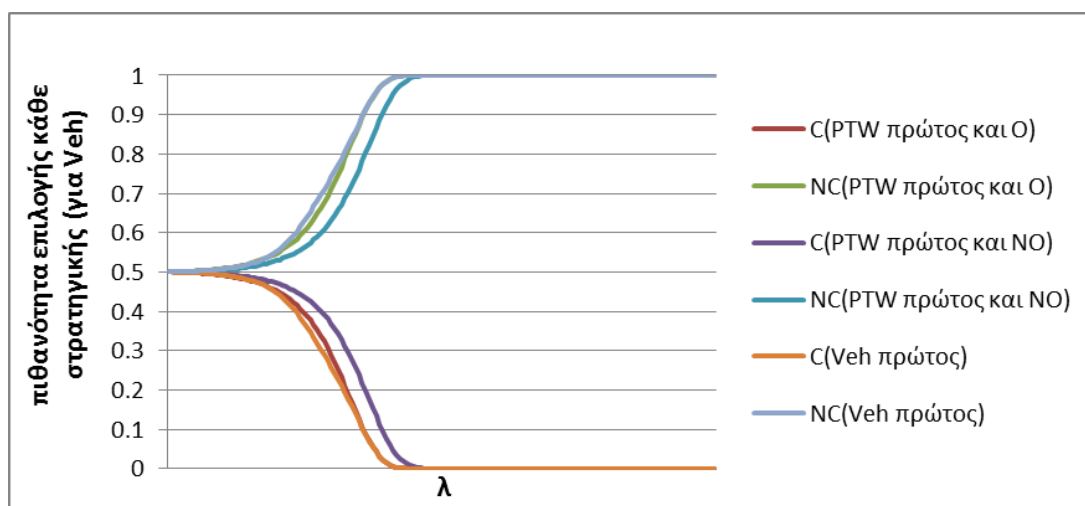
Παράλληλα, εμφανίζονται κάποιες μικρές αποκλίσεις για κάθε περίπτωση προσπέρασης. Ο δικυκλιστής θα επιλέξει να προσπεράσει πιο εύκολα αν πρώτος παίξει ο οδηγός του ΙΧ και είναι συνεργάσιμος, ή πρώτος αποφασίζει ο δικυκλιστής, ενώ αντίθετα πιο δύσκολα αν το όχημα δεν συνεργασθεί. Η διαπίστωση αυτή συμφωνεί και με την κυρίαρχη στρατηγική που προέκυψε καθώς στην πρώτη περίπτωση οι απολαβές του δικυκλιστή μεγιστοποιούνται, επομένως συχνότερα θα επιλέξει τη βέλτιστη για τον ίδιο τακτική. Ομοίως στις υπόλοιπες περιπτώσεις, οι απολαβές του είναι αρκετά υψηλές, στοιχείο που δείχνει πώς πρόκειται για ορθολογικό παίκτη.



Διάγραμμα 11: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τέταρτο παίγνιο (για PTW)

Επιπλέον, αναφορικά με το προπορευόμενο όχημα (Διάγραμμα 14), μία πρώτη επισημάνση που θα μπορούσε να γίνει είναι ότι σ'αντίθεση με το δικυκλιστή, αλλάζει την τακτική του ανεξάρτητα της σειράς που παίζει ή της στρατηγικής του αντιπάλου του. Εφόσον η πρόθεσή του για συνεργασία μετρήθηκε αποκλειστικά με την ταχύτητα που έχει, σκοπός του είναι να τη διατηρήσει ,ή να την αυξήσει επιταχύνοντας, καθόλη τη διάρκεια κίνησής του προκειμένου να φτάσει γρήγορα στον προορισμό του. Για το λόγο αυτό, ανεξάρτητα αν πρώτα παίζει ο δικυκλιστής ή όχι, δρα εγωιστικά με στόχο την μη διατάραξη της πορείας και ταχύτητάς του.

