



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην Ανάλυση της Ροής Δικύκλων σε Αστικές Αρτηρίες

Διπλωματική εργασία του Βασιλείου Κουλατζίδα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

Αθήνα, Μάρτιος 2016

*Στην οικογένειά μου
και στους φίλους μου*

Ευχαριστίες

Κατάρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα, κυρία Ελένη Βλαχογιάννη, Επίκουρη Καθηγήτρια στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της σχολής Πολιτικών Μηχανικών. Αρχικά για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για τη συνεχή στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Οι συζητήσεις που έγιναν, η διάθεση για απάντηση σε οποιαδήποτε απορία και σε οποιαδήποτε ώρα με βοήθησαν ουσιαστικά στην επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα, Εμμανουήλ Μπαρμπουνάκη για την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλο το διάστημα της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Οι συζητήσεις και οι εύστοχες παρατηρήσεις του βοήθησαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωσή της.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στους φίλους μου, για την κατανόηση, τη στήριξη και τη βοήθεια που μου προσέφεραν, καθώς και στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην Ανάλυση της Ροής Δίκυκλων σε Αστικές Αρτηρίες

Βασίλειος Κουλατζίδης

Επιβλέπουσα: Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

Σύνοψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της εφαρμοσιμότητας της Θεωρίας Παιγνίων για την προτυποποίηση του ελιγμού της προσπέρασης που πραγματοποιείται από δίκυκλο. Αρχικά, γίνεται η υπόθεση ότι ο μοτοσικλετιστής, καθώς και ο οδηγός του οχήματος που προσπερνάται, είναι ορθολογικοί λήπτες αποφάσεων, οι οποίοι διαμορφώνουν στρατηγικές καθώς μετακινούνται, προσπαθώντας να μεγιστοποιήσουν τις απολαβές τους, ανάλογα με τις αποφάσεις τους. Με τη χρήση μίας βάσης δεδομένων 850 προσπεράσεων, που προέκυψε από παλαιότερη έρευνα, αναζητούνται οι μεταβλητές στις οποίες αποτυπώνονται καλύτερα οι αποφάσεις και οι απολαβές των παικτών. Τελικά, κατασκευάζονται τέσσερα διαφορετικά παίγνια για τα οποία στη συνέχεια υπολογίζονται οι απολαβές των παικτών από το δείγμα των μετρήσεων. Κάθε παίγνιο στηρίζεται σε διαφορετικές υποθέσεις για τις στρατηγικές που έχουν οι παίκτες στη διάθεσή τους, καθώς και για τον τρόπο μέτρησης αυτών από τα πραγματικά δεδομένα. Αντίστοιχα, σε κάθε προτεινόμενο μοντέλο διαφοροποιούνται οι συναρτήσεις απολαβών των παικτών και άρα ο τρόπος υπολογισμού τους. Ένα κοινό χαρακτηριστικό των παιγνίων αποτελεί το γεγονός πως σε καθένα από τα μοντέλα, τουλάχιστον ένας παίκτης έχει στο σύνολο στρατηγικών του τη συνεργασία ή όχι. Τα αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα πως οι παίκτες που συμμετέχουν σε μία προσπέραση βελτιστοποιούν τις απολαβές τους όταν συνεργάζονται, παρόλο που αυτό δε συμβαίνει πάντα.

Abstract

The main goal of this thesis is the investigation of the applicability of Game Theory in modeling the overtaking maneuver that is performed by motorcycles. Primarily, it is assumed that both the PTW driver and the driver of the vehicle being overtaken are rational decision-makers who develop strategies, while commuting in urban environment, trying to maximize their payoff depending on their decisions. A database, consisting of 850 overtaking cases, is being used in order to decide which variables better describe the decisions and the payoffs of the players who interact. As a result, four different games are constructed. For every game, we calculate the payoffs for each player using the data from the sample. Each game has different assumptions regarding the strategies that players have at their disposal, as well as the way these strategies are being quantified using real data. Respectively, in each model proposed, the payoffs and the way they are calculated are differentiated. A common characteristic that all games share is the fact that in each of them, at least one player has the strategy «Cooperate» in his set of possible actions. Results lead to the conclusion that the players participating in the game maximize their payoffs by cooperating with each other, although this situation doesn't always appear in the real data.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η εφαρμοσιμότητα της Θεωρίας Παιγνίων στην προτυποποίηση της προσπέρασης στην οποία συμμετέχει δίκυκλο το οποίο προσπερνά I.X όχημα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν τέσσερα διαφορετικά παίγνια που στόχο έχουν να περιγράψουν τη συμπεριφορά των οδηγών και άρα να μοντελοποιήσουν το φαινόμενο.

Βασική υπόθεση ήταν πως ο οδηγός του δίκυκλου (Player 1) και ο οδηγός του οχήματος που προσπερνάται (Player 2) είναι ορθολογικοί λήπτες αποφάσεων που διαμορφώνουν στρατηγικές καθώς μετακινούνται στις οδικές αρτηρίες και στόχο έχουν τη μεγιστοποίηση των απολαβών τους, ανάλογα με τις αποφάσεις τους.

Αφού ορίστηκε κάθε παίγνιο, δηλαδή αφού προσδιορίστηκαν οι στρατηγικές και οι απολαβές των παικτών, χρησιμοποιήθηκε βάση δεδομένων από πραγματικές προσπεράσεις για τον ακριβή υπολογισμό των μέσων απολαβών τους σε κάθε πιθανή έκβαση του εκάστοτε παιγνίου.

Όσον αφορά στην περιοχή μελέτης, τα δεδομένα συλλέχθηκαν από αρτηρία τεσσάρων (4) λωρίδων κυκλοφορίας, δύο (2) ανά κατεύθυνση. Η τελική βάση που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των μοντέλων, περιελάμβανε 850 παρατηρήσεις, από τις οποίες στις 526 υπήρξε επιτυχής προσπέραση, ενώ στις υπόλοιπες 324 η προσπέραση δεν πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον, στη βάση περιέχονταν και άλλες μεταβλητές που παρατηρήθηκαν-μετρήθηκαν και τελικά χρησιμοποιήθηκαν στον ορισμό των παιγνίων. Για παράδειγμα, κάποια όρια τιμών για συγκεκριμένες χωρικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των στρατηγικών των παικτών, ενώ οι ταχύτητές τους θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν τις απολαβές τους.

Το πρώτο παίγνιο επικεντρώθηκε στην συνεργατικότητα μεταξύ των οδηγών. Τα σύνολα στρατηγικών που είχαν στη διάθεση τους οι παίκτες ήταν κοινά και αποτελούνται από τις ενέργειες «Cooperate» και «Non-Cooperate» {C, NC}. Παρόλο που οι ενέργειες έχουν κοινό όνομα, για κάθε παίκτη ορίζεται διαφορετικά η σημασία της συνεργασίας. Για το μοτοσικλετιστή, θεωρήθηκε πως συνεργάζεται όταν δεν πιέζει το όχημα που θέλει να προσπεράσει και αυτό μετρήθηκε από την μεταβλητή DistanceXY. Για τιμές της μεταβλητής μεγαλύτερες των πέντε (5) μέτρων μπορούμε να αποφανθούμε ότι ο μοτοσικλετιστής συνεργάζεται και άρα επιλέγει την στρατηγική «Cooperate», ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν η μεταβλητή παρατηρείται μικρότερη των 5 μέτρων. Με την ίδια λογική, ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος συνεργάζεται όταν αφήνει επαρκές άνοιγμα μπροστά του ώστε να περάσει το δίκυκλο (Opening $\geq 12m$). Οι προτιμήσεις των παικτών θεωρήθηκε ότι είναι η μικρή διάρκεια ταξιδιού και η ασφάλεια, οπότε οι απολαβές τους επηρεάζονταν από δύο μεταβλητές, την ταχύτητα και το ρίσκο. Η ισορροπία Nash του παιγνίου βρέθηκε στο σύνολο {C, C}.

Το δεύτερο παίγνιο ακολούθησε την ίδια λογική με το πρώτο, με τους παίκτες να αποφασίζουν αν θα συνεργαστούν ή όχι. Η επιλογή στρατηγικής όμως δεν παρατηρήθηκε από τις χωρικές μεταβλητές DistanceXY και Opening, αλλά από τις

μεταβλητές οι οποίες φανερώνουν το ρίσκο το οποίο αντιμετώπισαν οι παίχτες κατά την προσπάθεια και το οποίο στο πρώτο παίγνιο επηρέαζε τις απολαβές τους. Θεωρήθηκε λοιπόν πως στις περιπτώσεις που ο μοτοσικλετιστής αντιμετώπισε μεγάλο ρίσκο κατά τον ελιγμό, αυτό μεταφράζεται ότι ο οδηγός του οχήματος δε συνεργάστηκε. Αντίστοιχα, όταν το ρίσκο που αντιμετωπίζει ο οδηγός του οχήματος είναι μεγάλο, τότε ο δικυκλιστής δε συνεργάζεται. Τις απολαβές των παικτών στο δεύτερο παίγνιο επηρέαζαν μόνο οι ταχύτητες. Η ισορροπία Nash εντοπίστηκε πάλι στο σύνολο στρατηγικών $\{C, C\}$.

Στο τρίτο παίγνιο οι στρατηγικές του μοτοσικλετιστή άλλαξαν και θεωρήθηκε πως είναι επιλογή του το αν θα προσπεράσει ή όχι. Δηλαδή το σύνολο στρατηγικών του άλλαξε σε $\{Overtake, Stay\}$, ενώ για τον οδηγό του οχήματος παρέμεινε η επιλογή της συνεργασίας, η οποία καταγράφηκε όπως και στο δεύτερο μοντέλο από τη μεταβλητή που μετρά το ρίσκο που αντιμετώπισε ο οδηγός του δικύκλου. Οι απολαβές των παικτών ήταν οι ταχύτητές τους και η ισορροπία Nash βρέθηκε στο σύνολο $\{Overtake, Cooperate\}$.

Στο τέταρτο παίγνιο που αναλύθηκε, οι παίχτες είχαν τα ίδια σύνολα στρατηγικών με το τρίτο. Η συνεργασία όμως του Player 2 μετρήθηκε όπως και στο πρώτο παίγνιο από τις χώριες αποστάσεις, δηλαδή από το άνοιγμα που αφήνει μπροστά του στον δικυκλιστή. Αυτό έγινε για να μεταφερθούν οι μεταβλητές του ρίσκου στις συναρτήσεις απολαβών των παικτών μαζί με τις ταχύτητές τους. Η βέλτιστη κατάσταση από την οποία κανείς παίχτης, θεωρητικά, δεν θέλει να αποκλίνει (Nash Equilibrium) ήταν πάλι η $\{Overtake, Cooperate\}$.

Εξετάζοντας τα συμπεράσματα συνολικά, φάνηκε πως υπάρχει όφελος και για τους δύο παίχτες αν συνεργαστούν, με όποιο τρόπο και αν εκφράζεται η συνεργασία. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, όπως στο πρώτο παίγνιο που τα αποτελέσματα έδειξαν εμφανώς μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχίας της προσπάθειας όταν ο μοτοσικλετιστής δε συνεργάζεται. Σημαντικό εύρημα αποτελεί επίσης το γεγονός πως παρά τα σημαντικά οφέλη από πλευράς ταχύτητας και ασφάλειας, σε πολλές περιπτώσεις οι παίχτες δεν επιλέγουν τις στρατηγικές που σύμφωνα με τη Θεωρία Παιγνίων είναι βέλτιστες. Αυτό εγείρει συζητήσεις για τις υποθέσεις όπως η ορθολογικότητα των παικτών, η καταλληλότητα των συναρτήσεων απολαβών και γενικά για τη δυσκολία πλήρους εφαρμογής της Θεωρίας Παιγνίων στην καθημερινότητα.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Αστικά Οδικά Δίκτυα και Δίκυκλα	1
1.1.1	Γενικά Στοιχεία	1
1.1.2	Δίκυκλα και ο Ελιγμός της προσπέρασης	4
1.2	Στρατηγικές Οδηγών και Συνεργατικότητα	5
1.3	Θεωρία Παιγνίων	6
1.3.1	Γενικά	6
1.3.2	Παραδείγματα Παιγνίων	7
1.3.2.1	Prisoner's Dilemma	7
1.3.2.2	Biggie or Tupac?	7
1.3.2.3	Matching Pennies	8
1.4	Σκοπός Διπλωματικής	8
1.5	Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας	9
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11
2.1	Μικτή Κυκλοφορία, Δίκυκλα και ο Ελιγμός της Προσπέρασης	11
2.2	Μοντελοποίηση με τη Θεωρία Παιγνίων	13
2.3	Συμπεράσματα	16
3	Μεθοδολογική προσέγγιση	17
3.1	Προτεινόμενη Προσέγγιση	17
3.2	Θεωρία Παιγνίων	18
3.2.1	Ορισμός	18
3.2.2	Βασικές έννοιες	19
3.2.3	Ισορροπία Nash	19
3.3	Αναπαράσταση της προσπέρασης με τη Θεωρία Παιγνίων	21
3.3.1	Παίγνιο No 1	22
3.3.2	Παίγνιο No 2	23
3.3.3	Παίγνιο No 3	24
3.3.4	Παίγνιο No 4	26
4	Παρουσίαση και Αξιολογήση Μοντέλων	27
4.1	Περιοχή Μελέτης	27
4.2	Βάση Δεδομένων - Μετρήσεις	29
4.2.1	Γενικά - Μεταβλητές	29
4.2.2	Περιγραφική Στατιστική	32
4.2.2.1	Προσαρμογή Στατιστικών Κατανομών	35
4.3	Υπολογισμός Απολαβών	37

4.3.1	Αποτελέσματα Πρώτου Παιγνίου	37
4.3.2	Αποτελέσματα Δεύτερου Παιγνίου	39
4.3.3	Αποτελέσματα Τρίτου Παιγνίου	41
4.3.4	Αποτελέσματα Τέταρτου Παιγνίου	42
5	Συμπεράσματα και Προτάσεις	47
5.1	Εισαγωγή	47
5.2	Μεθοδολογία και Συμπεράσματα Ανάλυσης	47
5.3	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	49

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Αριθμός Μοτοσυκλετών Έναντι Αυτοκινήτων ανά χώρα. Το μέγεθος της πίτας εκφράζει τον πληθυσμό [1]	2
1.2	Εκατομμύρια δικύκλων (σκούρο μπλε) και αυτοκινήτων (γαλάζιο) [1]	3
1.3	Αριθμός κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα ανά τύπο [2] . . .	4
3.1	Χωρική Διάταξη Παίγνιου	17
3.2	Χρησιμοποιούμενες Μεταβλητές	18
3.3	Λογιστική Παλινδρόμηση Over $\sim V_m$	24
4.1	Χάρτης στον οποίο απεικονίζεται η περιοχή μελέτης	28
4.2	Γέφυρα Calatrava και στήσιμο διαθέσιμου εξοπλισμού	28
4.3	Μεταβλητές	30
4.4	Διάγραμμα Ροής Δομικού Μοντέλου Δικυκλιστή - $Risk_m$	31
4.5	Διάγραμμα Ροής Δομικού Μοντέλου Οδηγού - $Risk_{veh}$	32
4.6	Ιστογράμματα Ταχυτήτων	33
4.7	Ιστογράμματα DistanceXY,Opening	33
4.8	Ιστογράμματα plaini1, plaini2	33
4.9	Ιστογράμματα $Risk_m, Risk_{veh}$	34
4.10	QQ Plots V_m & V_1	36
4.11	QQ Plots DistanceXY & Opening	36
4.12	QQ Plot plaini2	36
4.13	Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 1	38
4.14	Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 2	40
4.15	Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 3	42
4.16	Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 4	44

Κατάλογος Πινάκων

1.1	Prisoner's Dilemma	7
1.2	Biggie or Tupac?	8
1.3	Matching Pennies	8
3.1	Παίγνιο Νο 3	25
4.1	Μέτρα θέσης και μεταβήτωσης	33
4.2	Πίνακας Συσχετίσεων	34
4.3	Πίνακας Απολαβών Πρώτου Παιγνίου	37
4.4	Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 1	39
4.5	Πίνακας Απολαβών Δεύτερου Παιγνίου	39
4.6	Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 2	40
4.7	Πίνακας Απολαβών Τρίτου Παιγνίου	41
4.8	Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 3	42
4.9	Πίνακας Απολαβών Τέταρτου Παιγνίου	43
4.10	Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 4	44

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Αστικά Οδικά Δίκτυα και Δίκυκλα

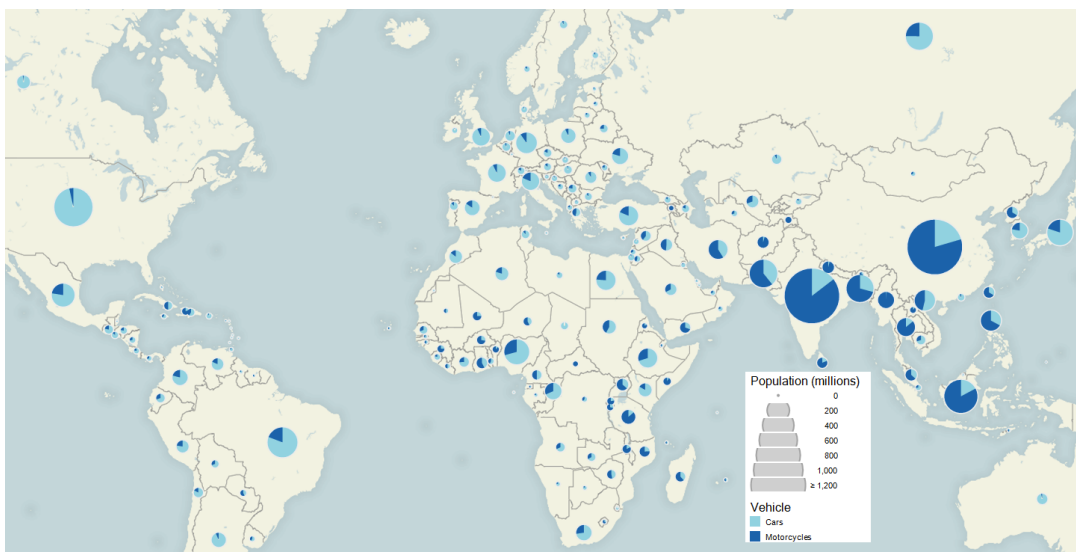
1.1.1 Γενικά Στοιχεία

Μοτοποδήλατο, μοτοσυκλέτα ή μηχανή καλείται το δίτροχο όχημα το οποίο χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση ανθρώπων σε μεγάλες αποστάσεις, για το σκοπό ταξιδιών, σε αστικά οδικά δίκτυα, καθώς και σε αγώνες και εκτός δρόμου εξορμήσεις. Οι μοτοσυκλέτες χρησιμοποιούνται επίσης για τη μεταφορά αγαθών μικρού μεγέθους σε κοντινές αποστάσεις [1]. Τα δίκυκλα οχήματα προσφέρουν αναμφισβήτητα πολλά πλεονεκτήματα στους χρήστες τους. Μερικά από αυτά είναι η άνετη και γρήγορη μετακίνηση, ιδιαίτερα σε αστικές οδούς και κατοικημένες περιοχές και σε ώρες πυκνής κυκλοφορίας, καθώς λόγω του μικρού τους πλάτους έχουν τη δυνατότητα να κινούνται ανάμεσα στην κορεσμένη κυκλοφορία και να προσπερνούν τα υπόλοιπα οχήματα.