Η συμπεριφορά του είναι ορθολογική όπως δείχνει και το διάγραμμα καθώς και στις 3 περιπτώσεις-καμπύλες, επιλέγοντας να μη συνεργασθεί αποσκοπεί στην αύξηση των απολαβών του, δηλαδή στην επιτάχυνση του οχήματός του. Ωστόσο, φαίνεται πως τη βέλτιστη για τον ίδιο περίπτωση την επιλέγει πιο αργά, δηλαδή όταν ο δικυκλιστής παίζει πρώτος και δεν προσπερνά, ενώ πιο συχνά δρά βάση της κυρίαρχης στρατηγικής {O,NC}.



Διάγραμμα 12: Μόρφωση διαγράμματος QRE στο τέταρτο παίγνιο (για Veh)

Συμπερασματικά, συγκρίνοντας το δεύτερο με το τέταρτο παίγνιο φαίνεται ότι η απόφαση του δικυκλιστή να προσπεράσει ή όχι, εξαρτάται άμεσα από τους χωρικούς παράγοντες (όπως το διαθέσιμο άνοιγμα από το προπορευόμενο όχημα) και όχι από τη διαφορά ταχυτήτων των δύο παικτών, καθώς παρόλο που το όχημα μπορεί να επιταχύνει, η επιτάχυνση του δικυκλιστή είναι μεγαλύτερη και επομένως έχει τη δυνατότητα να διέλθει μπροστά. Ακόμη, παρατηρείται πως και στις δύο περιπτώσεις ο οδηγός του οχήματος ακολουθεί τη βέλτιστη από άποψη απολαβών για τον ίδιο στρατηγική, η οποία μεταφράζεται στο δεύτερο παίγνιο με την επιλογή του πάντα να συνεργάζεται και στο τέταρτο να μη συνεργαστεί ποτέ. Ο λόγος που εμφανίζονται αυτές οι αντίθετες στρατηγικές, έγκειται στο γεγονός ότι η συνεργασία του οδηγού θεωρήθηκε με διαφορετικές συνθήκες κάθε φορά,

αφήνοντας το απαραίτητο άνοιγμα και επιβραδύνοντας αντίστοιχα. Έτσι λοιπόν, ως ορθολογικός παίκτης επιλέγει την μεγιστοποίηση των απολαβών του είτε αυτές μεταφράζονται σε ασφάλεια είτε σε ταχύτητα.

Ακόμη, στο πρώτο και το τρίτο παίγνιο, μελετάται η συνεργασία των οδηγών(για το δικυκλιστή αναλόγως την απόσταση που διατηρεί από το προπορευόμενο όχημα και τη λωρίδα που βρίσκεται, ενώ για τον οδηγό του ΙΧ αναλόγως το διατιθέμενο άνοιγμα που αφήνει στο δικυκλιστή να προσπεράσει ή την ταχύτητα που αναπτύσσει αντίστοιχα). Παρόλο που στο πρώτο παίγνιο αμφότεροι οι οδηγοί επιλέγουν πάντα τη συνεργασία, κάτι τέτοιο δεν ισχύει και στο τρίτο παίγνιο, στο οποίο ενίοτε επιλέγουν να μη συνεργασθούν με γνώμονα την αύξηση των απολαβών τους. Πρόκειται δηλαδή για ορθολογικούς παίκτες. Όπως και στα άλλα παίγνια, έτσι και σε αυτά αποδεικνύεται ότι η πρόθεση του οδηγού ΙΧ να συνεργαστεί συναρτήσει της διαφοράς ταχύτητας των δύο οδηγών, δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην απόφαση του δικυκλιστή να πραγματοποιήσει την προσπέρασή του.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ,σε όλα τα παίγνια φαίνεται πως όσο η τιμή των απολαβών αυξάνεται, η κλίση της καμπύλης του διαγράμματος γίνεται πιο απότομη και τείνει να λάβει την ιδανική, ευθεία μορφή, αν οι απολαβές προσεγγίσουν την τιμή 1, κατά την οποία ο εκάστοτε οδηγός θα επιλέγει πάντα την βέλτιστη για τον ίδιο στρατηγική.

5. Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται μία σύντομη ανακεφαλαίωση των όσων ειπώθηκαν, σχολιασμός των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την εκπόνηση της έρευνας αυτής και τέλος παρουσίαση κάποιων προτάσεων που θα είναι χρήσιμες σε περαιτέρω έρευνες που ασχολούνται με το φαινόμενο αυτό της προσπέρασης.

5.1 Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη του φαινομένου της προσπέρασης ενός οχήματος από δικυκλιστή, με τη βοήθεια της Θεωρίας Παιγνίων. Αρχικά, διευκρινίζεται πως θα ερευνηθεί ο ελιγμός αυτός βάσει παιγνίων εκτεταμένης μορφής πλήρους πληροφόρησης, δηλαδή όπου οι παίκτες παίζουν ο ένας μετά τον άλλο γνωρίζοντας την στρατηγική που ακολουθεί ο αντίπαλός τους με στόχο την μεγιστοποίηση των απολαβών τους. Ο λόγος που έγινε αυτή η θεώρηση είναι: πρώτον, για να απλοποιηθεί όσο το δυνατόν η μελέτη των τροχιών των δικυκλιστών που αποτελεί σύνθετο και περίπλοκο φαινόμενο καθώς και δεύτερον, να εκφρασθεί ο ελιγμός αυτός όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται ώστε να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

5.2 Συνοπτική παρουσίαση μεθοδολογίας- αποτελεσμάτων

Το φαινόμενο αυτό της προσπέρασης εξετάζεται σύμφωνα με πραγματικές μετρήσεις που είχαν γίνει σε παλαιότερη διπλωματική εργασία σε αστική οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας στο κέντρο της Αθήνας, η οποία πληρούσε κάποια συγκεκριμένα κριτήρια. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στη συνέχεια επεξεργάστηκαν με χρήση του Trajectory Extractor και προέκυψε η βάση δεδομένων στην οποία στηρίχθηκε αυτή η διπλωματική εργασία.

Υποθέτοντας πως αμφότεροι οι παίκτες, όπου παίκτης 1 ο δικυκλιστής και παίκτης 2 ο οδηγός του προπορευόμενου ΙΧ είναι ορθολογικοί, δηλαδή μορφώνουν τη στρατηγική τους ώστε να επιτύχουν το βέλτιστο για αυτούς αποτέλεσμα, μορφώνονται τα εκτεταμένης μορφής παίγνια. Σε κάθε ένα από αυτά μελετάται η διαφορετική στρατηγική που ακολουθούν οι παίκτες και υπολογίζονται οι απολαβές που θα έχουν για κάθε συνδυασμό αποφάσεων τους. Συγκεκριμένα:

Στο πρώτο παίγνιο, οι 2 παίκτες έχουν να επιλέξουν είτε τη μεταξύ τους συνεργασία είτε να μη συνεργασθούν. Παρόλα αυτά, οι παράμετροι που ορίζουν την πρόθεση του εκάστοτε παίκτη διαφέρουν και σχετίζονται με τη θέση που βρίσκονται αμφότεροι καθώς και τις χωρικές αποστάσεις που τους χωρίζουν. Ως απολαβές κάθε παίκτη λαμβάνονται μεταβλητές άμεσα συνυφασμένες με την ταχύτητα

κίνησης και γενικότερα την άνεση που έχουν όταν ο δικυκλιστής προσπερνά. Η κυρίαρχη στρατηγική που εμφανίζεται είναι να συνεργασθούν οι 2 παίκτες. Τα διαγράμματα που δημιουργούνται με χρήση του όρου QRE και του συντελεστή λ συναρτήσει της στρατηγικής κάθε παίκτη εμφανίζουν ότι δεν αλλάζουν καμία φορά τη στρατηγική τους οι 2 παίκτες ανεξάρτητα τη σειρά που έπαιξαν, στοιχείο που επιβεβαιώνει τον ορθολογισμό των παικτών, καθώς στις περιπτώσεις αυτές μεγιστοποιούνται οι απολαβές τους.

Στο δεύτερο παίγνιο που δημιουργήθηκε, η στρατηγική του δικυκλιστή εκφράζει την επιθυμία του να προσπεράσει ή όχι το προπορευόμενο όχημα ενώ το όχημα που προηγείται διατηρεί την ίδια στρατηγική με πριν. Ως απολαβές θεωρούνται πάλι οι ίδιες με το προηγούμενο παίγνιο και η κυρίαρχη στρατηγική αυτή τη φορά είναι να συνεργασθεί ο οδηγός, ώστε να τον προσπεράσει ο δικυκλιστής. Ωστόσο, αυτό που αλλάζει είναι ότι στα διαγράμματα στρατηγικής-παραμέτρου λ(QRE) ο δικυκλιστής αλλάζει τη στρατηγική του(δεν προσπερνά) στην περίπτωση που αποφασίσει δεύτερος και το προπορευόμενο όχημα είναι μη συνεργάσιμο δρώντας υπέρ της ασφαλείας. Αντίθετα, αυτό δεν συνέβη όταν εξετάσθηκε η πρόθεση του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος για συνεργασία την οποία και προτίμησε σε κάθε περίπτωση. Παρατηρήθηκε λοιπόν πως οι χωρικοί παράγοντες παίζουν μεγάλο ρόλο στην επιλογή των οδηγών για τη στρατηγική που θα ακολουθήσουν. Αμφότεροι οι οδηγοί αποδείχθηκε πως ήταν ορθολογικοί καθώς δρούσαν με βάση την βέλτιστη για τους ίδιους στρατηγική.

Στο τρίτο παίγνιο που δημιουργήθηκε, εξετάζεται πάλι η συνεργασία των δύο παικτών, υπό όρους απόστασης και λωρίδας που βρίσκεται ο δικυκλιστής ως προς το όχημα καθώς και ταχύτητας του προπορευόμενου οχήματος. Ωστόσο η κυρίαρχη στρατηγική εξαρτάται από το ποιος από τους 2 παίκτες παίζει πρώτος. Έτσι, όταν αποφασίζει πρώτος ο δικυκλιστής επιλέγει να μη συνεργασθεί, ενώ το όχημα συνεργάζεται. Παράλληλα, όταν πρώτος διαλέγει ο οδηγός του ΙΧ, η στρατηγική είναι να μη συνεργασθεί το όχημα αλλά να συνεργασθεί το δίκυκλο. Η στρατηγική του δικυκλιστή εκφράζει την επιθυμία του να προσπεράσει ή όχι το προπορευόμενο όχημα, ενώ το όχημα που προηγείται διατηρεί την ίδια στρατηγική με το προηγούμενο παίγνιο. Στα διαγράμματα στρατηγικής-παραμέτρου λ, ο δικυκλιστής αλλάζει τη στρατηγική του (μη συνεργάσιμος) στην περίπτωση που αποφασίσει δεύτερος και το προπορευόμενο όχημα είναι μη συνεργάσιμο, ενώ ομοίως όσον αφορά το όχημα, αλλάζει τη στρατηγική του(δε συνεργάζεται) όταν ο δικυκλιστής δε συνεργάζεται. Από τα παραπάνω, απορρέει το συμπέρασμα ότι οι οδηγοί είναι ορθολογικοί και δρούν βάσει του συμφέροντός τους. Ακόμη, η επιλογή τους να αλλάξουν στρατηγική στις περιπτώσεις όπου ο άλλος παίκτης δε συνεργάζεται είναι σωστή, γιατί με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται τυχόν ατυχήματα.