Στη χώρα μας, η σχεδίαση και οργάνωση των οδών και ολόκληρων πόλεων έχει πραγματοποιηθεί παλαιότερα που τα οχήματα ήταν λιγότερα και δίχως αξιόπιστο στρατηγικό σχέδιο επέκτασης, με αποτέλεσμα την κυκλοφοριακή συμφόρηση στις περισσότερες κύριες αστικές αρτηρίες κατά τις ώρες αιχμής. Το φαινόμενο αυτό ευνόησε ακόμα περισσότερο τη χρήση δικύκλων, καθώς οι χρόνοι ταξιδιού είναι μικρότεροι και πιο εύκολα προβλέψιμοι.

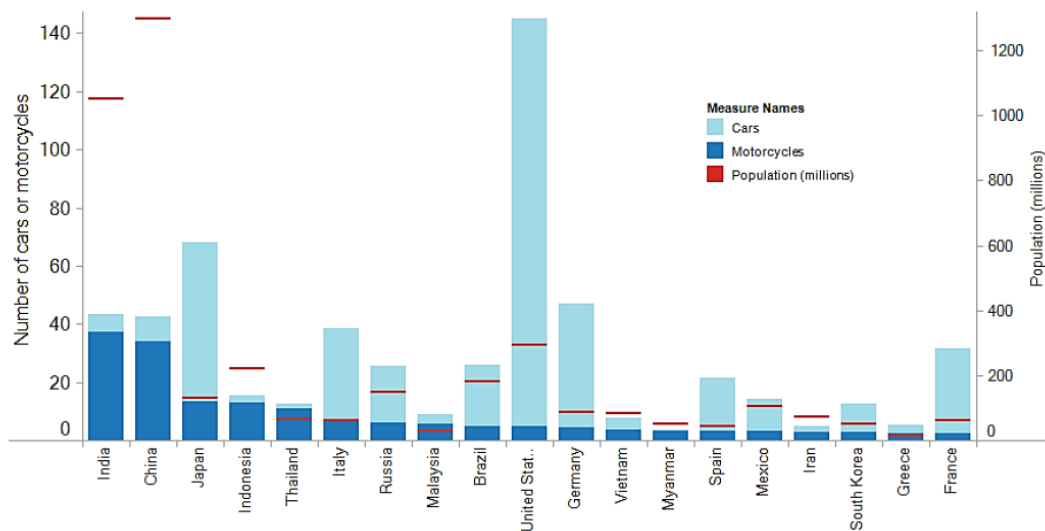
Επίσης, πάλι λόγω του μικρού τους μεγέθους, η στάθμευση είναι πιο εύκολη στις αστικές περιοχές, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικά κυρίως στις πυκνοκατοικημένες περιοχές που η εύρεση θέσης στάθμευσης αποτελεί δύσκολο εγχείρημα. Οι μοτοσυκλέτες, ως γνωστόν, προσφέρουν οικονομικές μετακινήσεις και είναι πιο προσιτές, καθώς σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα έχουν μειωμένο κόστος αγοράς, χρήσης, συντήρησης, τελών κυκλοφορίας, ασφαλιστρών και ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση καυσίμου ανά χιλιόμετρο. Επίσης, οι σύγχρονοι κινητήρες προσδίδουν μεγάλη ισχύ και πολύ καλύτερη αναλογία βάρους ανά ίππο από τα οχήματα, γεγονός που καθιστά τα δίκυκλα γρηγορότερα σε τελικές ταχύτητες και κυρίως στις επιταχύνσεις. Το γεγονός αυτό ελκύει πολλούς ανθρώπους που έχουν την ευκαιρία για γρήγορες και ευχάριστες διαδρομές, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες.

Εκτός όμως από τα πολλά πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι μοτοσυκλέτες στους χρήστες τους, έχουν και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα που αφορούν στην ασφάλεια του αναβάτη. Οι οδηγοί και οι συνεπιβάτες των δίκυκλων βρίσκονται διαρκώς εκτεθειμένοι σε κίνδυνο, αφού πάντα υπάρχει η περίπτωση σύγκρουσης ή ανατροπής. Η προστασία του αναβάτη δεν διαφυλάσσεται από το όχημα, όπως συμβαίνει στα αυτοκίνητα. Όσο τέλεια και συνεπής κι αν είναι η οδήγησή και η συμμόρφωση του μοτοσικλετιστή με τους κανόνες οδικής ασφάλειας, ο κίνδυνος είναι πάντα υπαρκτός. Τέλος, τα δίκυκλα δεν επιτρέπουν από την κατασκευή τους τη μεταφορά περισσότερων των δύο ατόμων. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η επικρατούσα κατάσταση σε σχέση με τις αναλογίες αυτοκινήτων/δίκυκλων στις διάφορες χώρες του κόσμου (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Αριθμός Μοτοσυκλετών Έναντι Αυτοκινήτων ανά χώρα. Το μέγεθος της πίτας εκφράζει τον πληθυσμό [1]

Τα δίκυκλα οχήματα αποτελούν κύριο μέσο μεταφοράς μεταξύ των μηχανοκίνητων μέσων κυρίως σε χώρες της Ασίας, όπως η Ταϊβαν, στην οποία κυκλοφορεί διπλάσιος αριθμός δίκυκλων σε σύγκριση με αυτόν των αυτοκινήτων. Τα χαμηλά επίπεδα στα εισοδήματα και η έλλειψη μέσων μαζικής μεταφοράς οδηγεί στην ολοένα και αυξανόμενη χρήση μοτοσυκλετών στις χώρες της Ανατολής, όπως για παράδειγμα στο Βιετνάμ, στην Κίνα και στην Ινδία. Αλλά και σε χώρες του Δυτικού κόσμου, όπως η Ιταλία, η Ισπανία και η Ελλάδα, κυκλοφορεί σημαντικός αριθμός δίκυκλων. Αξίζει να σημειωθεί πως εν μέσω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης του 2008, το μερίδιο αγοράς των μοτοσυκλετών αυξήθηκε κατά 6.5 %. Παρακάτω (Σχήμα 1.2), εμφανίζονται οι 20 πρώτες χώρες με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες παγκοσμίως.

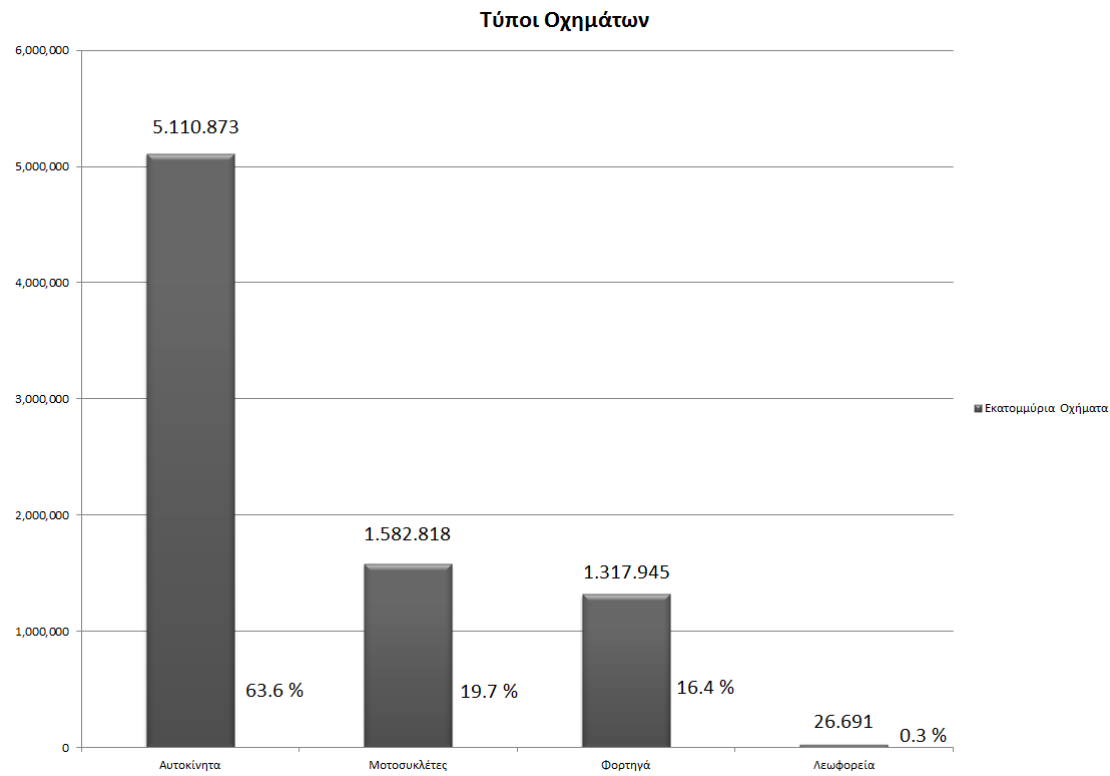


Σχήμα 1.2: Εκατομμύρια δικύκλων (σκούρο μπλε) και αυτοκινήτων (γαλάζιο) [1]

Όπως φαίνεται και από τα στοιχεία τους σχήματος 1.2, οι πέντε μεγαλύτερες αγορές δικύκλων παγκόσμια βρίσκονται στην Ασία. Αξιοσημείωτο, δεδομένου του μικρού της πληθυσμού, είναι το γεγονός πως η Ελλάδα συγκαταλέγεται ανάμεσα στις 20 πρώτες χώρες παγκοσμίως με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Αυτό ίσως δικαιολογείται από την οικονομική κατάσταση της χώρας, τα υψηλά τέλη κυκλοφορίας και τη μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού στα αστικά κέντρα, κυρίως στην πρωτεύουσα.

Περισσότερα στατιστικά στοιχεία για τον αριθμό των διάφορων κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα δίνονται στο Σχήμα 1.3 που ακολουθεί. Στην χώρα μας, κυκλοφορούν συνολικά 5.110.873 επιβατικά αυτοκίνητα, δημόσιας ή ιδιωτικής κτήσης. Αξίζει να σημειωθεί πως μετά το 2010, το έτος που υπήρξαν τα περισσότερα οχήματα στην Ελλάδα, τα τελευταία πέντε χρόνια έχουμε συνεχή πτώση στα κυκλοφορούντα επιβατικά οχήματα.

Από την άλλη πλευρά, ο αριθμός των μοτοσυκλετών βρίσκεται ακόμα σε θετικό ρυθμό ανάπτυξης και στη χώρα μας κυκλοφορούν 1.582.818 επιβατικές μοτοσυκλέτες. Τα τελευταία 30 χρόνια, ο ρυθμός αύξησης των μοτοσυκλετών είναι σταθερά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των αυτοκινήτων και κατά μέσο όρο τα δίκυκλα στη χώρα μας αυξάνονται κατά 8.5 % ετησίως. Τα στοιχεία που παρατέθηκαν αφορούν το τέλος του έτους 2014 και έχουν καταγραφεί από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) [2].



Σχήμα 1.3: Αριθμός κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα ανά τύπο [2]

1.1.2 Δίκυκλα και ο Ελιγμός της προσπέρασης

Η οδήγηση μοτοσικλέτας συνδέεται άμεσα με την ελευθερία κινήσεων, την ευελιξία και την υιοθέτηση τροχιών οι οποίες ξεφεύγουν από τα αυστηρά όρια των διαγραμμίσεων που ορίζουν τις λωρίδες κυκλοφορίας. Αυτός είναι και ο λόγος που η μοντελοποίηση της κίνησής τους είναι πολύπλοκη. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι οι συνεχείς προσπεράσεις που πραγματοποιούν οι οδηγοί δικύκλων, με διάφορους τρόπους. Κάποιες έρευνες έχουν ασχοληθεί με τα αίτια της προσπέρασης, τα οποία πέρα από το προφανές, δηλαδή την επιθυμία των μοτοσικλετιστών να κινηθούν ταχύτερα από την υπόλοιπη κυκλοφορία, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Σύμφωνα με τη μελέτων των Minh et al. [3], ένας άλλος λόγος είναι η επιθυμία τους να βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση όταν έχει κίνηση. Για παράδειγμα, κοντά σε σηματοδοτούμενους κόμβους, οι δικυκλιστές τείνουν να κινηθούν μπροστά και να σταματήσουν όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον κομβό. Επίσης, ελιγμοί πραγματοποιούνται για την αποφυγή κάποιου εμποδίου ή λόγω της επιθυμίας των οδηγών να αποφύγουν την οδήγηση πίσω από μεγαλύτερο όχημα το οποίο εμποδίζει το οπτικό τους πεδίο. Τέλος, λόγω μελλοντικών ελιγμών που οι μοτοσικλετιστές γνωρίζουν ότι θα πραγματοποιήσουν, όπως μία στροφή, προσπερνούν τα άλλα οχήματα για να βρίσκονται στην κατάλληλη θέση.

Ανάλογα με τη γεωμετρία της οδού, οι προσπεράσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν ποικίλουν. Για παράδειγμα, σε αρτηρίες με τρεις (3) λωρίδες κυκλοφορίας

ανά κατεύθυνση, ο μοτοσικλετιστής μπορεί να πραγματοποιήσει προσπέραση κινούμενος είτε στη μεσαία λωρίδα και προσπερνώντας ένα όχημα στη δεξιά, είτε κινούμενος στην αριστερή λωρίδα με στόχο την προσπέραση του οχήματος που βρίσκεται στη μεσαία. Φυσικά οι τρόποι που αναφέρθηκαν είναι αυτοί που επιτρέπονται από τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.), ενώ στην πραγματικότητα οι οδηγοί δικύκλων προσπερνούν με πολλούς τρόπους και παραλλαγές, είτε από τα δεξιά, είτε κινούμενοι πάνω στη διαχωριστική λωρίδα παρατεταμένα. Το γεγονός αυτό καθιστά την κατηγοριοποίηση και τη μελέτη των κινήσεών τους πολύπλοκη.

Στην περίπτωση οδού με δύο λωρίες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση οι πιθανές κινήσεις είναι λιγότερες και η κατηγοριοποίησή τους είναι πιο εύκολη. Τα είδη προσπεράσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι τα εξής [4]:

- Προσπέραση με αλλαγή λωρίδας (lane changing) ή περνώντας ανάμεσα από τα οχήματα και κινούμενος στη διαχωριστική λωρίδα (filtering). Η προσπέραση αυτή παρατηρείται κατά τη διάρκεια πυκνής κυκλοφορίας που συνήθως ο μοτοσικλετιστής δεν κινείται σταθερά σε μία λωρίδα
- Όταν η κυκλοφορία δεν είναι τόσο πυκνή και τα επίπεδα εξυπηρέτησης είναι υψηλά, η μηχανή μπορεί απλά να κινείται κανονικά στη λωρίδα κυκλοφορίας προσπερνώντας τα οχήματα της δίπλα λωρίδας χωρίς κάποιον ελιγμό (on the fly).
- Ένας άλλος τύπος προσπέρασης που προκύπτει από συνδυασμό των παραπάνω, είναι το λεγόμενο ζικ-ζακ όπου ο δικυκλιστής, όταν υπάρχει πυκνή κυκλοφορία, κινείται διαγράφοντας καμπύλη που μοιάζει με S εκμεταλευόμενος τα τυχόν κενά.
- Τέλος, οι παραπάνω προσπεράσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν από τα δεξιά του οχήματος που κινείται στην αριστερή λωρίδα, ελιγμός ο οποίος είναι παράνομος, αλλά συμβαίνει συχνά και εξετάζεται στην παρούσα έρευνα. Προσπέραση από τα αριστερά σε όχημα που κινείται στην αριστερή λωρίδα, ή από τα δεξιά οχήματος που κινείται στη δεξιά λωρίδα είναι παράνομη, πολύ επικίνδυνη και πραγματοποιείται σπάνια.

1.2 Στρατηγικές Οδηγών και Συνεργατικότητα

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, καθώς και η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη μοντελοποίησης περισσότερων φαινομένων που περιέχουν αποφάσεις ατόμων που αλληλεπιδρούν και τα αποτελέσματα αυτών, έχουν οδηγήσει στην εφαρμογή της θεωρίας παιγνίων σε ένα ευρύ φάσμα επιστημών. Όσον αφορά τον τομέα των συγκοινωνιακών, η λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς, η επιλογή μέσου και διαδρομής αποτελούν φαινόμενα στα οποία άνθρωποι συμμετέχουν, πράττουν και αλληλοεπηρεάζονται οδηγώντας μακροσκοπικά το σύστημα σε διάφορες ισορροπίες.

Όμως ακόμα και σε μικροσκοπικό επίπεδο, κατά την κυκλοφορία στους οδικούς άξονες, τα διάφορα οχήματα κινούνται και πραγματοποιούν χειρισμούς. Οι οδηγοί

βρίσκονται σε ένα δυναμικό περιβάλλον που κάθε τους ενέργεια, όπως και τα επακόλουθα αυτής, επηρεάζονται άμεσα από τις ενέργειες των υπόλοιπων συμμετεχόντων στο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, η προσπέραση που πραγματοποιεί ένα δίκυκλο μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα παιχνίδι μεταξύ του μοτοσικλετιστή και του προπορευόμενου οχήματος. Οι συμμετέχοντες ακολουθούν κανόνες, είναι ορθολογιστές, έχουν πλήρη πληροφόρηση για της πιθανές κινήσεις του άλλου παίκτη και των απολαβών τους και τελικά ενεργούν ανάλογα. Ο τρόπος μοντελοποίησης του φαινομένου αποτελεί τον βασικό στόχο της παρούσας διπλωματικής.

1.3 Θεωρία Παιγνίων

1.3.1 Γενικά

Η θεωρία παιγνίων βοηθά στην κατανόηση καταστάσεων κατά τις οποίες άτομα που παίρνουν αποφάσεις αλληλεπιδρούν. Το εύρος των καταστάσεων ποικίλλει από τον ανταγωνισμό εταιριών για μερίδια αγοράς μέχρι τον ανταγωνισμό πολιτικών υποψηφίων για ψήφους. Όπως και οι υπόλοιπες επιστήμες, έτσι και η Θεωρία Παιγνίων αποτελείται από διάφορα μοντέλα τα οποία περιγράφουν οικονομικά, πολιτικά, βιολογικά και άλλα φαινόμενα. Ουσιαστικά είναι η μαθηματική μελέτη διαμόρφωσης μιας πετυχημένης στρατηγικής σε ένα παίγνιο όπου κάθε παίκτης δε γνωρίζει τις επιλογές των ανταγωνιστών του, αλλά επηρεάζεται από αυτές. Στη θέση του παίκτη μπορεί να βρίσκεται ένα άτομο, ένα κράτος, μία ομάδα ανθρώπων κοινών συμφερόντων ή μία εταιρία.

Η προτυποποίηση φαινομένων χρησιμοποιώντας τη Θεωρία Παιγνίων ξεκινά από μια ιδέα που σχετίζεται με τον τρόπο αλληλεπίδρασης μεταξύ ατόμων που παίρνουν αποφάσεις και πρέπει να πλαισιωθεί από ένα ακριβές μοντέλο που περιλαμβάνει χαρακτηριστικά της κατάστασης που φαίνονται σχετικά. Τα συστατικά δηλαδή πρέπει να είναι αρκετά ώστε να περιγράφουν αλλά όχι τόσα που να περιπλέκουν άσκοπα τα αποτελέσματα. Τελικά η ανάλυση θα φανερώσει την επιτυχία η όχι του μοντέλου και τους λόγους της, όπως οι λανθασμένες υποθέσεις. Σε κάθε περίπτωση η ενασχόληση αυτή οδηγεί στην βαθύτερη και ποιοτικότερη κατανόηση του φαινομένου και αποκαλύπτει το κατά πόσο οι ιδέες έχουν βάση και βγάζουν νόημα.

Κάποιες από τις ιδέες της θεωρίας μπορούν να ανιχθευθούν κατά τον 18ο αιώνα, αλλά η σημαντική της εξέλιξη ξεκίνησε τη δεκαετία του 1920 με τη δουλειά των Emile Borel (1871-1956) και John von Neumann (1903-57), με τον δεύτερο να αποτελεί ίσως την σημαντικότερη προσωπικότητα στην πρώιμη ανάπτυξη της. Ο Neumann, όντας εξαιρετικός μαθηματικός, και σε συνεργασία με τον Oscar Morgenstern, έθεσαν τα θεμέλια στο πεδίο με τη δημοσίευση του βιβλίου τους «Theory of games and economic behavior». Ωστόσο οι ιδέες που ανέπτυξε ο John F. Nash μεταμόρφωσαν τον κλάδο. Η διατριβή του εισήγαγε την έννοια της ισορροπίας, η οποία επέκτεινε σε σημαντικό βαθμό το πεδίο εφαρμογής της θεωρίας παιγνίων και παράλληλα οριοθέτησε μία κατηγορία στρατηγικών παιχνιδιών (games) που έχουν ισορροπία Nash. The well known Nash Equilibrium. Για την προσφορά του τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ (1994 Nobel Prize in Economic Sciences) το οποίο μοιράστηκε με τους C. Harsanyi και Reinhard Selten.

1.3.2 Παραδείγματα Παιγνίων

1.3.2.1 Prisoner's Dilemma

Ίσως το γνωστότερο παιχνίδι, το δίλημμα των φυλακισμένων μπορεί να προσομοιώσει μια μεγάλη ποικιλία καταστάσεων στις οποίες οι συμμετέχοντες αντιμετωπίζουν κίνητρα παρόμοια με αυτά των φυλακισμένων. Ας υποθέσουμε ότι δύο ύποπτοι κρατούνται σε διαφορετικά κελιά και κατηγορούνται για πταίσμα με ικανές αποδείξεις που οδηγούν στην καταδίκη και των δύο για ένα (1) χρόνο. Οι αποδείξεις δεν είναι όμως αρκετές για την καταδίκη κάποιου για το μεγάλο αδίκημα, εκτός αν κάποιος από τους δύο ομολογήσει και συνεργαστεί με της αρχές (Fink). Αν και οι δύο μείνουν σιωπηλοί (Quiet), καθένας θα περάσει ένα (1) χρόνο στη φυλακή για το πταίσμα. Αν ένας από τους δύο καταδώσει τον άλλον, τότε ελευθερώνεται και δρα ως μάρτυρας για την καταδίκη του άλλου που παραμένει για τέσσερα (4) χρόνια στο σωφρονιστικό ίδρυμα. Στην περίπτωση που και οι δύο αποφασίσουν να καταδώσουν τον αντίπαλο μένουν για τρία (3) χρόνια στη φυλακή. Η κατασταση ορίζεται σαν στατηγικό παίγνιο ως εξής:

- Παίχτες είναι οι δύο ύποπτοι i, j
- Στρατηγικές, κοινές και για τους δύο {Quiet, Fink}
- Προτιμήσεις για τον παίκτη i $u_i(\text{Fink}_i, \text{Quiet}_j) > u_i(\text{Quiet}_i, \text{Quiet}_j) > u_i(\text{Fink}_i, \text{Fink}_j) > u_i(\text{Quiet}_i, \text{Fink}_j)$

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω παραστάσεις, το παίγνιο απεικονίζεται στον πίνακα 1.

		Suspect 2	
		Quiet	Fink
Suspect 1	Quiet	2, 2	0, 3
	Fink	3, 0	1, 1

Πίνακας 1.1: Prisoner's Dilemma

Το δίλημμα των φυλακισμένων μοντελοποιεί μια κατάσταση στην οποία υπάρχουν κέρδη από τη συνεργασία, δηλαδή κάθε παίκτης προτίμα την κατάσταση (Quiet, Quiet), αλλά και οι δύο έχουν κίνητρο να επιλέγουν τη στρατηγική Fink ανεξάρτητα του τι επιλέγει ο άλλος παίκτης. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και σε άλλες καταστάσεις με παρόμοια δομή, όπως η κούρσα για τα εξοπλιστικά μεταξύ των κρατών και ο ανταγωνισμός των τιμών στις τιμές ενός προϊόντος.

1.3.2.2 Biggie or Tupac?

Ενώ το κύριο θέμα του προηγούμενου παραδείγματος ήταν το κατά πόσο οι παίχτες θα συνεργαστούν, στο ακόλουθο οι παίχτες συμφωνούν ότι είναι καλύτερο να συνεργαστούν, αλλά δεν μπορούν να συμφωνήσουν στο αποτέλεσμα. Δύο φίλοι θέλουν να βγουν να διασκεδάσουν μαζί και είναι διαθέσιμες στην περιοχή δύο συναυλίες, των Biggie ή Tupac. Αν πάνε σε διαφορετικά μέρη θα είναι και οι δύο ίσα απογοητευμένοι

και είναι δεδομένο πως πρώτος προτιμά Biggie και ο δεύτερος Tupac. Η κατάσταση μοντελοποιείται όπως φαίνεται στον παρακάτω συνολικό πίνακα απολαβών.

		Player 2	
		Biggie	Tupac
Player 1	Biggie	2, 1	0, 0
	Tupac	0, 0	1, 2

Πίνακας 1.2: Biggie or Tupac?

1.3.2.3 Matching Pennies

Στα προηγούμενα παίγνια περιέχονταν πτυχές συνεργασίας και σύγκρουσης ταυτόχρονα. Το παρακάτω παράδειγμα αποτελεί ένα καθαρά συγκρουσιακό παιχνίδι. Δύο παίκτες αποφασίζουν ταυτόχρονα να εμφανίσουν μία πλευρά του νομίσματος που κρατούν, κορώνα ή γράμματα. Αν εμφανίσουν την ίδια πλευρά ο παίκτης 1 κερδίζει και ο παίκτης 2 αναγκάζεται να τον πληρώσει. Το αντίθετο συμβαίνει όταν εμφανίσουν διαφορετικές πλευρές, όπου ο νικητής είναι ο παίκτης 2.

Πίνακας 1.3: Matching Pennies

		Player 2	
		Head	Tail
Player 1	Head	1, -1	-1, 1
	Tail	-1, 1	1, -1

1.4 Σκοπός Διπλωματικής

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η διερεύνηση της εφαρμοσιμότητας της Θεωρίας Παιγνίων στην προτυποποίηση του ελιγμού της προσπέρασης σε αστικά οδικά δίκτυα. Διερευνάται η ιδιαίτερη περίπτωση των δικύκλων που προσπερνούν προπορευόμενο όχημα. Η κατάσταση στην οποία δύο ορθολογικοί οδηγοί (παίκτες) αλληλεπιδρούν, αντιλαμβάνονται τα δεδομένα γύρω τους, όπως χωρικές μεταβλητές και ταχύτητες, και τελικά αποφασίζουν να κάνουν τους κατάλληλους χειρισμούς με το όχημά τους, μπορεί να μοντελοποιηθεί ως στρατηγικό παίγνιο με πλήρη πληροφόρηση.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εξετάζονται προσπεράσεις σε οδούς δύο (2) λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και χρησιμοποιούνται δεδομένα που περιέχουν κυρίως τα δύο πρώτα είδη προσπέρασης, δηλαδή lane changing ή filtering και on the fly. Για τον ορισμό των παιγνίων που ακολουθούν, δε διακριτοποιήθηκαν

οι διάφορες προσπεράσεις ανάλογα με το είδος τους.

Εξετάζονται παίγνια με διαφορετικές υποθέσεις για τις στρατηγικές και τις απολαβές των παικτών και αναζητείται το καταλληλότερο που περιγράφει τον ελιγμό της προσπέρασης χρησιμοποιώντας ένα δείγμα 850 προσπεράσεων για τον υπολογισμό των απολαβών, ανάλογα με τις υποθέσεις του εκάστοτε μοντέλου. Παρόλο που δεν υπάρχει απόλυτος τρόπος σύγκρισης των παιγνίων, καθένα προσφέρει βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου. Με τον τρόπο αυτό γίνεται κατανοητή η συμπεριφορά και οι προτιμήσεις των οδηγών κατά την προσπέραση και τέλος αναδεικνύονται οι ποσοτικές και ποιοτικές μεταβλητές που επηρεάζουν τις αποφάσεις των οδηγών.

1.5 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Τα παρακάτω Κεφάλαια αποτελούν την παρούσα διπλωματική εργασία:

Στο παρόν, πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται γενικά στοιχεία που αφορούν το δίκυκλο ως μέσο μεταφοράς, καθώς και η επικρατούσα κατάσταση για τη χρήση του στις μέρες μας. Ακολουθεί σύντομη ιστορική αναδρομή στη Θεωρία Παιγνίων, αναφέρονται οι βασικές τις έννοιες και παραδείγματα χαρακτηριστικών παιγνίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προηγούμενες έρευνες που ασχολούνται με την κίνηση των δικύκλων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται μελέτες που στόχο έχουν τη μοντελοποίηση των τροχιών τους, είτε με πραγματικές μετρήσεις, είτε με προσομοίωση. Ακόμα, αναλύονται συνοπτικά τα συμπεράσματα ερευνών που σχετίζονται με την οδική ασφάλεια των μοτοσικλετών. Τέλος, γίνεται ανασκόπηση σε μελέτες που ασχολούνται με τη Θεωρία Παιγνίων και την εφαρμογή της σε συγκοινωνιακά φαινόμενα, κυρίως μικροσκοπικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας έρευνας. Αρχικά, περιγράφονται τα βασικά εργαλεία της Θεωρίας Παιγνίων, όπως ο ορισμός των στρατηγικών παιγνίων και οι τρόποι εύρεσης των λύσεών τους. Αμέσως μετά ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο μοντελοποιείται η προσπέραση στην οποία συμμετέχει δίκυκλο, καθώς και οι υποθέσεις που γίνονται. Τέλος, παρουσιάζονται οι προτεινόμενες δομές παιγνίων (4) οι οποίες καθορίζονται από τις στρατηγικές των παικτών, τις απολαβές τους και από τον τρόπο υπολογισμού αυτών χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων που προέκυψε από τις μετρήσεις.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης στην οποία μετρήθηκαν οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην παρούσα έρευνα και οι οποίες παράλληλα παρουσιάζονται και εξηγούνται. Έπειτα, πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των δεδομένων και αναζητούνται συσχετίσεις μεταξύ τους. Τέλος, εξηγείται ο τρόπος υπολογισμού των απολαβών σε κάθε παίγνιο και υπολογίζονται οι τελικοί πίνακες απολαβών των παικτών, καθώς και οι λύσεις των παιγνίων που αποτελούν την ισορροπία Nash των μοντέλων. Τα αποτελέσματα ερμηνεύονται κατανοώντας τη συμπεριφορά των συμμετεχόντων στην προσπέραση και τους παράγοντες που την επηρεάζουν.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βασικότερα συμπεράσματα της

έρευνας, όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση και τα αποτελέσματά της. Παρατίθενται επίσης διάφορες προτάσεις που χρήζουν περαιτέρω έρευνας.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Πολυάριθμες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό τη βαθύτερη κατανόηση διαφόρων ελιγμών και ιδιαίτερα της προσπέρασης, καθώς και την επιρροή αυτών στην κυκλοφορία. Επίσης πολλές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην μοντελοποίηση των τροχίων των δίκυκλων. Φαίνεται λοιπόν πως η τάση, λόγω και τις ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας έχει στρέψει το ερευνητικό ενδιαφέρον στην κατασκευή μοντέλων και αλγορίθμων που περιγράφουν κάθε μικροσκοπικό κυκλοφοριακό φαινόμενο. Όταν στα παραπάνω μοντέλα προστεθεί η ικανότητα παραγωγής αποφάσεων με τη χρήση της Θεωρίας Παιγνίων, τότε τα Αυτόνομα Συστήματα Οδήγησης (Self-Driving) γίνονται πραγματικότητα.

2.1 Μικτή Κυκλοφορία, Δίκυκλα και ο Ελιγμός της Προσπέρασης

Πολλές προσπάθειες έχουν πραγματοποιηθεί για την προτυποποίηση της πορείας των δίκυκλων σε κανονικές συνθήκες ροής, ενώ λιγότερες εστιάζουν στην μοντελοποίηση σύνθετων ελιγμών όπως η προσπέραση. Επίσης, έχει αναζητηθεί η επιρροή των δίκυκλων στα κυκλοφοριακά μεγέθη και στην οδική ασφάλεια. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τη χρήση ερωτηματολογίων, τη συλλογή πραγματικών μετρήσεων, καθώς και με τη χρήση διάφορων τρόπων προσομοίωσης της κυκλοφορίας.

Οι περισσότερες έρευνες που σχετίζονται με την κίνηση των δίκυκλων ασχολούνται κυρίως με την αντιμετώπιση θεμάτων οδικής ασφάλειας ή με τη μοντελοποίηση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας υπό κανονικές συνθήκες ροής. Οι μελέτες που ασχολούνται με τον ορισμό των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν το ρίσκο με το οποίο έρχονται αντιμέτωποι οι οδηγοί δίκυκλων, και άρα αφορούν την οδική ασφάλεια, συνοψίζονται στο άρθρο των Vlahogianni et al. [5].

Όσον αφορά τον ελιγμό της προσπέρασης, αυτή αποτελεί κεντρικό αντικείμενο μελέτης στις έρευνες κυκλοφοριακής ροής, ωστόσο έχει εξεταστεί κυρίως η προσπέραση αυτοκινήτων [6-10]. Για παράδειγμα, οι Farah et al. [7] χρησιμοποίησαν δεδομένα τα οποία εξήγαγαν από προσομοιωτή και τα ανέλυσαν με στατιστικά μοντέλα. Θεωρήθηκε πως τα οχήματα βρίσκονται σε αυτοκινητόδρομο δύο (2) λωρίδων, ενώ οι μεταβλητές που χρησιμοποίησαν ήταν τα κενά που υπήρχαν στην απέναντι

λωρίδα για τη δυνατότητα προσπέρασης, η ταχύτητα του οχήματος που προσπερνά, η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος και ο γεωμετρικός σχεδιασμός της οδού.

Η διαρκώς αυξανόμενη χρήση δικύκλων, κυρίως στις περιοχές της Ασίας, έχει οδηγήσει στην διεξαγωγή ερευνών που εστιάζουν στα χαρακτηριστικά της μικτής κυκλοφορίας στην οποία συμμετέχουν οχήματα και μοτοσικλές. Στις έρευνες των Lee et al. [11] και Broughton et al. [12], με πραγματικές μετρήσεις και με τη χρήση ερωτηματολογίων αντίστοιχα, εξετάζονται οι διαφορές των κινηματικών χαρακτηριστικών μεταξύ I.X. οχημάτων και δικύκλων. Όπως παρατηρείται, οι οδηγοί δικύκλων αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες κατά μέσο όρο και αφήνουν μικρότερες αποστάσεις ασφαλείας. Ωστόσο, ο συνδυασμός της ευκολίας χειρισμού και της ευκολότερης αποφυγής συγκρούσεων, οδηγεί τους μοτοσικλετιστές στην αίσθηση μικρότερου ρίσκου σε σύγκριση με αυτό που αισθάνονται οι οδηγοί των υπόλοιπων οχημάτων. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί πως στην έρευνα των Crundall et al. [13] αναδεικνύονται κάποιες αποκλίνουσες και επιθετικές συμπεριφορές από τους οδηγούς οχημάτων, κυρίως μέτριας εμπειρίας, προς τους δικυκλιστές.

Επίσης, πολυάριθμες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με προσομοίωση της μικτής κυκλοφορίας, κυρίως με τη χρήση Cellular Automata [14-16]. Τα βασικότερα ευρήματα αφορούν στα κυκλοφοριακά μεγέθη και όπως συνιστούν τα αποτελέσματα, η ύπαρξη μικρού αριθμού δικύκλων αυξάνει τους συνολικούς φόρτους, ενώ από ένα όριο και μετά τους μειώνει. Σημαντικές είναι επίσης οι πλευρικές κινήσεις-μετατοπίσεις των μοτοσικλετών, οι οποίες μειώνουν και αυτές τους φόρτους. Αντίθετα, στην έρευνα των Kon et al. [17], οι συντάχτες συμπεραίνουν πως η ύπαρξη μοτοσικλετών στην κυκλοφορία δεν επηρεάζει τη μέση ταχύτητα σε αντίθεση με τα ελαφρά οχήματα.

Άλλες έρευνες επικεντρώνονται σε πιο μικροσκοπικά φαινόμενα, όπως αυτή των Clabaux et al. [18], που εξετάζει την επίδραση που έχει στην οδική ασφάλεια η είσοδος δικύκλων σε λωρίδες που προορίζονται για χρήση από λεωφορεία. Από την άλλη πλευρά, στο άρθρο των Vlahogianni et al. [19] αναγνωρίζονται πρότυπα τα οποία εμφανίζονται σε καταστάσεις κρίσιμων περιστατικών με τα οποία έρχονται αντιμέτωποι οι οδηγοί δικύκλων. Η έρευνα αναζητά σχέσεις μεταξύ των συμβάντων και των χειρισμών των μοτοσικλετιστών χρησιμοποιώντας πραγματικές μετρήσεις από μοτοσικλέτα και Μπεϋζιανά Δίκτυα. Πιο πρόσφατα, ειδικά φαινόμενα που αφορούν την κίνηση των μοτοσικλετιστών, όπως το φιλτράρισμα και η προσπέραση, ερευνήθηκαν από την Vlahogianni [20] και εξετάστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις των μοτοσικλετιστών με την υπόλοιπη κυκλοφορία.

Άλλοι ερευνητές επικεντρώθηκαν στην περιγραφή της συμπεριφοράς των οδηγών δικύκλων. Η προσομοίωση αποδείχθηκε και πάλι πολύ δημοφιλές εργαλείο σε πληθώρα μελετών. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η έννοια της εικονικής λωρίδας που δημιουργείται από την πορεία του μοτοσικλετιστή. Παρόλο που η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις, έχει και αυτή τα μειονεκτήματά της. Όπως φαίνεται στις έρευνες των Lee et al. [21] και Vlahogianni [20], η συμπεριφορά των αναβατών δεν μπορεί να περιγραφεί πλήρως, καθώς είναι αρκετά δύσκολη η απεικόνιση των τροχιών τους, ειδικά κατά τη διάρκεια φαινομένων όπως η αλλαγή λωρίδας, η προσπέραση κ.α.