Στο τελευταίο παίγνιο που εξετάσθηκε, η στρατηγική του δικυκλιστή εκφράζει την επιθυμία του να προσπεράσει ή όχι το προπορευόμενο όχημα, ενώ το όχημα που προηγείται ελέγχεται για τη διάθεσή του για συνεργασία. Ως κυρίαρχη στρατηγική αυτή τη φορά προκύπτει να προσπεράσει ο δικυκλιστής και να μη συνεργασθεί το όχημα, ανεξαρτήτως της σειράς που παίζουν οι παίκτες. Αυτό δείχνει πώς αμφότεροι οι οδηγοί επιδιώκουν να επιτύχουν το μέγιστο όφελος για αυτούς. Εξετάζοντας τα διαγράμματα QRE διαπιστώθηκε πώς η απόφαση του δικυκλιστή να προσπεράσει, υπερίσχυε ανεξαρτήτως της συνεργασίας του ΙΧ λόγω της υποδύναμής του, η οποία τον βοηθά να ελιχθεί γρήγορα και τελικώς να προσπεράσει το μπροστινό του όχημα. Παράλληλα, ο οδηγός του οχήματος επιλέγει πάντα να μη συνεργαστεί, δηλαδή η ταχύτητά του είναι μεγαλύτερη αυτής του δικυκλιστή, καθώς με αυτόν τον τρόπο επωφελείται περισσότερο διατηρώντας την ταχύτητά του ώστε να φτάσει γρήγορα στον προορισμό του.

Συνολικά, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων QRE των δύο αυτών παιγνίων φαίνεται ότι καλύτερη είναι η λύση στην οποία υπάρχει συνεργασία του παίκτη 2 και του 1, είτε αυτή εκφράστηκε χωρικά είτε με τη διάθεσή του να προσπεράσει ή όχι. Παράλληλα παρατηρείται ότι, όσον αφορά στο προπορευόμενο όχημα, συνήθως δεν αλλάζει τη στρατηγική του σε αντίθεση με το δικυκλιστή όπου τις μισές φορές την αλλάζει και τις υπόλοιπες την διατηρεί. Στις περιπτώσεις όπου εξετάζεται αν τελικώς προσπέρασε ή όχι ο δικυκλιστής το μπροστινό του όχημα (παίγνιο 2 και 4), διαπιστώνεται πως η απόφασή του αυτή εξαρτάται από το διαθέσιμο άνοιγμα που του αφήνει το ΙΧ (παίγνιο 2) και όχι από την ταχύτητα που έχει (παίγνιο 4) καθώς στην τελευταία περίπτωση ο δικυκλιστής μπορεί απλά επιταχύνοντας να διέλθει μπροστά από το όχημα.

Σε όλες τις περιπτώσεις, δηλαδή και στα 4 παίγνια, επιβεβαιώθηκε η αρχική υπόθεση που είχε γίνει, ότι αμφότεροι οι παίκτες είναι ορθολογικοί καθώς επιλέγουν τις στρατηγικές εκείνες που θα μεγιστοποιούν τις απολαβές τους.

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Όπως ειπώθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, οι μετρήσεις αυτές λήφθηκαν από βιντεοσκόπηση που πραγματοποιήθηκε στο κέντρο της Αθήνας πάνω σε ένα συγκεκριμένο σταθερό σημείο (πεζογέφυρα Calatrava). Το γεγονός αυτό περιορίζει την έρευνα του φαινομένου της προσπέρασης, καθώς δεν επιτρέπει τη διεξοδική διερεύνηση της χρονικής εξάρτησης των αποφάσεων όσον αφορά την όλη πορεία του ελιγμού που πραγματοποιεί ο δικυκλιστής, από τη στιγμή που αποφασίζει να προσπεράσει έως τη στιγμή που ηγείται του προηγούμενως προπορευόμενου οχήματός του. Παρόλο που θα μπορούσε να γίνει χρήση πολλαπλών καμερών ώστε να καλυφθεί μεγαλύτερο μέρος του αστικού δικτύου που μελετάται, θα εμφανίζονταν προβλήματα αντιστοίχισης του οχήματος σε διαδοχικά βίντεο. Ακόμη,

το γεγονός ότι η οπτική γωνία στην οποία είναι τοποθετημένη η κάμερα μπορεί να οδηγήσει σε πολλά κρυμμένα σημεία, περιορίζει τη μελέτη σε συγκεκριμένα κομμάτια του αστικού δικτύου που να ικανοποιούν την απαίτηση σε ύψος αλλά ωστόσο μπορεί να υπάρξουν διαταραχές στην καταγραφή των αποστάσεων και της κυκλοφοριακής πυκνότητας.