Με τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα του βίντεο και της υψηλής ανάλυσης, δόθηκε η ευκαιρία στους ερευνητές να συλλέξουν ακριβή δεδομένα για τις τροχιές των δικύκλων και να μελετήσουν πιο σύνθετα φαινόμενα που μέχρι τώρα δεν είχαν εξεταστεί, όπως αυτό της προσπέρασης. Για παράδειγμα, οι Minh et al. [22,23], μετά τη συλλογή δεδομένων από βίντεο ανέλυσαν προσπεράσεις δικύκλων και ελιγμούς που πραγματοποιούνται από δίκυκλα που κινούνται παράλληλα. Δεδομένα από λήψη βίντεο σε αστικά οδικά δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως από των Lee [24-26] για την ανάπτυξη μοντέλων βασισμένων σε πλευρικές και πλάγιες αποστάσεις ή σε μοντέλα επιλογής “μονοπατιών” από τα δίκυκλα.

Με τις έρευνες των Nguyen et al. [27,28] ορίστηκε η έννοια ενός κενού ασφαλείας που περιγράφει τη συμπεριφορά των μοτοσικλετιστών κατά την προσπέραση και μέσα στο οποίο η επιρροή άλλων μοτοσικλετών λαμβάνεται υπόψη. Η παραπάνω κατάσταση επίσης προσομοιώθηκε. Οι Nikias et al. [29] μοντελοποίησαν την εικονική λωρίδα στην οποία κινείται κάποιος μοτοσικλετιστής και ανέλυσαν τους παράγοντες που επηρεάζουν το πλάτος της. Τέλος, οι Barmounakis et al. [30] διερεύνησαν φαινόμενα προσπεράσεων δικύκλων σε αστικές αρτηρίες, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον τους στις παρμέτρους που λαμβάνει υπόψη του ο μοτοσικλετιστής όταν αποφασίζει αν θα προσπεράσει ή όχι. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο καθοριστικότερος παράγοντας για την απόφαση της προσπέρασης είναι η διαφορά στην ταχύτητα από το προπορευόμενο όχημα.

2.2 Μοντελοποίηση με τη Θεωρία Παιγνίων

Κατά την κυκλοφοριακή ροή μεγάλος αριθμός ατόμων λαμβάνει δεδομένα από την κυκλοφορία, αποφασίζει τις κινήσεις του και τελικά αλληλεπιδρά με το περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιώντας τη Θεωρία Παιγνίων, οι ερευνητές προσπαθούν να μοντελοποιήσουν τις παραπάνω καταστάσεις και να κατανοήσουν τις συμπεριφορές των οδηγών κατά τη διάρκεια διάφορων φαινομένων. Η αρχή της χρησιμοποίησης της Θεωρίας Παιγνίων στις μεταφορές έγινε από τον Wardrop [45], ο οποίος πρώτος χρησιμοποίησε τη θεωρία για τη μοντελοποίηση της επιλογής διαδρομής, όπου τα διάφορα άτομα που μετακινούνται αποτελούν τους παίκτες του παιχνιδιού.

Στην έρευνά του, ο Fisk [31] συγκρίνει δύο μοντέλα της Θεωρίας Παιγνίων, ένα μη συνεργατικό παίγνιο Nash και το παιχνίδι Strackelberg, στο οποίο ένας από τους δύο παίκτες έχει το ρόλο του αρχηγού και γνωρίζει τις στρατηγικές που θα ακολουθήσει ο άλλος παίκτης. Στόχος του είναι να παρουσιάσει τους δύο τύπους παιχνιδιών, καθώς και τις λύσεις του, και προτείνει τη εφαρμογή τους σε μοντέλα λήψης αποφάσεων για το σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων μεταφοράς. Η Θεωρία Παιγνίων παρέχει το πλαίσιο για την μοντελοποίηση αλληλεπιδράσεων μεταξύ ομάδων που παίρνουν αποφάσεις όταν επί μέρους δράσεις καθορίζουν το από κοινού αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό, ο Fisk [31] προτείνει τη χρήση των μοντέλων στην επιλογή διαδρομής, αλλά και στην περίπτωση μίας ολιγοπωλιακής αγοράς, όπου οι διάφοροι φορείς-εταιρίες μεταφοράς ανταγωνίζονται για τους πελάτες. Τέλος, τα μοντέλα που προτείνει μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την βέλτιστη ρύθμιση της αγοράς των μεταφορών από την πλευρά των ρυθμιστικών αρχών.

Σε μία άλλη έρευνα, ο Kita [32] μοντελοποιεί την κατάσταση στην οποία ένας οδηγός προσπαθεί να περάσει από τη λωρίδα επιτάχυνσης στην κανονική κυκλοφορία σαν ένα στρατηγικό παίγνιο στο οποίο συμμετέχουν δύο παίκτες: το όχημα που επιχειρεί τη συγχώνευση και το όχημα που έρχεται πρώτο από πίσω του. Από τη μία πλευρά, ο παίκτης 1 έχει την επιλογή να αλλάξει λωρίδα και να εισέλθει στην κυκλοφορία ή να παραμείνει στη λωρίδα επιτάχυνσης, ενώ ο οδηγός του οχήματος που έρχεται από πίσω μπορεί είτε να τον αφήσει είτε όχι. Οι δύο παίκτες ανταγωνίζονται και στόχος του καθενός είναι η μεγιστοποίηση των απολαβών του. Τις συναρτήσεις απολαβών του παιγνίου επηρεάζουν κάποιοι χρόνοι που σχετίζονται με την πιθανότητα σύγκρουσης πολλαπλασιασμένοι με συντελεστές οι οποίοι τελικά υπολογίζονται ύστερα από μετρήσεις πραγματικών δεδομένων συγχώνευσης. Το προτεινόμενο παίγνιο έχει Ισοροπία Nash που περιέχει μίχτες στρατηγικές, δηλαδή σύμφωνα με το μοντέλο οι παίκτες επιλέγουν μεταξύ των στρατηγικών τους με κάποια πιθανότητα.

Σε μία παρόμοια έρευνα, οι Liu et al. [33] εξετάζουν την ίδια κατάσταση συγχώνευσης δύο αρτηριών, μία κύρια και μίας δευτερεύουσας λωρίδας επιτάχυνσης. Οι υποθέσεις που γίνονται είναι λίγο διαφορετικές και όσον αφορά στη συνάρτηση απολαβών του οχήματος που βρίσκεται ήδη στην κυκλοφορία, αυτή είναι μέγιστη όταν ο οδηγός δεν κάνει κανένα χειρισμό και απλά ακολουθεί την ουρά με τα προπορευόμενα οχήματα. Από την άλλη πλευρά, ο οδηγός του οχήματος που προσπαθεί να εισέλθει στην κυκλοφορία της κύριας οδού μεγιστοποιεί τις απολαβές του προσπαθώντας να ενταχθεί στην κυκλοφορία στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου και τον υπολογισμό των διάφορων συντελεστών που πολλαπλασιάζονται με τις μεταβλητές από τις οποίες εξαρτώνται οι απολαβές, χρησιμοποιούνται δεδομένα μετρήσεων από ράμπα επιτάχυνσης που συλλέχθηκαν από βίντεο που μαγνητοσκοπήθηκε από αεροπλάνο. Το μοντέλο μπορεί επίσης να επεκταθεί οριζόντια για να περιλαμβάνει περισσότερους παίκτες ή κατακόρυφα για να λαμβάνει υπόψη πολλαπλές επιλογές και "άκολουθητικές" ενέργειες από τους παίκτες.

Στο άρθρο των Rass et al. [34] παρουσιάζεται μία προσέγγιση συνεργατικής οδήγησης χρησιμοποιώντας τη Θεωρία Παιγνίων και δεδομένης της υπόθεσης ότι τους οδηγούς συμβουλεύουν συστήματα υποστήριξης. Το μοντέλο αποτελείται από ένα παίγνιο στο οποίο παίρνουν μέρος ημι-ορθολογικοί παίκτες. Η θεώρηση αυτή γίνεται, καθώς οι παίκτες δεν μπορούν πάντα να ακολουθήσουν τις υποδείξεις των συστημάτων υποβοήθησης, για διάφορους λόγους. Η ασφάλεια και η αποτροπή ατυχήματος είναι οι μόνοι παράγοντες που επηρεάζουν τις απολαβές των παικτών. Το μοντέλο που προτείνεται είναι γενικό και μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα φαινόμενα που εμφανίζονται στην κυκλοφορία. Οι συγγραφείς καταλήγουν πως μη ορθολογικές αποφάσεις που φανερώνονται σε αποκλίσεις από τις κατανομές διάφορων μεταβλητών, όπως η ταχύτητα, μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρά προβλήματα οδικής ασφάλειας.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Altendorf et al. [35] συστήνεται μία προσέγγιση, με τη χρήση της Θεωρίας Παιγνίων, για την ανάλυση της συμπεριφοράς οχήματος που ελέγχεται από οδηγό και από σύστημα αυτόματης οδήγησης ταυτόχρονα. Στην κατάσταση κατά την οποία ένα στατικό και ένα δυναμικό (άλλο όχημα με τα ίδια χαρακτηριστικά) εμπόδιο υποχρεώνει το όχημα να αλλάξει λωρίδα κυκλοφορίας στο επόμενο χρονικό διάστημα, στόχος του συστήματος είναι να μεγιστοποιήσει την άνεση, να ελαχιστοποιήσει το ρίσκο και το σημαντικότερο, να αποφύγει τη σύγ-

κρουση με οποιοδήποτε από τα δύο εμπόδια. Το δυναμικό εμπόδιο είναι ένα άλλο όχημα που το χειρίζεται οδηγός και σύστημα αυτόματης οδήγησης, οπότε η αλληλεπίδρασή τους μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν ακολουθητικό παίγνιο ατελούς πληροφόρησης (Sequential Game with Imperfect Information), αφού κανένας δε μπορεί να προβλέψει με σιγουριά τη συμπεριφορά του άλλου. Την άνεση και το ρίσκο αναπαριστά η μεταβλητή TTC (Time to Collision), ενώ το άλλο συστατικό της συνάρτησης απολαβής είναι η ταχύτητα. Κάθε παίκτης δίνει διαφορετικό βάρος στον κάθε όρο. Τέλος, οι στρατηγικές που μπορούν να ακολουθήσουν τα δύο οχήματα είναι να επιταχύνουν, να επιβραδύνουν η να αλλάξουν λωρίδα.

Στην ίδια λογική με την προηγούμενη έρευνα, οι Talebrou et al. [36], προτείνουν μοντέλο που βασίζεται στη Θεωρία Παιγνίων και περιγράφει τον ελιγμό της αλλαγής λωρίδας σε περιβάλλον που τα οχήματα είναι συνδεδεμένα και ανταλλάσσουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Η συμπεριφορά κατά την αλλαγή λωρίδας θεωρείται ένας από τους πιο απρόβλεπτους ελιγμούς, αλλά και ένας σημαντικός λόγος συμφόρησης και σύγκρουσης οχημάτων. Συμπεραίνεται ότι στο απλοποιημένο μοντέλο η ικανότητα πρόβλεψης αλλαγής λωρίδας είναι ικανοποιητική, αλλά υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που χρήζουν περαιτέρω έρευνας.

Μια άλλη προσέγγιση του ελέγχου των συστημάτων αυτοματοποιημένης οδήγησης προβάλλεται στην έρευνα των Wang et al. [37] με τη χρήση ενός μαθηματικού πλαισίου. Η έμπνευσή τους προήλθε από το γεγονός ότι ελέγχοντας τα οχήματα θα μπορούσαν να καθοριστούν οι επιθυμητές σειρές στις λωρίδες καθώς και οι συνεχείς επιταχύνσεις ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνάρτηση του κόστους που αντικατοπτρίζει τις ανεπιθύμητες μελλοντικές καταστάσεις. Μέσα στη συνάρτηση του κόστους συμπεριλαμβάνονται και οι αλληλεπιδράσεις των ελεγχόμενων οχημάτων με τα γύρω αυτοκίνητα. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα μη συνεργαζόμενα συστήματα ελέγχου, στα οποία τα ελεγχόμενα οχήματα βελτιστοποιούν μόνο το δικό τους κόστος, όσο και στα συνεργαζόμενα, στα οποία τα ελεγχόμενα οχήματα συντονίζουν τις αποφάσεις τους ώστε να βελτιστοποιήσουν το συνολικό κόστος. Για να προσδιοριστεί η συμπεριφορά του συστήματος ελέγχου, το πρόβλημα διατυπώθηκε ως παίγνιο απόκλισης όπου τα οχήματα παίρνουν τις δικές τους αποφάσεις με βάση την αναμενόμενη συμπεριφορά των υπολοίπων οχημάτων. Οι αποφάσεις αυτές αναφέρονται σε τακτά χρονικά διαστήματα με βάση τις τελευταίες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των ελεγχόμενων οχημάτων και των οχημάτων που τα περιβάλλουν. Οι Wang et al. [37] εισήγαγαν ένα πεπερασμένο αριθμό υποπροβλημάτων για να μειώσουν τις διαστάσεις του αρχικού προβλήματος. Για την αποτελεσματική επίλυση τους κατέληξαν σε ένα επαναληπτικό αλγόριθμο που βασίζεται στη αρχή του Pontryagin. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να παράγει αποδοτικούς ελιγμούς στην αλλαγή της λωρίδας όταν το όχημα υπακούει στις προδιαγραφές ασφαλείας και άνεσης. Συγκεκριμένα, η προσέγγιση αυτή δημιουργεί βέλτιστες αποφάσεις αλλαγής λωρίδας στο προβλεπόμενο μέλλον, συμπεριλαμβανομένων της στρατηγικής προσπέρασης, της συνεργαζόμενης συγχώνευσης και της επιλογής μίας ασφαλούς θέσης.

Τέλος, σε έρευνα των Barmounakis et al. [38] γίνεται προσπάθεια για την μοντελοποίηση της προσπέρασης οχήματος από δίκυκλο με τη χρήση των αρχών της Θεωρίας Παιγνίων. Γίνεται η υπόθεση πως και οι δύο παίκτες που συμμετέχουν

στο φαινόμενο της προσπέρασης είναι ορθολογικοί λήπτες αποφάσεων οι οποίοι αναπτύσσουν στρατηγικές ενώ μετακινούνται, προσπαθώντας να μεγιστοποιήσουν της απολαβές τους βάση των αποφάσεών τους. Οι στρατηγικές που χρησιμοποιούν είναι συνεργατικές ή μη συνεργατικές και καθορίζονται από τις αποστάσεις ασφαλείας που αφήνουν από το προπορευόμενο όχημα. Χρησιμοποιώντας μετρήσεις από πραγματικές προσπεράσεις και την ταχύτητα των παικτών σαν απεικόνιση των απολαβών τους, το μοντέλο αξιολογείται. Παρόλο που η ισορροπία Nash εμφανίζεται στο σύνολο των στρατηγικών συνεργασίας, η πιθανότητα επιτυχούς προσπέρασης είναι μεγαλύτερη όταν ο οδηγός του δικύκλου δε συνεργάζεται.

2.3 Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω έρευνες, γίνεται φανερό, ότι η διερεύνηση των τροχιών των μοτοσικλετιστών αποτελεί ένα σημαντικό και εξαιρετικά πολύπλοκο θέμα ερευνητικού ενδιαφέροντος. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα για τη μοντελοποίηση του ελιγμού της προσπέρασης οχήματος από δίκυκλο δεν έχει ερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό, καθώς τα απαιτούμενα μέσα εξελίχθηκαν τα τελευταία χρόνια. Η Θεωρία Παιγνίων προσφέρει μία εναλλακτική προσέγγιση στην ερμηνεία του φαινομένου της προσπέρασης και των συμπεριφορών των συμμετεχόντων σε αυτό.

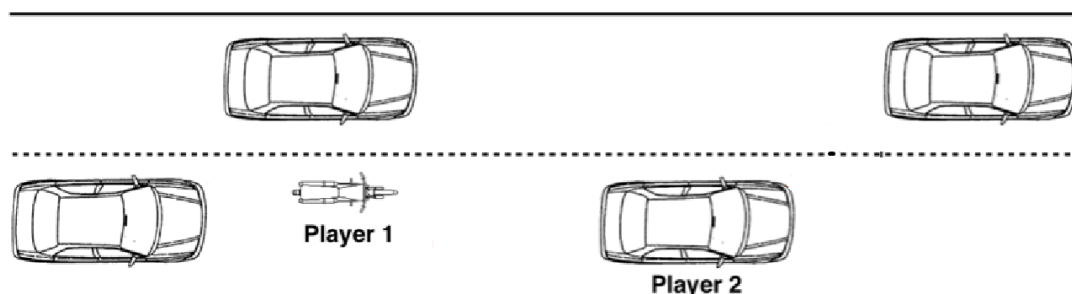
Παράλληλα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας και των συστημάτων Αυτόματης Οδήγησης οδηγεί τους ερευνητές στη δημιουργία μοντέλων και αλγορίθμων τα οποία λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και τελικά παίρνουν αποφάσεις που μετατρέπονται σε κινήσεις μέσα στην κυκλοφορία. Αυτό πραγματοποιείται για κάθε μικροσκοπικό φαινόμενο (αλλαγή λωρίδας, συγχώνευση κλπ.). Για το λόγο αυτό, στην παρούσα διπλωματική γίνεται προσπάθεια της μοντελοποίησης του ελιγμού της προσπέρασης στην οποία συμμετέχει δίκυκλο με τη χρησιμοποίηση της Θεωρίας Παιγνίων. Για τις ανάγκες τις έρευνας χρησιμοποιείται βάση δεδομένων από πραγματικές προσπεράσεις και αναζητούνται οι κατάλληλες μεταβλητές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν στον καθορισμό των στρατηγικών και των απολαβών των παικτών.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογική προσέγγιση

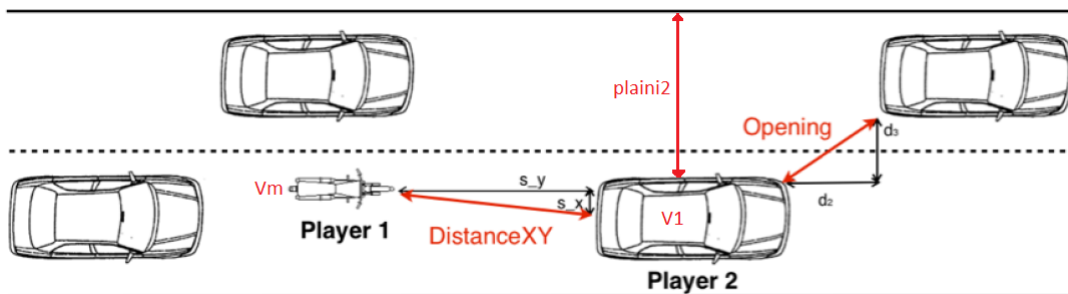
3.1 Προτεινόμενη Προσέγγιση

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να προτείνει μοντέλα που βασίζονται στη θεωρία παιγνίων και περιγράφουν το σύνθετο ελιγμό της προσπέρασης οχήματος από δίκυκλο. Για το λόγο αυτό κατασκευάζονται παίγνια δύο παικτών στα οποία συμμετέχουν ο αναβάτης της μοτοσικλέτας (Player 1) και ο οδηγός του οχήματος που προσπερνάται (Player 2). Παρόλο που σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρχουν και άλλα οχήματα σε κοντινή απόσταση, βασική παραδοχή των μοντέλων αποτελεί το γεγονός ότι οι παίκτες επηρεάζονται μόνο από τις αποφάσεις του “συμπαίκτη” τους. Στο παρακάτω σχαρίφημα φαίνεται η χωρική διάταξη των παικτών (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Χωρική Διάταξη Παιγνίου

Για τον καθορισμό των ενεργειών των παικτών καθώς και των απολαβών τους στις διάφορες καταστάσεις, γίνονται λογικές προτάσεις οι οποίες είναι μετρήσιμες και οι οποίες τελικά αξιολογούνται χρησιμοποιώντας ένα δείγμα 850 παρατηρήσεων από πραγματικές προσπεράσεις. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται μία βάση δεδομένων προσπέρασης οχήματος από δίκυκλο η οποία προέκυψε από τις μετρήσεις του κ. Μπαρμπουνάκη στο πλαίσιο της διπλωματικής του εργασίας στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ. Από την παραπάνω βάση δεδομένων, επιλέγονται συγκεκριμένες μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν ως παράμετροι στην παρούσα διπλωματική για τον προσδιορισμό των διάφορων παιγνίων. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.2) παρουσιάζονται οι μεταβλητές που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται σαν παράμετροι οι οποίες καθορίζουν τις στρατηγικές και τις απολαβές των παικτών.