Για να λυθούν οι παραπάνω αυτοί περιορισμοί στη μελέτη των τροχιών των οχημάτων, θα μπορούσε να γίνει χρήση νέων τεχνολογιών όπως τα UAVS (Unmanned Aerial Vehicles), δηλαδή Μη Επανδρωμένων Εναέριων Οχημάτων. Όπως εξηγούν σε έρευνά τους οι Barbounakis et al.[39] τα “drones” προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλου είδους καταγραφή της κυκλοφορίας των οχημάτων. Αρχικά, παρέχουν έναν τρόπο συλλογής δεδομένων που δεν διαταράσσει την κυκλοφορία λόγω του μικρού τους μεγέθους. Έπειτα, τους δίνεται η δυνατότητα κάλυψης οποιαδήποτε περιοχής επιθυμεί ο μελετητής με εξαιρετικά χαμηλό κόστος (η οποία ωστόσο πρέπει να είναι ελεύθερη από εμπόδια), χωρίς να υπόκεινται σε περιορισμούς ύψους. Έτσι λοιπόν, με χρήση των UAVS θα προκύψουν πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα που θα συμβάλλουν στην καλύτερη ανάλυση του περίπλοκου αυτού φαινομένου της προσπέρασης.

Παρόλο που η συγκεκριμένη μελέτη ασχολήθηκε με τον ελιγμό που πραγματοποιούν οι δικυκλιστές προκειμένου να προσπεράσουν το προπορευόμενο για αυτούς όχημα και τις στρατηγικές που αμφότεροι αναπτύσσουν κατά την αλληλεπίδρασή τους αυτή, τα ευρήματα της έρευνας αυτής μπορούν ωστόσο να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης με αυτά που προέκυψαν από άλλες έρευνες. Ειδικότερα, θα μπορούσε να γίνει σύγκριση με τις στρατηγικές που διαμορφώνουν δύο επιβατικά οχήματα, όπου το ένα εξ'αυτών επιθυμεί να προσπεράσει, καθώς και μ'αυτές που εμφανίζονται μεταξύ δύο διαφορετικών κατηγοριών (π.χ. μηχανή, επιβατικό-φορτηγό, κτλ). Κατ'αυτόν τον τρόπο, θα μπορούσαν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα που θα αντικατόπτριζαν τον τρόπο με τον οποίο, ο εκάστοτε οδηγός αντιδρά στην περίπτωση που προσπερνά ή προσπερνιέται από κάποιον άλλο, τα οποία αργότερα θα χρησίμευαν στη σωστή καθοδήγηση των οδηγών για την επίτευξη της βέλτιστης για αυτούς στρατηγικής μέσω Ευφυή Συστημάτων Μεταφορών.

Τέλος, ένα ακόμη σημείο που θα μπορούσε να εξετασθεί σε μεταγενέστερες έρευνες είναι κατά πόσο επηρεάζονται οι στρατηγικές των δύο παικτών-οδηγών του εκάστοτε παιγνίου, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν στην οδό που μελετάται καθώς και από την γεωμετρική χάραξή της. Έτσι, η έρευνα του φαινομένου της προσπέρασης θα μπορούσε να γίνει περισσότερο κατανοητή και να υπερληφθούν παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση των αποφάσεων των οδηγών, οι οποίοι ενδεχομένως δεν είχαν ληφθεί υπόψη.