Σχήμα 3.2: Χρησιμοποιούμενες Μεταβλητές

3.2 Θεωρία Παιγνίων

3.2.1 Ορισμός

Ένα στρατηγικό παίγνιο (με διατακτικές προτιμήσεις) $\Gamma = (N, A, H)$ αποτελείται από [39]:

- ένα μη κενό πεπερασμένο σύνολο παικτών $N = \{1, 2, \dots, n\}$
- για κάθε παίκτη, ένα μη κενό σύνολο στρατηγικών A_i
- για κάθε παίκτη, προτιμήσεις πάνω στο σύνολο των ενεργειών $u_i : X_{i=1}^n A_i \rightarrow \mathbb{R} \forall i \in N$

όπου:

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ο d -διάστατος χώρος ενεργειών και $A_i \subseteq \mathbb{R}^d \forall i \in N$
 $H = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ το σύνολο των συναρτήσεων απολαβών

Στην παρούσα έρευνα οι παίχτες είναι δύο, ο μοτοσυκλετιστής και ο οδηγός του οχήματος το οποίο προσπερνάται, δηλαδή $N = \{\text{Player 1, Player 2}\}$. Όσον αφορά τις ενέργειές τους, καθώς και τις συναρτήσεις απολαβών, αυτές ποικίλουν στα διάφορα παίγνια που παρουσιάζονται. Συνοπτικά, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα παίγνια μπορούν να χωριστούν σε δύο (2) κατηγορίες:

Στην πρώτη, οι ενέργειες και των δύο παικτών είναι κοινές, να συνεργαστούν ή όχι, ενώ η έννοια της συνεργασίας ορίζεται διαφορετικά σε κάθε περίπτωση και σε κάθε παίκτη. Έχουμε δηλαδή $A_1 = \{C, NC\}$ και $A_2 = \{C, NC\}$, όπου το C, NC του καθενός καθορίζεται από διάφορες χωρικές μεταβλητές που δείχνουν κατά πόσο οι οδηγοί αφήνουν ικανοποιητικές αποστάσεις ή κατά πόσο "πιέζουν" τον αντίπαλο. Στην κατηγορία αυτή, οι συναρτήσεις απολαβών τους εκφράζονται από την ταχύτητα, το ρίσκο ή συνδυασμό των δύο.

Στην δεύτερη κατηγορία η λογική δημιουργίας των παιγνίων αλλάζει, κυρίως όσον αφορά στον μοτοσυκλετιστή. Σε αυτή την κατηγορία, ως ενέργεια του οδηγού του δικύκλου ορίζεται το αν θα κάνει την προσπέραση ή όχι, δηλαδή $A_1 = \{\text{Overtake,}$

Stay} και $A_2 = \{C, NC\}$. Η παραπάνω υπόθεση έγινε, καθώς από τα δεδομένα φάνηκε ότι ο μοτοσικλετιστής σε πολλές περιπτώσεις είχε την ευχέρια να προσπεράσει, δεν είχε κανένα εμπόδιο, αλλά τελικά δεν το έκανε. Δεδομένου αυτού, φαίνεται ότι βασική επιλογή του είναι αν θα προσπεράσει η όχι. Στο Κεφάλαιο 4 τα παίγνια θα παρουσιαστούν αναλυτικά, θα υπολογιστούν οι απολαβές των παικτών και θα βρεθεί η λύση τους (Ισορροπία Nash).

3.2.2 Βασικές έννοιες

Η θεωρία της ορθολογικής επιλογής αποτελεί βασικό συστατικό των περισσότερων μοντέλων και ουσιαστικά υποδεικνύει ότι κάθε παίκτης επιλέγει την καλύτερη στρατηγική μεταξύ των άλλων σύμφωνα με τις προτιμήσεις του οι οποίες αντιπροσωπεύονται από τις συναρτήσεις-πίνακες ανταμοιβής (payoff function) [39]. Ένα στρατηγικό παίγνιο αποτελείται από τους παίκτες και τις στρατηγικές τους και “συλλαμβάνει” την αλληλεπιδράση μεταξύ αυτών, επιτρέποντας σε κάθε παίκτη να επηρεάζεται από τις επιλογές του άλλου και όχι μόνο από τις δικές του. Σε κάθε παίκτη λοιπόν αντιστοιχίζεται η πρότιμηση του όσον αφορά το προφίλ δράσης του παιχνιδιού, το οποίο αποτελεί το σύνολο των στρατηγικών όλων των παικτών (σύνολο πιθανών καταστάσεων).

Ένα στρατηγικό παιχνίδι μπορεί να αναπαρασταθεί με δύο τρόπους, στρατηγική (strategic form) και εκτεταμένη μορφή (extensive form) [40]. Η δεύτερη μορφή ενδείκνυται για καταστάσεις στις οποίες οι παίκτες δεν αποφασίζουν τις ενέργειές τους την ίδια χρονική στιγμή και άρα η απεικόνιση σε μορφή δέντρου βοηθά στην αναπαράσταση των χρονικών στιγμών. Στα εκτεταμένα παίγνια η χρονική ακολουθία των ενεργειών, καθώς και η πληροφορία που έχουν στη διάθεσή τους οι παίκτες τη στιγμή των ενεργειών αποκτούν αξία, αντίθετα με τα στρατηγικά παίγνια πλήρους πληροφόρησης, στα οποία οι παίκτες δρουν ταυτόχρονα και έχουν στη διάθεσή τους τις ίδιες πληροφορίες, δηλαδή των πίνακα απολαβών.

Μία στρατηγική αποτελεί απεικόνιση από τον χώρο των πληροφοριών στο χώρο των ενεργειών και ορίζει ένα πλάνο δράσης για τον παίκτη. Στο πλαίσιο αυτό, στρατηγική αποτελεί κάθε στοιχείο του συνόλου ενεργειών. Για παράδειγμα, μία αμιγής-καθαρή στρατηγική για τον παίκτη i είναι απλά $a_i \in A_i$, που σημαίνει ότι επιλέγει την ενέργεια a_i με πιθανότητα που ισούται με τη μονάδα. Μία Μικτή Στρατηγική περιλαμβάνει ένα συνδυασμό ενεργειών, όπου κάθε μία επιλέγεται με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η Ισορροπία Nash, η οποία αποτελεί μία λύση του παιγνίου και άρα ένα σύνολο στρατηγικών από το οποίο κανένας παίκτης δε μπορεί να επωφεληθεί αν αποκλείνει από αυτό.

3.2.3 Ισορροπία Nash

Η ισορροπία Nash αποτελεί μία λύση του παιγνίου και άρα ένα σύνολο στρατηγικών από το οποίο κανένας παίκτης δεν μπορεί να επωφεληθεί αν αποκλείνει από αυτό. Η θεωρία επίλυσης που εξετάζεται είναι βασισμένη πάνω σε δύο άξονες. Πρώτον, κάθε παίκτης επιλέγει μεταξύ των στρατηγικών του σύμφωνα με το μοντέλο της ορθολογιστικής επιλογής και δεδομένων των πεποιθήσεών του για τις επιλογές των άλλων παικτών. Δεύτερον, οι πεποιθήσεις των παικτών για τους άλλους είναι

πάντα σωστές. Οι παραπάνω προτάσεις ενσωματώνονται στον παρακάτω ορισμό [41]:

Η Ισορροπία Nash είναι ένα προφίλ στρατηγικών α^* με την ιδιότητα ότι κανένας παίκτης i δεν μπορεί να βελτιώσει την κατάστασή του επιλέγοντας μια στρατηγική διαφορετική από την α_i^* , δεδομένου ότι κάθε άλλος παίκτης j παραμένει στην α_j^* . Πιο συγκεκριμένα, το προφίλ στρατηγικών α^* σε ένα στρατηγικό παίγνιο με διατακτικές προτιμήσεις αποτελεί ισορροπία Nash αν για κάθε παίκτη i και κάθε στρατηγική α_i του παίκτη i , η α^* είναι τουλάχιστον όσο καλή, δεδομένων των προτιμήσεων του παίκτη i , όσο το προφίλ στρατηγικών $(\alpha_i, \alpha_{-i}^*)$ στο οποίο ο παίκτης i διαλέγει την α_i ενώ οι υπόλοιποι παίκτες επιλέγουν α_{-i}^* . Ισοδύναμα,

$$u_i(\alpha^*, \alpha_{-i}^*) \geq u_i(\alpha_i, \alpha_{-i}^*) \text{ για κάθε στρατηγική } \alpha_i \text{ του παίκτη } i.$$

όπου u_i είναι η συνάρτηση απολαβής που αντιπροσωπεύει τις προτιμήσεις του παίκτη i .

Ο παραπάνω ορισμός δεν συνεπάγεται ότι ένα στρατηγικό παίγνιο έχει απαραίτητα ισορροπία Nash, ούτε ότι έχει το πολύ μία. Υπάρχουν, δηλαδή, περιπτώσεις παιγνίων που δεν έχουν ισορροπία Nash, σε κάποιες υπάρχει μοναδική και σε άλλες πολλές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ορισμός είναι σχεδιασμένος ώστε να μοντελοποιεί σταθερές καταστάσεις στις οποίες εμπλέκονται έμπειροι παίκτες. Μία εναλλακτική προσέγγιση για την κατανόηση των στρατηγικών των παικτών υποθέτει ότι οι παίκτες γνωρίζουν τις προτιμήσεις των άλλων και θεωρεί πως κάθε παίκτης μπορεί να συμπεράνει για τις στρατηγικές των υπόλοιπων παικτών λόγω της ορθολογικής σκέψης του και της γνώσης του για την ορθολογική σκέψη των άλλων. Για διάφορα παίγνια οδηγεί σε διαφορετικά συμπεράσματα από την Ισορροπία Nash, αλλά σε εκείνα που τα συμπεράσματα είναι ίδια, η θεώρηση αποτελεί εναλλακτική ερμηνεία του Nash Equilibrium.

Η εύρεση της ισορροπίας Nash μπορεί να πραγματοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους. Στη συγκεκριμένη διπλωματική και λόγω του μεγέθους του παιγνίου θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της επαναλαμβανόμενης απαλοιφής κυριαρχούμενων στρατηγικών δεδομένου ότι ένας παίκτης δεν επιλέγει σίγουρα στρατηγικές που είναι κυριαρχούμενες. Η ανίχνευση της κυρίαρχης στρατηγικής για τους παίκτες αποτελεί σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του παιγνίου, ιδιαίτερα στην περίπτωση των παιγνίων της παρούσας διπλωματικής, στα οποία οι παίκτες έχουν μόνο δύο στρατηγικές. Οπότε αυτό συμβαίνει όταν μία στρατηγική είναι πάντα καλύτερη (αυστηρά κυρίαρχη) ή τουλάχιστον όσο καλή (ασθενώς κυρίαρχη) όσο μία άλλη.

Η ενέργεια α_i^* του παίκτη i στο παίγνιο $\Gamma = (N, A, H)$ είναι αυστηρά κυρίαρχη της α_i' αν $u_i(\alpha_i^*, a_{-i}) > u_i(\alpha_i', a_{-i})$ για κάθε a_{-i} των υπόλοιπων παικτών. Αντίστοιχα, η ενέργεια α_i^* του παίκτη i στο παίγνιο $\Gamma = (N, A, H)$ είναι ασθενώς κυρίαρχη της α_i' αν $u_i(\alpha_i^*, a_{-i}) \geq u_i(\alpha_i', a_{-i})$ για κάθε a_{-i} των υπόλοιπων παικτών. Αφού ο ορθολογισμός επιβάλλεται στο παίγνιο, ένας παίκτης θεωρείται ότι αποκλείει τις δράσεις που θα του δώσουν σίγουρα χειρότερες απολαβές και με τη λογική αυτή, αν η απαλοιφή συγκλίνει και για τους δύο σε ένα σύνολο στρατηγικών, τότε αυτό αποτελεί την ισορροπία Nash [39].

3.3 Αναπαράσταση της προσπέρασης με τη Θεωρία Παιγνίων

Ένας μοτοσικλετιστής (Player 1) βρίσκεται στην κατάσταση που αποφασίζει αν θα ξεκινήσει την προσπέραση του προπορευόμενου οχήματος (Player 2) και λαμβάνει υπόψη του όλες τις σχετικές παραμέτρους (διαφορές ταχυτήτων, χωρικούς παράγοντες κ.α). Αυτό το κάνει είτε για να κινηθεί ανάμεσα στα σταματημένα οχήματα, είτε για να αποφύγει την οδήγηση πίσω από κάποιο όχημα, πιθανόν βαρέο ή απλά για να κινηθεί γρηγορότερα. Το παραπάνω γεγονός, σε συνδυασμό με το υψηλό ποσοστό προσπεράσεων, οδηγεί στο συμπέρασμα πως οι οδηγοί δικύκλων γενικά προτιμούν να προσπεράσουν τα προπορευόμενα οχήματα, αλλά δε το κάνουν πάντα, αφού οι αποφάσεις τους επηρεάζονται από τις αποφάσεις των οδηγών των προπορευόμενων οχημάτων. Και αν οι αποφάσεις των άλλων θεωρήσουμε ότι έχουν συνέπειες στο ρίσκο και τελικά στην ασφάλεια του μοτοσικλετών, οι τελευταίοι προτιμούν να μη ρισκάρουν την ασφάλεια τους και δεν προσπερνούν.

Από την άλλη πλευρά, ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος (Player 2) λαμβάνει υπόψη του τα δεδομένα της κατάστασης και αποφασίζει αν θα κάνει τους κατάλληλους χειρισμούς για να διευκολύνει, άρα να συνεργαστεί. Ένα πιθανό ενδεχόμενο είναι ο οδηγός να προτιμά να μην αλλάξει την τροχιά του και να συνεργαστεί, αφού αυτό είναι πιο εύκολο. Υπολογίζει όμως και τον κίνδυνο ατυχήματος και αν πιστέψει ότι ο μοτοσικλετιστής είναι αποφασισμένος να προσπεράσει τότε αυτός συνεργάζεται, αφού προτιμά την κατάσταση στην οποία δεν υπάρχει ατύχημα. Το ρίσκο και η ταχύτητα αποτελούν τη βάση των παιγνίων, καθώς επηρεάζουν τις ενέργειες και τις απολαβές των παικτών.

Η παραπάνω κατάσταση μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν ένα στρατηγικό παίγνιο, δεδομένου ότι οι δύο παίκτες προσπαθούν να επιλέξουν τις καλύτερες στρατηγικές για τον εαυτό τους, ενώ παράλληλα αλληλεπιδρούν με τους άλλους. Στα παίγνια που εξετάζονται συμμετέχουν μόνο δύο παίκτες. Παρόλο που μπορεί να επηρεάζονται και από άλλους οδηγούς, η μεταξύ τους αλληλεπίδραση θεωρείται βασική αντίθετα με τις υπόλοιπες που είναι δευτερεύουσες.

Μία σημαντική παράμετρος η οποία καθορίζει και τον τύπο του παιγνίου είναι ο αριθμός επαναλήψεων-γύρων του. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις στο παραπάνω ζήτημα. Πρώτον μπορεί να θεωρηθεί ότι το παίγνιο είναι επαναλαμβανόμενο και παίζεται κάθε φορά από διαφορετικούς παίκτες, πάντα όμως ο Player 1 είναι ο μοτοσικλετιστής και ο Player 2 ο οδηγός του οχήματος. Μία άλλη προσέγγιση θεωρεί πως ο παίκτης 1 είναι πάντα ο ίδιος μοτοσικλετιστής και σε κάθε επανάληψη παίζει με άλλον οδηγό. Οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να μοντελοποιήσουν τον ελιγμό της προσπέρασης, αλλά απαιτούν διαφορετικά δεδομένα-μετρήσεις. Για το πρώτο χρειάζονται δεδομένα από ένα σταθερό σημείο από το οποίο καταγράφονται προσπεράσεις με διαφορετικούς συμμετέχοντες κάθε φορά. Αντίθετα, για τη δεύτερη προσέγγιση χρειάζονται δεδομένα για κάποιον συγκεκριμένο παίκτη και από πολλές προσπεράσεις που αυτός πραγματοποιεί. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιείται η πρώτη προσέγγιση, καθώς συνάδει με τη βάση δεδομένων και τις μετρήσεις που υπάρχουν. Παρακάτω παρουσιάζονται και ορίζονται τα παίγνια που προτείνονται.

3.3.1 Παίγνιο No 1

Έστω ότι παρατηρείται η παραπάνω κατάσταση και οι παίκτες αντιμετωπίζουν την ίδια επιλογή, να συνεργαστούν ή όχι. Οι στρατηγικές τους p, q παρουσιάζονται παρακάτω:

$$p=q=\{NC : \text{Non-Cooperative}, C: \text{Cooperative}\}$$

Τίθεται λοιπόν το ζήτημα της ποσοτικοποίησης των ενεργειών τους, δηλαδή τι σημαίνει συνεργασία για τον κάθε παίκτη και τελικά πως αυτό μετράται σε πραγματικές προσπεράσεις. Στο παρόν παίγνιο, γίνονται οι παραδοχές που έγιναν και σε προηγούμενη έρευνα από τον κ. Μπαρμπουνάκη. Ο μοτοσυκλετιστής είναι συνεργάσιμος όταν αφήνει ικανοποιητική απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα και δε το πιέζει. Αριθμητικά πρέπει να ικανοποιείται η σχέση $\text{DistanceXY} \geq 5\text{m}$ (Σχήμα 3.2). Αντίστοιχα για τον Player 2, ορίζεται ότι συνεργάζεται όταν αφήνει επαρκές "άνοιγμα" - απόσταση από το όχημα 3, δηλαδή όταν $\text{Opening} \geq 12\text{m}$. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει το όχημα 3 ($\text{Opening} = 0$), γίνεται η θεώρηση ότι ο οδηγός του αυτοκινήτου συνεργάζεται όταν βρίσκεται τουλάχιστον στη λωρίδα κυκλοφορίας του, δηλαδή όταν $\text{plaini2} \geq 3.5\text{m}$. Τα παραπάνω όρια προκύπτουν από τη βιβλιογραφία ως ικανές αποστάσεις ασφαλείας [38].

Όσον αφορά στις συναρτήσεις απολαβών, αυτές εξαρτώνται από τις ταχύτητες των παικτών και το ρίσκο το οποίο αντιμετωπίζουν κατά τη διάρκεια της προσπέρασης. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβλητές $Risk_m, Risk_{veh}$ αναφέρονται στην άνεση (αντίστροφες του ρίσκου) των συμμετεχόντων κατά την προσπέραση και άρα μπορούν να θεωρηθούν ως συναρτήσεις απολαβών οι ακόλουθες:

$$u_1 = V_m^* + Risk_m$$

$$u_2 = V_1^* + Risk_{veh}$$

Η παραπάνω θεώρηση στηρίζεται στο γεγονός ότι οι παίκτες προτιμούν μεγάλες ταχύτητες, λόγω της επιθυμίας τους για μικρούς χρόνους ταξιδιού, αλλά παράλληλα θέλουν χαμηλό ρίσκο (υψηλή άνεση), αφού προσμετρούν και την ασφάλεια. Η μεταβλητή $Risk_m$ εξαρτάται κυρίως από το Opening και δευτερευόντος από τις λωρίδες στις οποίες βρίσκονται οι παίκτες, από το κατά πόσο ο μοτοσυκλετιστής φέρει συνεπιβάτη και από το αν φοράει κράνος. Αντίστοιχα υπολογίζεται και η τιμή της $Risk_{veh}$. Αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των μεταβλητών που εκφράζουν το ρίσκο ακολουθεί στο κεφάλαιο 4.

Τέλος, στο συγκεκριμένο παίγνιο, οι ταχύτητες V_m και V_1 κανονικοποιούνται ώστε να είναι στην ίδια κλίμακα με της μεταβλητές που αναπαριστούν το ρίσκο. Δηλαδή ισχύει:

$$V_m^* = \frac{V_m^{max} - V_m}{V_m^{max} - V_m^{min}}$$

$$V_1^* = \frac{V_1^{max} - V_1}{V_1^{max} - V_1^{min}}$$

3.3.2 Παίγνιο No 2

Γίνεται η θεώρηση ότι κατά την κυκλοφοριακή ροή εμφανίζεται η κατάσταση που ορίζει το παραπάνω σενάριο και ότι οι δύο παίκτες τη στιγμή που ξεκινά η διαδικασία της πιθανής προσπέρασης έχουν πάλι να επιλέξουν μεταξύ της συνεργασίας ή όχι, δηλαδή οι στρατηγικές τους p, q δίνονται ως:

$$p=q=\{NC : \text{Non-Cooperative}, C: \text{Cooperative}\}$$

Κατά αντιστοιχία με το πρώτο παίγνιο, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου και των πολλών μεταβλητών που εμφανίζονται, αποτελεί πρόκληση η ποσοτικοποίηση των ενεργειών των παικτών και ο καθορισμός του πότε καθένας τους συνεργάζεται. Η λογική του παιγνίου είναι ίδια με αυτή του πρώτου με τη διαφορά ότι στο παρόν τη συνεργατικότητα των παικτών καθορίζουν οι μεταβλητές $Risk_m, Risk_{veh}$ αντίστοιχα. Η μεταβλητή $Risk_m$, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, εξαρτάται κυρίως από το Opening και δευτερευόντως από τις λωρίδες στις οποίες βρίσκονται οι παίκτες, από το κατά πόσο ο μοτοσικλετιστής φέρει συνεπιβάτη και από το αν φοράει κράνος. Αυτές οι παράμετροι είναι παρατηρήσιμες από τον οδηγό του οχήματος 1, ο οποίος επιλέγοντας το πόσο άνοιγμα θα αφήσει ορίζει τελικά το ρίσκο που αντιμετωπίζει ο μοτοσικλετιστής. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω πρόταση, γίνεται η υπόθεση ότι τιμές τις μεταβλητής μεγαλύτερες του 0.5 (η μεταβλητή είναι υπολογισμένη ως αντίστροφη του ρίσκου) ορίζουν ότι ο Player 2 συνεργάζεται. Με την ίδια λογική, τιμές της $Risk_{veh}$ μεγαλύτερες του 0.5 υποδεικνύουν ότι ο μοτοσικλετιστής επιλέγει τη συνεργασία.

Σχετικά με τις απολαβές των παικτών, αυτές ορίζονται ως η ταχύτητά τους τη στιγμή της προσπέρασης, που όπως προαναφέρθηκε στηρίζεται στο γεγονός πως οι οδηγοί προτιμούν μικρότερη διάρκεια ταξιδιού και άρα μεγαλύτερες ταχύτητες. Η επιθυμία τους για ασφάλεια περιέχεται τώρα στις ενέργειές τους, αντίθετα με το πρώτο παίγνιο. Παρακάτω οι συναρτήσεις απολαβών τους:

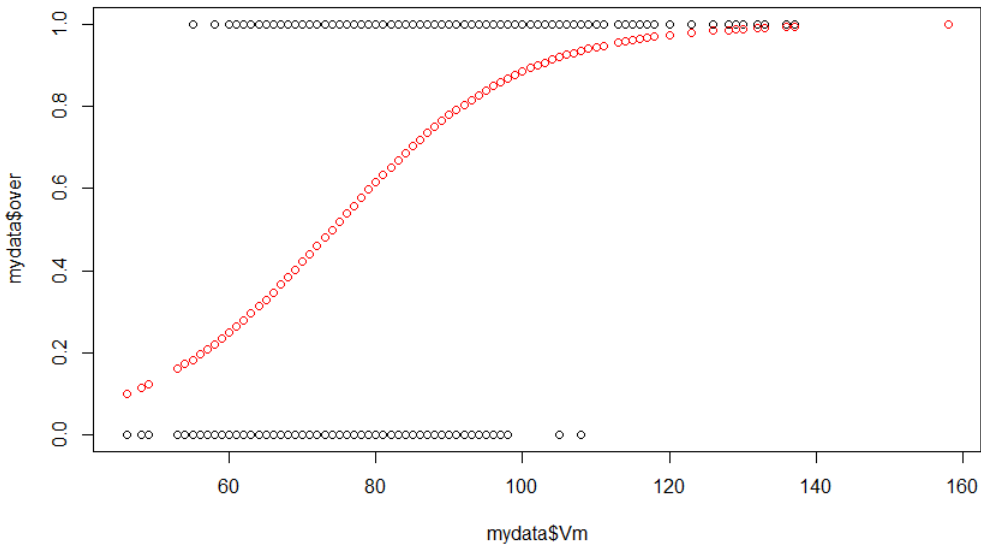
$$u_1 = V_m$$

$$u_2 = V_1$$

Συγκεκριμένα για τον μοτοσικλετιστή, γίνεται προσπάθεια να συμπεριληφθεί στις απολαβές του το κατά πόσο η προσπέραση ήταν επιτυχής, αντικείμενο το οποίο εξετάζεται σε επόμενα μοντέλα (3.3.3 , 3.3.4). Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί πως έπειτα από τη δημιουργία λογιστικού μοντέλου που συνδέει την ταχύτητα με την επιτυχία της προσπέρασης φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι παρόλο που δε χρησιμοποιείται άμεσα η επιτυχία της προσπέρασης στη συνάρτηση απολαβών, τελικά λαμβάνεται υπόψη έμμεσα μέσω της ταχύτητας. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η λογιστική παλινδρόμηση (Σχήμα 3.3).

Για το κατά πόσο η μεταβλητή V_m εξηγεί την κατηγορική Over, εμφανίζονται κάποιες ενδείξεις από τη μέτρηση της "άποκλίνουσας συμπεριφοράς" ή αλλιώς *deviance* του μοντέλου. Αρχικά, χωρίς τη μεταβλητή V_m και θεωρώντας ότι υπάρχει

μόνο η σταθερά, υπολογίζεται Null Deviance = 1130, ενώ η τιμή του πέφτει με την εισαγωγή της μεταβλητής V_m σε 968, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για την απόρριψη του μοντέλου. Ακόμα, η τιμή του AIC (Akaike's Information Criterion) [42] είναι 927, αλλά αυτό αποτελεί κυρίως συγκριτικό κριτήριο μεταξύ διάφορων μοντέλων και οπότε δεν καθορίζεται συγκεκριμένο όριο. Εμπειρικά, όταν η πρόβλεψη (red dots) του μοντέλου τείνει να πάρει σχήμα S, θεωρείται ότι η μεταβλητές συσχετίζονται σε ένα βαθμό και το μοντέλο έχει μικρότερες πιθανότητες να απορριφθεί.



Σχήμα 3.3: Λογιστική Παλινδρόμηση $Over \sim V_m$

3.3.3 Παίγνιο No 3

Στο τρίτο παίγνιο, οι στρατηγικές του Player 2 παραμένουν ίδιες όπως στο δεύτερο, δηλαδή επιλέγει αν θα συνεργαστεί και αυτό παρατηρείται από τη μεταβλητή $Risk_m$. Όσο για τον μοτοσικλετιστή, η πραγματοποίηση ή όχι της προσπέρασης γίνεται πια ενέργεια-στρατηγική του. Αποφασίζει δηλαδή, δεδομένων των παραμέτρων που παρατηρεί, αν θα προσπεράσει ή όχι. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σύνολα ενεργειών των παικτών:

$$p = \{O : \text{Overtake}, S : \text{Stay}\} \quad q = \{NC : \text{Non-Cooperative}, C : \text{Cooperative}\}$$

Στο συγκεκριμένο παίγνιο, μπορούν να γίνουν λογικές υποθέσεις για τις προτιμήσεις των παικτών πάνω στο σύνολο των πιθανών στρατηγικών ως εξής:

- Player 1: $u_1(\text{Overtake}, \text{Cooperative}) > u_1(\text{Stay}, \text{Non-Cooperative}) > u_1(\text{Overtake}, \text{Non-Cooperative}) > u_1(\text{Stay}, \text{Cooperative})$

- Player 2: $u_2(\text{Stay, Non-Cooperative}) > u_2(\text{Overtake, Cooperative}) > u_2(\text{Overtake, Non-Cooperative}) > u_2(\text{Stay, Cooperative})$

Οι παραπάνω υποθέσεις στηρίζονται στην ακόλουθη λογική. Ο μοτοσυκλετιστής προτιμά να προσπεράσει, αλλά όχι τόσο που να ρισκάρει την ασφάλειά του και έτσι προκύπτουν τα δύο πρώτα μέλη της ανίσωσης. Επίσης κατά την κυκλοφοριακή ροή παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της επιθετικής οδήγησης από οδηγούς δικύκλων και άρα θεωρείται ότι προτιμούν να προσπεράσουν με ρίσκο πάρα να βρεθούν στην κατάσταση που θα μπορούσαν να έχουν πραγματοποιήσει την προσπέραση (τελικά ο άλλος οδηγός συνεργάστηκε) αλλά δε το έκαναν.

Σχετικά με τον οδηγό του IX, θεωρείται ότι προτιμά να μη συνεργαστεί, καθώς με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιεί τους πρόσθετους χειρισμούς που πρέπει να κάνει και άρα το φόρτο στον εγκέφαλό του (The brain is lazy) [43]. Αυτό όμως προϋποθέτει να μην προσπεραστεί και τεθεί θέμα ασφάλειας, που τότε προτιμά τη συνεργασία. Δεδομένων αυτών, εξηγούνται τα δύο πρώτα μέλη της ανίσωσης. Όμοια με πριν, γίνεται η παραδοχή πως παρόλο που η ασφάλεια παίζει σπουδαίο ρόλο, ο οδηγός προτιμά να μη συνεργαστεί και να ρισκάρει την ασφάλεια, καθώς πιστεύει ότι ο Player 1 αφού αποφασίζει να προσπεράσει θα κάνει τους κατάλληλους χειρισμούς για να μην κινδυνέψουν και οι δύο, ανεξάρτητα του τι πράττει ο ίδιος. Τελευταία στις προτιμήσεις του εμφανίζεται η περίπτωση που συνεργάζεται και δεν προσπερνάτε, καθώς αισθάνεται ότι πήρε αποφάσεις που συμφέρουν τον "αντίπαλό" του χωρίς κανένα αποτέλεσμα τελικά.

Το ρόλο των συναρτήσεων απολαβών λαμβάνουν πάλι οι ταχύτητες των συμμετεχόντων, δηλαδή:

$$u_1 = V_m$$

$$u_2 = V_1$$

Το συγκεκριμένο παίγνιο, λόγω της δομής του, μπορεί να παρουσιαστεί σε μία γενικευμένη εκδοχή όπως παρακάτω:

		Player 2	
		C	NC
Player 1	O	4 3	2 2
	S	1 1	3 4

Πίνακας 3.1: Παίγνιο Νο 3

Παρατηρείται ότι στο παραπάνω παίγνιο δεν υπάρχει ισορροπία Ναs θεωρώντας σταθερή κατάσταση στην οποία οι παίκτες επιλέγουν μόνο αμιγείς στρατηγικές. Αυτή άρα βρίσκεται στο χώρο των μικτών στρατηγικών, όπου οι παίκτες επιλέγουν με

κάποια πιθανότητα τις ενέργειες που έχουν στη διάθεσή τους και τελικά εμφανίζεται μία πιο γενικευμένη κατάσταση ισορροπίας στην οποία οι παίκτες εναλλάσσουν τις στρατηγικές τους με προβλέψιμο τρόπο.

3.3.4 Παίγνιο No 4

Στην ίδια λογική με το προηγούμενο, το Παίγνιο νούμερο 4 αποτελεί παραλλαγή του τρίτου. Ο μοτοσικλετιστής επιλέγει αν θα προσπεράσει και ο οδηγός του οχήματος αν θα συνεργαστεί. Η συνεργατικότητα μετράται με τη μεταβλητή *Opening* ($\geq 12m$) και τη μεταβλητή *plaini2* ($\geq 3.5m$) όταν δεν υπάρχει όχημα μπροστά, όμοια με το πρώτο παίγνιο. Ορίζονται οι στρατηγικές και οι συναρτήσεις απολαβών των παικτών όπως παρακάτω:

$$p=\{O : Overtake, S : Stay\} \quad q=\{NC : Non-Cooperative, C: Cooperative\}$$

$$u_1 = V_m^* + Risk_m$$

$$u_2 = V_1^* + Risk_{veh}$$

όπου V^* οι κανονικοποιημένες ταχύτητες και η λογική των απολαβών όπως εξηγήθηκε στο πρώτο παίγνιο.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις πραγματικές προσπεράσεις από τη βάση δεδομένων, καθώς και τις παραπάνω δομές των παιγνίων, θα υπολογιστούν οι τιμές των απολαβών των παικτών, δηλαδή ο μέσος όρος των ταχυτήτων των εκάστοτε περιπτώσεων και θα ερμηνευτούν τα αποτελέσματα βάση των λογικών παραδοχών που έγιναν.

Κεφάλαιο 4

Παρουσίαση και Αξιολογήση Μοντέλων

Στο παρόν Κεφάλαιο, αρχικά παρουσιάζεται ο τρόπος συλλογής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό των παιγνίων, πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των μεταβλητών και στη συνέχεια υπολογίζονται οι απολαβές των παικτών για τα παίγνια που προτάθηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Τέλος, τα αποτελέσματα ερμηνεύονται προσφέροντας τη βαθύτερη κατανόηση του ελιγμού της προσπέρασης και της συμπεριφοράς των οδηγών κατά τη διάρκειά της.

4.1 Περιοχή Μελέτης

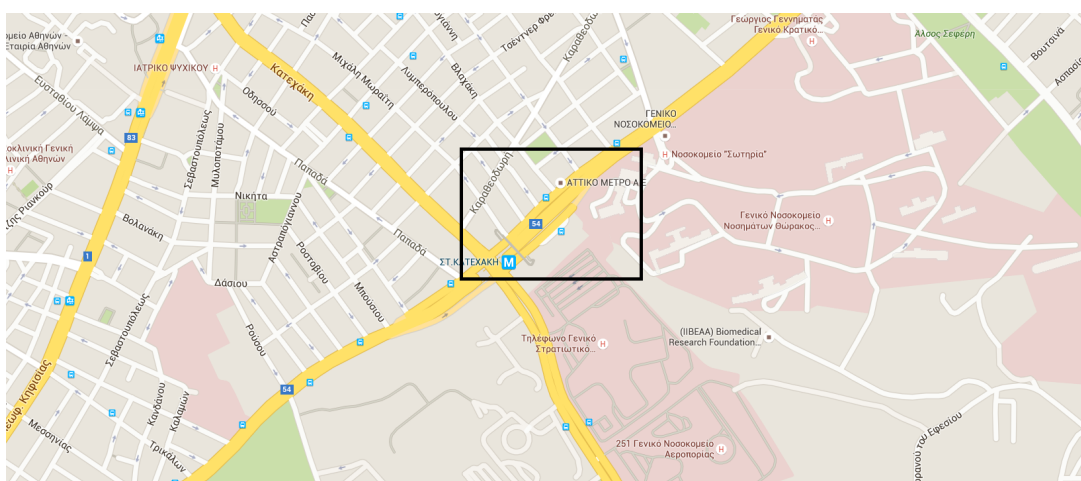
Η δομή του παιγνίου που προτείνεται απαιτεί πραγματικά δεδομένα για τις τροχές των οχημάτων που συμμετέχουν. Για το λόγο αυτό επιλέχτηκε να μετρηθούν κατάλληλες μεταβλητές με τη χρήση βινεοκάμερας. Όσον αφορά στην περιοχή μελέτης στην οποία έγιναν οι μετρήσεις, αξίζει να σημειωθεί καθώς διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο, αφού τα μοντέλα που κατασκευάζονται αφορούν οδούς με τα χαρακτηριστικά της. Πιο συγκεκριμένα, για λόγους συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς και για τον καλύτερο χωρικό ορισμό των παιγνίων πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω περιορισμοί:

- Να υπάρχουν δύο (2) λωρίδες ανά κατεύθυνση
- Να υπάρχει νησίδα η οποία διαχωρίζει τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, ώστε να μην εισέρχονται οχήματα από τη μία στην άλλη στις περιπτώσεις προσπεράσεων
- Να μην υπάρχουν στροφές και κοίλες ή κυρτές καμπύλες στο δρόμο
- Το σημείο της περιοχής μελέτης να μην βρίσκεται κοντά σε σηματοδοτούμενο κόμβο ώστε να μην υπάρχουν ανάλογες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις που οφείλονται στην κόκκινη ένδειξη
- Να μην υπάρχουν είσοδοι - έξοδοι καταστημάτων η πρατηρίων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη φυσιολογική ροή των οχημάτων. Για τον ίδιο λόγο

δεν πρέπει να υπάρχουν στάσεις λεωφορείων η ταξί, καθώς και σταθμευμένα οχήματα.

- Για τεχνικούς λόγους, να υπάρχει υπερυψωμένο σημείο πάνω από την οδό στο οποίο θα στηθεί κάμερα με οπτική αντίθετη προς τη ροή της κυκλοφορίας.

Μία αθηναϊκή οδός που πληροί τις παραπάνω προϋποθέσεις είναι η Λεωφόρος Μεσογείων στο ύψος της πεζογέφυρας του Santiago Calatrava. Η συγκεκριμένη γέφυρα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό αρχιτεκτόνημα και κατασκευάστηκε στο σταθμό του Μετρό Κατεχάκη την περίοδο των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας. Όσον αφορά τη συγκεκριμένη έρευνα, φάνηκε πολύ χρήσιμη λόγω της πολύ καλής θέας που προσφέρει κάθετα στη Λεωφόρο, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες (Σχήματα 4.1, 4.2).