Βιβλιογραφία

- [1] Πηγή: Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Motorcycle>, 2016
- [2] Πηγή: Wikipedia, https://el.wikipedia.org/wiki/Θεωρία_Παιγνίων
- [3] Barbounakis Emanouil N., Vlahogianni Eleni I., Golias John C., Cooperative Intelligent Transportation Systems For Powered Two Wheelers Based on Game Theory
- [4] Κουλατζίδης Βασίλειος, Εφαρμογή της θεωρίας Παιγνίων στην Ανάλυση της Ροής Δικύκλων σε Αστικές Αρτηρίες, 2016
- [5] Καπουλέα Παναγιώτα, Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στον Προσδιορισμό της Επικινδυνότητας κατά το Φαινόμενο της Προσπέρασης σε Αστικές Αρτηρίες, 2015
- [6] Μπαρμπουνάκης Εμμανουήλ, Διερεύνηση της συμπεριφοράς των Δικυκλιστών κατά τη διάρκεια της Προσπέρασης σε αστικές αρτηρίες, 2012
- [7] Καταχανάκη Παρασκευή, 2014, Ανάπτυξη Προτύπων για την Περιγραφή της Κίνησης Μοτοσικλετιστών σε Αστικές Αρτηρίες
- [8] Barbounakis Emmanouil N., Vlahogianni Eleni I., Golias John C., A game theoretic approach to Powered Two Wheelers Overtaking Phenomena, 2015
- [9] Nikias V., Vlahogianni E., Lee, T-C, Golias J.C., Determinants of Powered Two-Wheelers Virtual Lane Width in Urban Arterials, 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2012
- [10] Geertje Hegeman, Andreas Tapani, Serge Hoogendoorn, 2009, Overtaking assistant assessment using traffic simulation, Transportation Research Part C: Emerging Technologies
- [11] Haneen Farah, Tomer Toledo, 2010, Passing behavior on two-lane highways, Transportation Research Part F
- [12] Samantha Jamson, Kathryn Chorlton, Oliver Carsten, 2012, Could Intelligent Speed Adaptation make overtaking unsafe?, Accident Analysis and Prevention
- [13] Eleni I. Vlahogianni, John C. Golias, 2012, Bayesian modeling of the microscopic traffic characteristics of overtaking in two-lane highways, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour
- [14] Eleni I. Vlahogianni, 2013, Survival Modeling of the Overtaking Duration in Two Lane Highways, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior
- [15] Clabaux, N., Fournier, J., & Michel, J., 2014, Powered two-wheeler drivers' crash risk associated with the use of bus lanes, Accident Analysis & Prevention

- [16] Vlahogianni, E. I., Yannis, G., & Golias, J. C., 2012, Overview of critical risk factors in Power-Two-Wheeler safety, *Accident Analysis & Prevention*, 49, 12–22.
- [17] HaneenFarah, TomerToledo, 2010, Passingbehaviorontwo-lanehighways, *Transportation Research Part F*
- [18] Minh, C., Sano, K., & Matsumoto, S., 2005a, Characteristics of passing and paired riding maneuvers of motorcycle, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*
- [19] Minh, C., Sano, K., & Matsumoto, S., 2005b, The Speed, Flow and Headway analyses of motorcycle traffic, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*
- [20] Golias J.C and Tzivela,H.S.Aspects of Road Accident Death Analysis,*Journal of American Society of Civil Engineering*,Vol.118,No2,1992
- [21] Φραντζεσκάκης Ι.Μ. και Γκόλιας Ι.Κ.,Οδική Ασφάλεια,Εκδόσεις Παπασωτηρίου,Αθήνα 1994
- [22] Levakangas Pekka and Lahesma Jukka, Probability evaluation of intelligent transport system investments,*journal of transportation engineering*,May/June 2002
- [23] Kurosaki H.,Yagi M. and Yokosuka H., Vehicle licence number recognition system for measuring travel time,*journal of Robotics and Mechanics*, 5)2),192-7,1993
- [24] Bowyer D. and M.A.P. Taylor, *Traffic and Transport Information Systems*,1985. In: *Microcomputers in Traffic and Transport*(D.P.Bowyer,ed.)REAAA Workshop,Singapore,Australian Road Research Board,pp.151-60
- [25] Vahid Homayour and Sayed Tarek,Using the Canadian ITS architecture for evaluating the safety benefits of intelligent transportation systems,*Canadian Journal of Civil Engineering*,Vol 30: 970-981, 2003
- [26] Lansdow T.C., Driver visual allocation and the introduction of intelligent transport systems.*Proc.Instn.Mech.Engrs*,Volume 214,Part D, 2000
- [27] Meng Wang, Serge P. Hoogendoorn, Winnie Daamen, Bart van Arem, Riender Happee, 2015, Game theoretic approach for predictive lane-changing and car-following control, *Transportation Research Part C*
- [28] Bonte L., Espie S. and Mathieu P. (2007) “Virtual lanes interest for motorcycles simulation”, 5th European Workshop on Multi-Agent Systems, 1-17
- [29] Lawrence W. Lan, Yu-Chiun Chiou, Zih-Shin Lin, Chih-Cheng Hsu, 2009, Cellular automaton simulations of mixed traffic with erratic motorcycles’ behaviours, *Physica A*