Σχήμα 4.1: Χάρτης στον οποίο απεικονίζεται η περιοχή μελέτης



Σχήμα 4.2: Γέφυρα Calatrava και στήσιμο διαθέσιμου εξοπλισμού

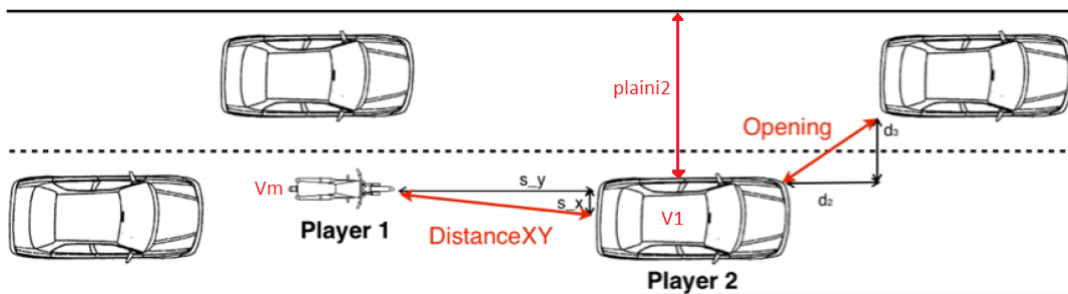
4.2 Βάση Δεδομένων - Μετρήσεις

4.2.1 Γενικά - Μεταβλητές

Η παραπάνω βιντεοκάμερα, αφού εγκαταστάθηκε σε συγκεκριμένο σημείο, βιντεοσκόπησε τέσσερις (4) ώρες κυκλοφοριακής ροής και κατέγραψε 850 περιπτώσεις προσπέρασης οχήματος από δίκυκλο. Μετά την επεξεργασία των βίντεο και χρησιμοποιώντας το λογισμικό Trajectory Extractor [44], προέκυψε μεγάλος αριθμός μεταβλητών, κυρίως χωρικών. Αυτό έγινε πρακτικά τη βοήθεια δύο (2) εξισώσεων οι οποίες μετατρέπουν τις συντεταγμένες στο επίπεδο λήψης της κάμερας (x_{screen}, y_{screen}) σε πραγματικές συντεταγμένες (x_{real}, y_{real}) στο επίπεδο που ορίζει το οδόστρωμα. Συγκεκριμένα για τις χωρικές, από τις αρχικά μετρηθείσες μπορούν να υπολογιστούν και άλλες χρησιμοποιώντας γεωμετρικές σχέσεις. Αξίζει να σημειωθεί πως παρόλο που μπορεί να υπάρχουν σφάλματα στις μετρήσεις, το αντικείμενο δεν εξετάζεται ιδιαίτερα στη συγκεκριμένη διπλωματική, καθώς τουλάχιστον για τις χωρικές μεταβλητές πραγματοποιήθηκε έλεγχος οποίος έδειξε ικανοποιητική ακρίβεια της τάξεως εκατοστού. Παρουσιάζονται παρακάτω οι σημαντικότερες, όπως έχουν προκύψει από παλαιότερες έρευνες:

1. **Over** : Αν έγινε ή όχι η προσπέραση. (1 αν έγινε, 0 αν δεν έγινε)
2. **V_m (km/h)** : Η ταχύτητα της μοτοσυκλέτας που προσπερνά
3. **V_1 (km/h)** : Η ταχύτητα του οχήματος που προσπερνάται
4. **DistanceXY (m)** : Ορίζεται ως η γραμμική απόσταση του μπροστινού μέρους του δικύκλου με το πίσω μέρος του οχήματος που αλληλεπιδρά τη στιγμή που ξεκινά η προσπέραση. Η μεταβλητή αυτή υπολογίζεται από τη μαθηματική σχέση $\sqrt{s_x^2 + s_y^2}$ 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 .
5. **Opening (m)** : Ορίζεται το "άνοιγμα" που έχει ο αναβάτης για να προσπεράσει το μπροστινό όχημα. Η μαθηματική σχέση που την εκφράζει είναι $\sqrt{d_2^2 + d_3^2}$. Δημιουργήθηκε με την ίδια λογική με και η 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).
6. **plaini2 (m)** : Η απόσταση του οχήματος 1 από την οριογραμμή της δεξιάς/αριστερής λωρίδας. Επιλέγεται πάλι σαν το "άνοιγμα" που βλέπει ο μοτοσυκλετιστής σε περίπτωση που δεν υπάρχει το όχημα 3.

Οι μεταβλητές απεικονίζονται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Μεταβλητές

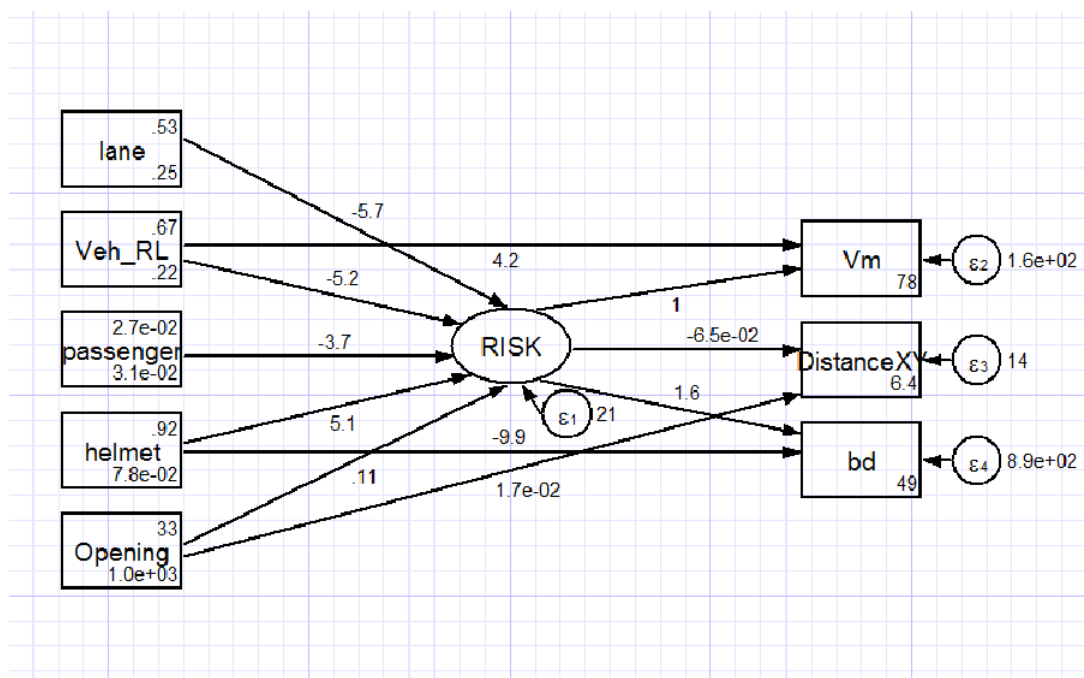
Οι παραπάνω μεταβλητές μετρήθηκαν ή υπολογίστηκαν άμεσα από τα δεδομένα των βίντεο και αναφέρονται στη στιγμή που ξεκινά η προσπέραση. Ωστόσο, στα πλαίσια παλαιότερης διπλωματικής εργασίας ορίστηκαν κάποιες άλλες, λανθάνουσες (μη παρατηρήσιμες) μεταβλητές, και υπολογίστηκε η τιμή τους σε κάθε παρατήρηση του δείγματος. Οι συγκεκριμένες μεταβλητές στόχο έχουν να ποσοτικοποιήσουν το ρίσκο που παίρνουν οι δύο παίκτες κατά τη διάρκεια της προσπέρασης. Πιο συγκεκριμένα, η $Risk_m$ μετρά την άνεση του μοτοσικλετιστή κατά την προσπέραση ενώ η $Risk_{veh}$ μετρά το αντίστοιχο για τον οδηγό του οχήματος 1. Είναι δηλαδή κατά κάποιο τρόπο αντίστροφες του ρίσκου που αντιμετωπίζουν οι παίκτες και άρα στο εξής θα θεωρείται ότι προτιμούνται μεγάλες τιμές από τους οδηγούς. Οι τιμές των δύο μεταβλητών είναι κανονικοποιημένες, δηλαδή $Risk_m, Risk_{veh} \in [0,1]$.

Όσον αφορά στον τρόπο υπολογισμού των παραπάνω μεταβλητών, χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα δομικών εξισώσεων (Structural Equation Models) τα οποία απεικονίζουν τις αιτιώδεις σχέσεις που σύμφωνα με τις υποθέσεις μας συνδέουν τις μεταβλητές. Έπειτα από δοκιμές, βρέθηκαν τα κατάλληλα δομικά μοντέλα που περιγράφουν ικανοποιητικά τις σχέσεις αυτές και πιο συγκεκριμένα την επιρροή διάφορων μεταβλητών στο ρίσκο των παικτών. Αφού οι αλγόριθμοι συνέκλιναν, καθορίστηκαν οι συντελεστές των μεταβλητών ώστε να υπολογισθούν οι τιμές των λανθάνουσών μεταβλητών $Risk_m, Risk_{veh}$ οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται σαν παράμετροι των μοντέλων.

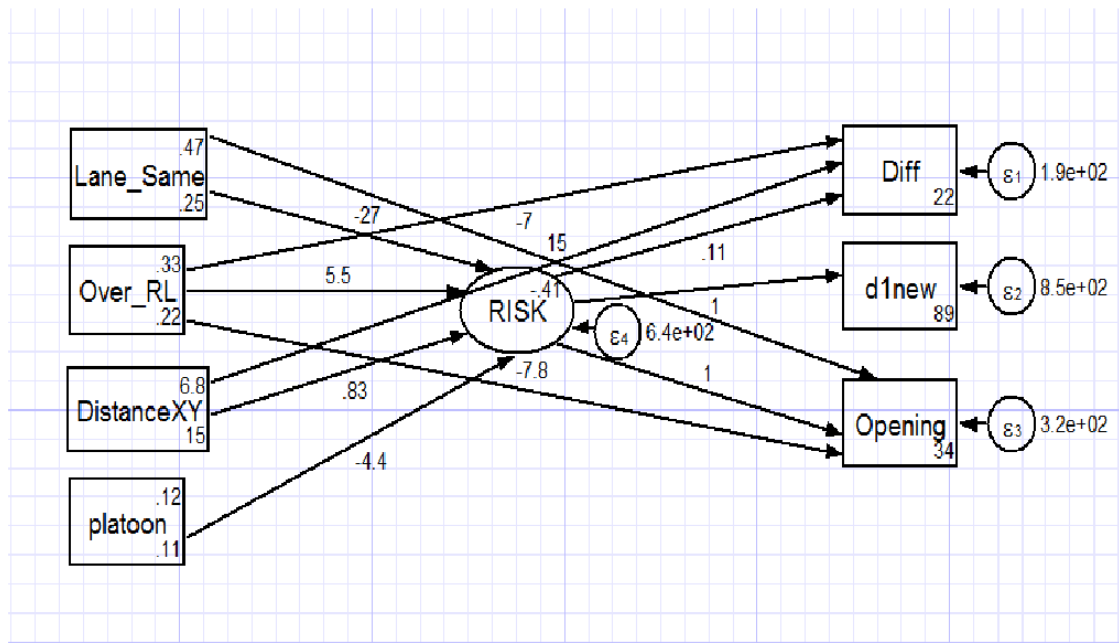
Πιο συγκεκριμένα, η μεταβλητή $Risk_m$ εξαρτάται από κάποιους προγνωστικούς παράγοντες που επιδρούν στο ρίσκο που παίρνει ο δικυκλιστής τη στιγμή που αποφασίζει να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα. Οι παράγοντες αυτοί αποτελούνται από τις μεταβλητές lane, Veh_RL, passenger, helmet, Opening δηλαδή τη λωρίδα στην οποία βρίσκεται το δίκυκλο, τη λωρίδα που βρίσκεται το όχημα που προσπερνάται, την ύπαρξη συνεπιβάτη στη μοτοσικλέτα, το κατά πόσο ο οδηγός του δίκυκλου φοράει κράνος και τέλος από το "άνοιγμα" που αφήνει ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος. Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν δρουν έμμεσα, μέσω της λανθάνουσας μεταβλητής, στους τρεις δείκτες V_m , DistanceXY, bd και τελικά η $Risk_m$ εκφράζει την επικινδυνότητα του δικυκλιστή όταν παίρνει την απόφαση να προσπεράσει. Οι προγνωστικοί παράγοντες - μεταβλητές είναι παρατηρήσιμοι από τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος και σε συνδυασμό με τη μεταβλητή Opening η οποία αποφασίζεται από τον οδηγό του οχήματος, κάνουμε την υπόθεση ότι η τιμή της

μεταβλητής $Risk_m$ επηρεάζεται από τις αποφάσεις του Player 2.

Αντίστοιχα, η λανθάνουσα μεταβλητή $Risk_{veh}$ εξαρτάται από τους προγνωστικούς παράγοντες $Lame_Same$, $Over_RL$, $DistanceXY$ και $platoon$, και συλλαμβάνει την επικινδυνότητα του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος κατά την προσπέραση. Δηλαδή από το αν βρίσκεται το δίκυκλο στην ίδια λωρίδα με το όχημα, αν η προσπέραση γίνεται από αριστερά η δεξιά, από την απόσταση που αφήνει ο αναβάτης της μοτοσυκλέτας και από την ύπαρξη ή μη φάλαγγας. Όπως και πριν, κάνουμε την υπόθεση πως ο μοτοσικλετιστής είναι αυτός που τελικά έμεσσα επηρεάζει την τιμή της λανθάνουσας μεταβλητής και άρα την επικινδυνότητα του Player 2. Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται τα δομικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν και φαίνεται ο τρόπος υπολογισμού των λανθανουσών μεταβλητών (Σχήμα 4.4 και Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα Ροής Δομικού Μοντέλου Δικυκλιστή - $Risk_m$



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα Ροής Δομικού Μοντέλου Οδηγού - $Risk_{veh}$

4.2.2 Περιγραφική Στατιστική

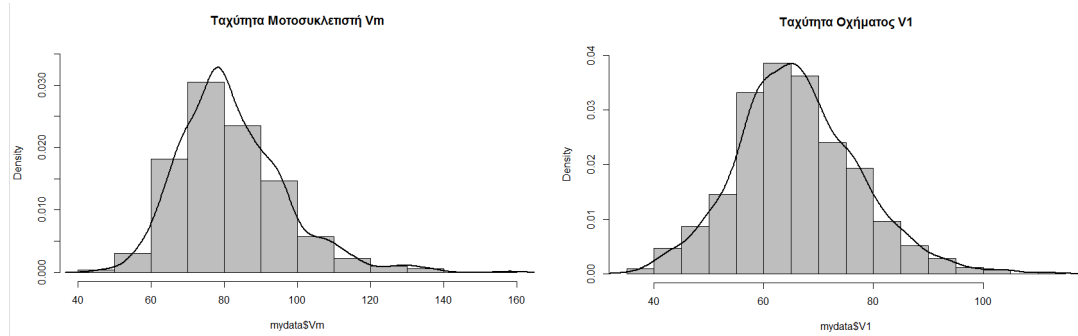
Οι μετρηθείσες μεταβλητές επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικές του προβλήματος και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται σαν παράμετροι των προτεινόμενων παιγνίων.

Γενικά, οι χωρικές μεταβλητές χρησιμοποιούνται στον ορισμό των ενεργειών των παικτών, που στην περίπτωση των παιγνίων που οι διαθέσιμες ενέργειες για κάθε παίκτη είναι η συνεργασία ή όχι, συγκεκριμένα όρια στις τιμές των μεταβλητών καθορίζουν αν τελικά ο παίκτης συνεργάζεται ή όχι. Για παράδειγμα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όταν για το “άνοιγμα” το οποίο αφήνει ο οδηγός του οχηματος 1 ισχύει $Opening \geq 12m$ τότε ο ο Player 2 συνεργάζεται, ενώ αντίστοιχα όταν $DistanceXY \geq 5m$ ο Player 1 είναι συνεργάσιμος³⁸.

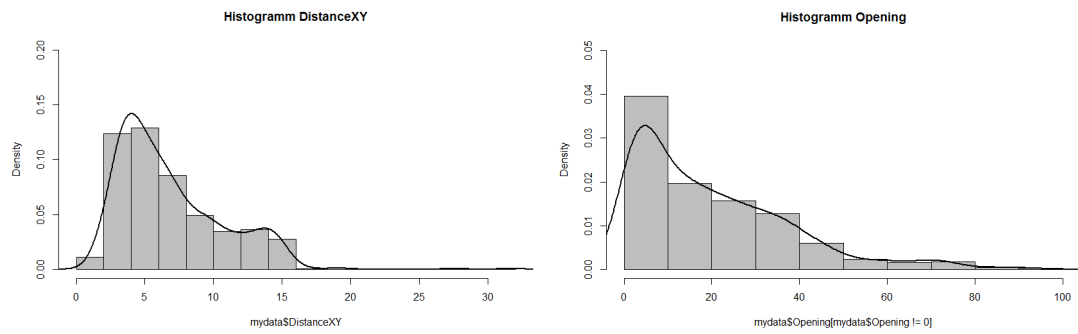
Αντίθετα, οι ταχύτητες των δύο παικτών V_m, V_1 χρησιμοποιούνται σαν μεταβλητές που επηρεάζουν τις συναρτήσεις απολαβών των παικτών, με την έννοια ότι μεγαλύτερες ταχύτητες οδηγούν σε μικρότερους χρόνους διαδρομής και άρα προτιμούνται από τους παίκτες. Τελος, οι μεταβλητές που περιγράφουν το ρίσκο $Risk_m, Risk_{veh}$ χρησιμοποιούνται τόσο στον καθορισμό των ενεργειών των παικτών, όσο και στις συναρτήσεις απολαβών τους, ανάλογα με το παίγνιο που προτείνεται. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στη συνέχεια του Κεφαλαίου 4 με τον πλήρη ορισμό των μοντέλων. Παρακάτω φαίνονται τα ιστογράμματα των μεταβλητών (Σχήματα 4.4, 4.5, 4.6, 4.7), καθώς και οι βασικές στατιστικές τους παράμετροι (Πίνακας 4.1).