- [30] Jian-ping Meng, Shi-qiang Dai, Li-yun Dong, Jie-fang Zhang, 2007, Cellular Automaton model for mixed traffic flow with motorcycles, *Physica A*
- [31] Lawrence W. Lan, Yu-Chiun Chiou, Zih-Shin Lin, Chih-Cheng Hsu, 2009, A refined cellular automaton model to rectify impractical vehicular movement behavior, *Physica A*
- [32] Lee, T.-C., Polak, J. W., & Bell, M. G. H., 2009, New Approach to Modeling Mixed Traffic Containing Motorcycles in Urban Areas, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*
- [33] Vlahogianni, E. I., 2014, Powered-Two-Wheelers kinematic characteristics and interactions during filtering and overtaking in urban arterials, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*
- [34] Nguyen, L. X., & Hanaoka, S., 2013, Safety spaces for overtaking movements in motorcycle traffic flow, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*
- [35] Nguyen, L. X., Hanaoka, S., & Kawasaki, T., 2014, Traffic conflict assessment for non-lane-based movements of motorcycles under congested conditions, *IATSS Research*
- [36] Vlahogianni, E. I., & Golias, J. C., 2012, Bayesian modeling of the microscopic traffic characteristics of overtaking in two-lane highways, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*
- [37] C.S.Fisk, 1984, Game Theory And Transportation, *Transportation Research Part B: Methodological*
- [38] John Glen Wardrop, 1952, Some theoretical aspects of road traffic research, *Road Engineering Division Meeting*
- [39] Barbounakis E.N., Vlahogianni E.I., Golias J.C., Extracting kinematic Characteristics from Unmanned Aerial Vehicles
- [40] Παπαγιαννούλης Ι., Ευφυή Συστήματα Μεταφορών, 2011
- [41] Martin Osborne, Ariel Rubinstein, 1994, A course in game theory. *Computers & Mathematics with Applications*
- [42] Turocy Theodore L., Benhard von Stengel, Game Theory, *CDAM Research Report LSE-CDAM-2001-09*, 2001
- [43] http://www.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/OR_GameTheory.pdf
- [44] Jacob K. Goeree, Charles A. Holt, and Thomas R. Palfrey, *Quantal Response Equilibrium: A Stochastic Theory of Games*, Princeton University Press, 2016

- [45] Philip A. Haile, Ali Hortaçsu and Grigory Kosenok, On the Empirical Content of Quantal Response Equilibrium, 2007
- [46] McKelvey, Richard D. and Thomas R. Palfrey. 1995. "Quantal Response Equilibria for Normal Form Games." Games and Economic Behavior, 10(1), 6-38.
- [47] McKelvey, Richard D. and Thomas R. Palfrey. 1998. "Quantal Response Equilibrium in Extensive Form Games." Experimental Economics, 1(1): 9—41.
- [48] Patricia A. Turner and Laura Higgins, Intelligent Transportation System (ITS) Technologies for Motorcycle Crash Prevention and Injury Mitigation, Texas A&M Transportation Institute
- [49] Megan Bayly, Simon Hosking and Michael Regan, Intelligent Transport Systems and Motorcycle Safety, Monash University Accident Research Centre, 07-0301
- [50] Emmanouil N. Barbounakis, Eleni I. Vlahogianni, John C. Golias, Intelligent Transportation Systems and Powered Two Wheelers Traffic, IEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.17, No.4, 2016