	Over	V_m	V_1	DistanceXY	Opening	plaini1	plaini2	$Risk_m$	$Risk_{veh}$
Mean	0.62	82.3	66.3	6.8	19.8	2.60	3.50	0.51	0.42
St. Dev	0.49	14.6	11.1	3.8	17.8	0.96	0.91	0.20	0.24
Min	0	46	36	1.2	1.1	0.64	0.25	0	0
Max	1	158	112	31.7	92.4	5.70	5.89	1	1

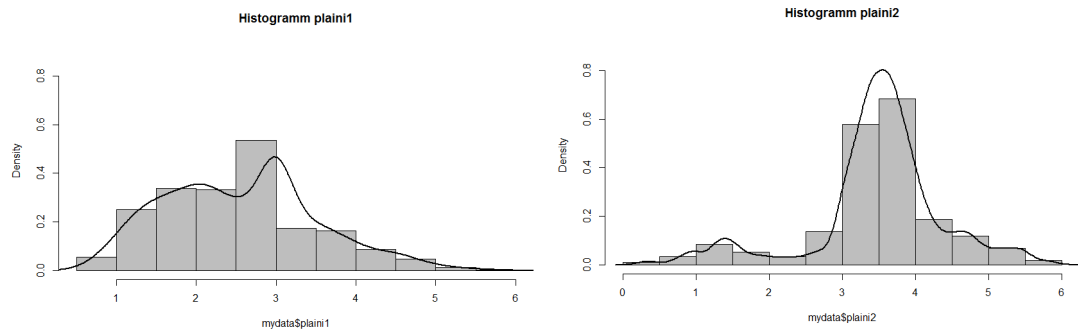
Πίνακας 4.1: Μέτρα θέσης και μεταβιτότητας



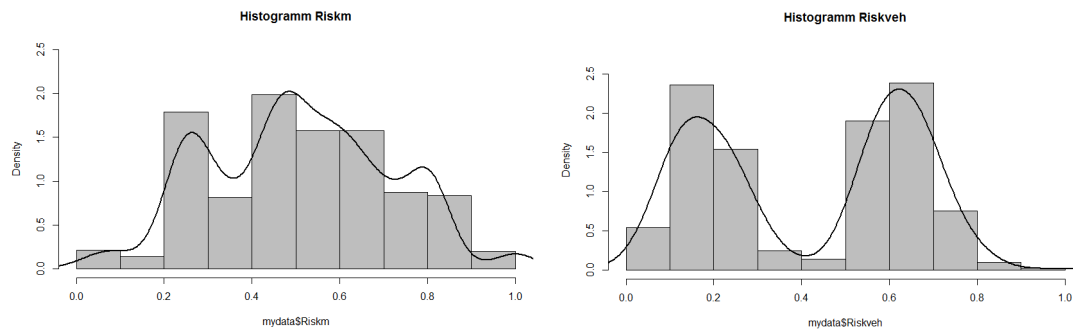
Σχήμα 4.6: Ιστογράμματα Ταχυτήτων



Σχήμα 4.7: Ιστογράμματα DistanceXY, Opening



Σχήμα 4.8: Ιστογράμματα plaini1, plaini2



Σχήμα 4.9: Ιστογράμματα $Risk_m$, $Risk_{veh}$

Όπως προαναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων καταγράφηκε μεγάλος αριθμός μεταβλητών. Τελικά αυτές που επιλέχθηκαν για τον ορισμό των παιγνίων θεωρούνται οι πιο χαρακτηριστικές. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω μεταβλητές θεωρείται πως είναι ανεξάρτητες και δεν επηρεάζουν η μία την άλλη σε σημαντικό βαθμό. Για το λόγο αυτό, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2) οι γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ τους, οι οποίες μετρώνται από τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Correlation Coefficient). Οι σημαντικότερες συσχετίσεις είναι αυτές μεταξύ των ταχυτήτων των δύο παικτών και το γεγονός αυτό εξηγεί σε ένα βαθμό τη συμπεριφορά του μοτοσικλετιστή, ο οποίος επιθυμεί να προσπεράσει και αναπτύσσει την ταχύτητα που χρειάζεται ανάλογα με την ταχύτητα του προπορευόμενου όχημα. Τέλος, οι συσχετίσεις μεταξύ των λανθανουσών μεταβλητών και των υπολοίπων εμφανίζονται εξ ορισμού.

	V_m	V_1	plaini2	DistanceXY	Opening	$Risk_m$	$Risk_{veh}$
V_m	1						
V_1	0.39	1					
plaini2	0.07	0.03	1				
DistanceXY	0.00	0.12	0.01	1			
Opening	0.06	0.01	0.11	-0.01	1		
$Risk_m$	0.34	0.21	0.15	-0.00	0.07	1	
$Risk_{veh}$	0.18	0.17	0.07	0.13	0.11	0.39	1

Πίνακας 4.2: Πίνακας Συσχετίσεων

Το δείγμα αποτελείται από 850 περιπτώσεις και στις 526 από αυτές, δηλαδή περίπου στο 62% το δίκυκλο προσπέρασε επιτυχώς το προπορευόμενο όχημα. Το γεγονός αυτό αυτό χρησιμοποιείται παρακάτω για να στηρίξει την υπόθεση ότι οι μοτοσικλετιστές προτιμούν να προσπεράσουν από το να μείνουν πίσω από το προπορευόμενο όχημα. Επίσης η ευελιξία των δικύκλων γίνεται φανερή από την υψηλότερη μέση ταχύτητά τους.

Όσον αφορά τους οδηγούς των οχημάτων που προσπερνούνται, αξίζει να σημειωθεί πως με μία πρώτη ματιά στα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης φαίνεται

πως συνεργάζονται κατά την προσπέραση. Η πρόταση αυτή επιβεβαιώνεται σε ένα βαθμό από το γεγονός ότι περίπου στο 65% των περιπτώσεων η μεταβλητή Opening είναι μεγαλύτερη των 12 μέτρων, απόσταση που όπως συστήνεται από τη βιβλιογραφία αποτελεί ικανοποιητικό όριο από την πλευρά της ασφάλειας και της άνεσης για τον μοτοσικλετιστή. Σημειώνεται ότι οι παραπάνω βασικές στατιστικές παράμετροι που αναφέρονται στην μεταβλητή Opening υπολογίζονται από το δείγμα, αφού αφαιρεθούν οι παρατηρήσεις στις οποίες η απόσταση αυτή είναι πολύ μεγάλη (>90m).

4.2.2.1 Προσαρμογή Στατιστικών Κατανομών

Η ταχύτητα του μοτοσικλετιστή (V_m) περιγράφεται καλύτερα από την κατανομή Pearson 6 με παραμέτρους $\alpha_1=58.31$, $\alpha_2=33.56$, $\beta=35.8$, $\gamma=17.52$. Η παραπάνω υπόθεση υποστηρίζεται από το τεστ χ^2 το οποίο κατατάσσει την κατανομή Pearson ως καταλληλότερη. Η μορφή της κατανομής πλησιάζει την κανονική, με μετατοπισμένο μέσο όρο προς τα αριστερά και παχιά ουρά στις μεγάλες ταχύτητες. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι υπάρχουν πολλοί αναβάτες που αναπτύσσουν ταχύτητες αρκετά μεγαλύτερες από το μέσο όρο.

Η κατανομή Log-Logistic (3P) με παραμέτρους $\alpha=14.43$, $\beta=89.49$ και $\gamma=-23.88$ αναπαριστά καλύτερα την διασπορά της μεταβλητής V_1 , χρησιμοποιώντας ως κριτήριο τον έλεγχο υποθέσεων Anderson Darling. Όμοια με την ταχύτητα του μοτοσικλετιστή, παρατηρούνται αρκετές ακραίες τιμές, κυρίως στις μεγάλες ταχύτητες.

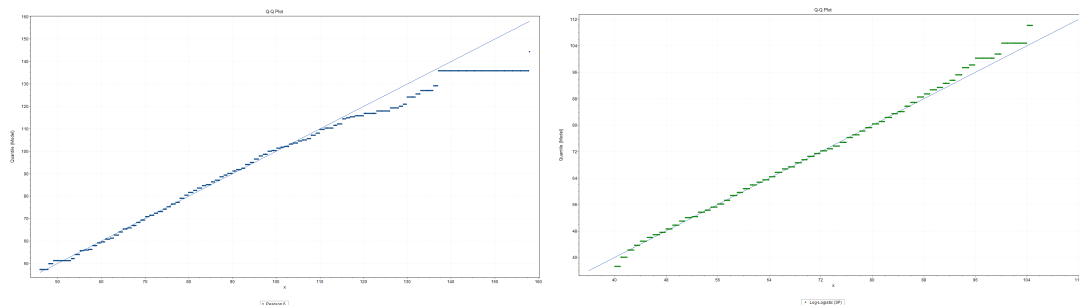
Η απόσταση DistanceXY, η οποία φανερώνει την πίεση που ασκεί ο αναβάτης του δίκυκλου στο προπορευόμενο όχημα, ακολουθεί την κατανομή Generalized Pareto με παραμέτρους $k=-0.25$, $\sigma=5.8$ και $\mu=2.2$. Οι παρατηρήσεις είναι συγκεντρωμένες κοντά στο μηδέν, ενώ το 80% αυτών είναι μικρότερες των 10 μέτρων. Φαίνεται λοιπόν ότι ο μοτοσικλετιστής ακολουθεί στενά το όχημα μέχρι να αποφασίσει ποια είναι η κατάλληλη στιγμή ώστε να "άνοιχτεί" και να το προσπεράσει. Η κατανομή επιλέχθηκε ύστερα από την εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου υποθέσεων Kolmogorov Smirnov.

Από την άλλη πλευρά, η μεταβλητή Opening που κατά βάση αναδεικνύει το βαθμό συνεργατικότητας του Player 2, εκφράζεται από την κατανομή Beta με παραμέτρους $\alpha_1=0.70$, $\alpha_2=3.1$, $a=1.1$, $b=102.57$. Για την εύρεση της κατανομής αφαιρέθηκαν από το δείγμα οι παρατηρήσεις με τιμή μηδέν οι οποίες δείχνουν ότι δεν υπήρχε όχημα 3 και άρα η απόσταση αυτή είναι άπειρη. Η κατανομή Beta επιλέχθηκε χρησιμοποιώντας πάλι το κριτήριο Kolmogorov Smirnov στο οποίο γίνεται η υπόθεση ότι η μεταβλητή ακολουθεί την κατανομή αυτή με εναλλακτική να μη την ακολουθεί.

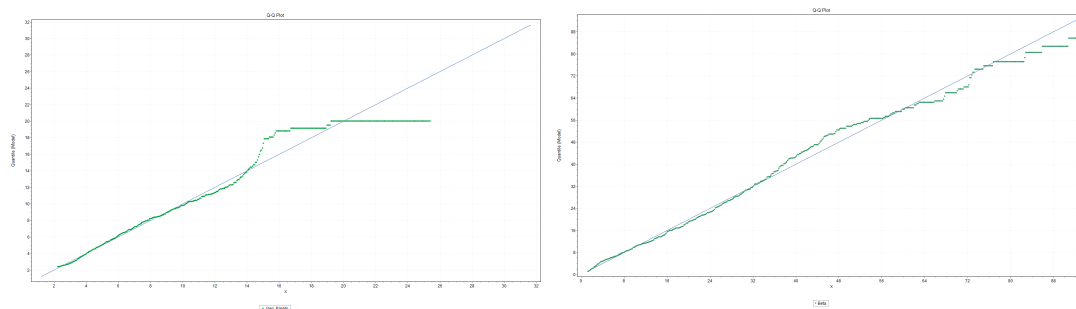
Τέλος, η μεταβλητή plaini2 που χρησιμοποιείται και αυτή σαν κριτήριο συνεργασίας για τον Player 2, φαίνεται να ακολουθεί την κατανομή Wakeby ($\alpha=39.98$, $\beta=12.98$, $\gamma=0.57$, $\delta=-0.013$, $\xi=0.0685$). Η παραπάνω υπόθεση υποστηρίζεται και από τους τρεις στατιστικούς ελέγχους (Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling, Chi-Squared).

Στα παρακάτω σχήματα (4.8, 4.9, 4.10) παρουσιάζονται τα γραφήματα Q-Q (Q-Q plots), τα οποία αποτελούν γραφική μέθοδο για τη σύγκριση δύο κατανομών και στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση ενός συνόλου πραγματι-

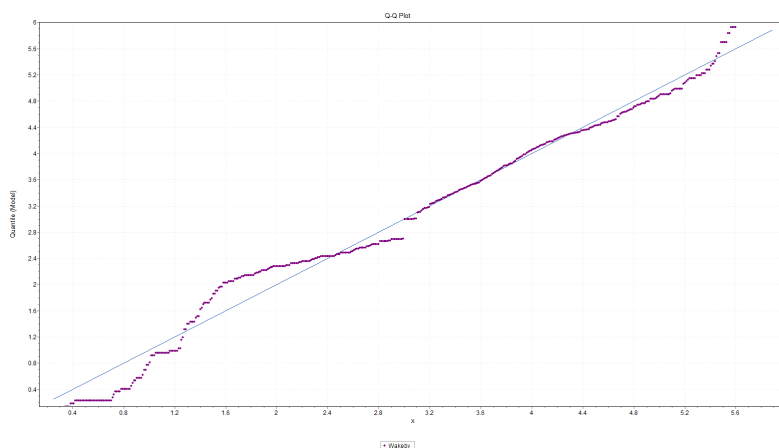
κών δεδομένων με το θεωρητικό μοντέλο που επιλέγεται για να τα περιγράψει. Στον οριζόντιο άξονα εμφανίζεται η αθροιστική συχνότητα της κάθε μεταβλητής από το δείγμα, ενώ στον κατακόρυφο η αντίστοιχη αθροιστική συχνότητα που προκύπτει από τη θεωρητική κατανομή που ακολουθεί η αντίστοιχη μεταβλητή. Όσο πιο “κοντά” στην ευθεία βρίσκονται τα σημεία, τόσο πιο καλά περιγράφει η κατανομή τα δεδομένα.



Σχήμα 4.10: QQ Plots Vm & V1



Σχήμα 4.11: QQ Plots DistanceXY & Opening



Σχήμα 4.12: QQ Plot plaini2

4.3 Υπολογισμός Απολαβών

Όλα τα παίγνια που προτάθηκαν στο Κεφάλαιο 3 αποτελούνται από δύο (2) παίχτες οι οποίοι έχουν στη διάθεσή τους δύο (2) στρατηγικές ο καθένας. Τα παίγνια δηλαδή είναι διάστασης 2x2 και σαν έκβαση έχουν τέσσερις πιθανές καταστάσεις, ανάλογα με τις στρατηγικές που επιλέγουν οι παίχτες. Οι απολαβές των παικτών υπολογίζονται ως εξής. Για κάθε πιθανή έκβαση-κατάσταση από τις τέσσερις, υπολογίζονται οι μέσες απολαβές των παικτών. Πιο συγκεκριμένα, το σύνολο των 850 παρατηρήσεων χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με τις στρατηγικές των παικτών (πχ. C/C , C/NC, NC/NC, NC/C) και για κάθε μία υπολογίζονται οι μέσες απολαβές των παικτών από τις παρατηρήσεις του δείγματος που ανήκουν στην αντίστοιχη κατάσταση, ανάλογα με τις συναρτήσεις απολαβών που έχουν επιλεγεί σε κάθε παίγνιο.

Ορίζεται η απολαβή του παίκτη i στην κατάσταση j ως:

$$u_{i,j} = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k u_{i,j}(n)$$

όπου k ο αριθμός των παρατηρήσεων που ανήκουν στην κατάσταση j

Για την παραπάνω διαδικασία κατασκευάστηκε αλγόριθμος στο περιβάλλον της R, ο οποίος δέχεται ως δεδομένο εισόδου τις στρατηγικές και τις συναρτήσεις απολαβών των δύο παικτών και δίνει ως αποτέλεσμα τον πίνακα απολαβών του παιγνίου, την γεωμετρία των απολαβών, καθώς και κάποια στατιστικά δεδομένα, όπως το ποσοστό επιτυχίας των προσπεράσεων και τον αριθμό των παρατηρήσεων που ανήκουν στην κάθε πιθανή κατάσταση.

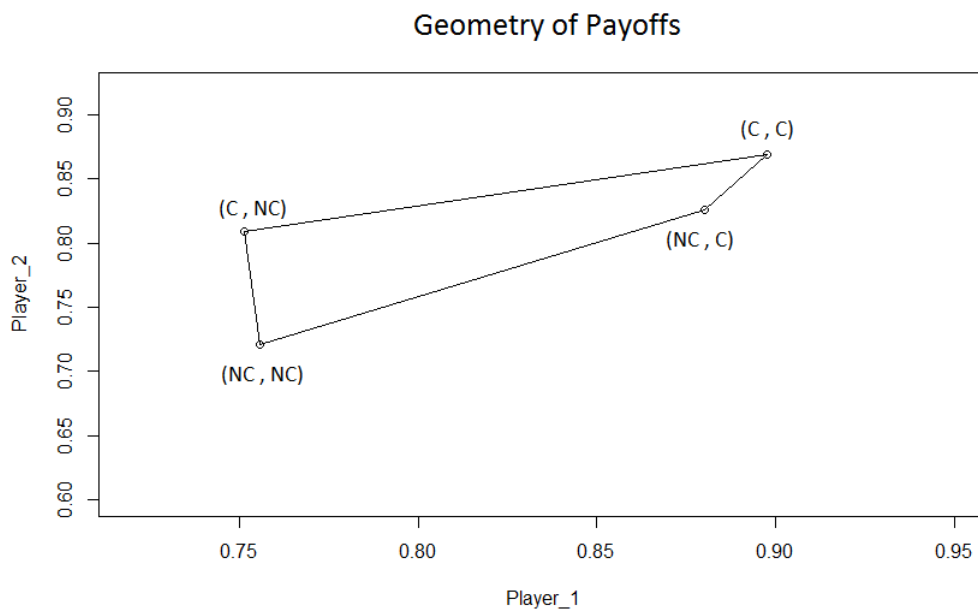
4.3.1 Αποτελέσματα Πρώτου Παιγνίου

Στην πρώτη περίπτωση, εξετάζεται η συνεργασία των παικτών, η οποία εκφράζεται από τη μεταβλητή $DistanceXY$ για τον Player 1 και από τις $Opening$, $plaini2$ για τον Player 2, σύμφωνα με τα όρια που ορίστηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Στον Πίνακα 4.3 φαίνεται ο πίνακας απολαβών του παιγνίου όπως προέκυψε από το δείγμα. Για παράδειγμα, ο μέσος όρος του αθροίσματος της κανονικοποιημένης ταχύτητας (V_m^*) και της άνεσης ($Risk_m$) στην περίπτωση που και οι δύο παίχτες συνεργάστηκαν $\{C, C\} = (DistanceXY \geq 5m, Opening \geq 12m \text{ ή } Opening = 0 \text{ και } plaini2 \geq 3.5m)$ είναι 0.90 και αποτελεί την απολαβή του μοτοσικλητιστή.

		Player 2	
		C	NC
Player 1	C	0.90 0.87	0.75 0.81
	NC	0.88 0.83	0.76 0.72

Πίνακας 4.3: Πίνακας Απολαβών Πρώτου Παιγνίου

Το παραπάνω παίγνιο έχει μοναδική ισορροπία Nash και αυτή αποτελείται από το σύνολο στρατηγικών $A = \{C, C\}$. Η λύση αυτή βρίσκεται με τη διαδικασία επαναλαμβανόμενης απαλοιφής κυριαρχούμενων στρατηγικών. Είναι φανερό από τον παραπάνω πίνακα απολαβών ότι η στρατηγική NC για του παίκτη 2 είναι κυριαρχούμενη. Ανεξαρτήτως του τι επιλέγει ο παίκτης 1, ο παίκτης 2 δεν έχει κέρδος αν μετακινήθει από την C και άρα επιλέγει πάντα την κυρίαρχη στρατηγική να συνεργαστεί. Το γεγονός αυτό είναι γνωστό στον οδηγό του δικύκλου και αφού αποφασίζει ορθολογικά, αυτός επιλέγει επίσης να συνεργαστεί, διαλέγει δηλαδή τη στρατηγική Cooperative. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στο σύνολο των στρατηγικών που αποτελεί το Nash Equilibrium. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.8) απεικονίζεται η γεωμετρία των απολαβών.



Σχήμα 4.13: Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 1

Από το σχήμα προκύπτει επίσης ότι η ισορροπία Nash αποτελεί και το βέλτιστο σύνολο στρατηγικών (Pareto Efficient). Αυτό σημαίνει ότι και για τους δύο παίκτες η μέγιστη απολαβή που μπορούν να πάρουν ανήκει στην Ισορροπία Nash. Το παραπάνω γίνεται αντιληπτό γραφικά διότι η Ισορροπία Nash του παιγνίου βρίσκεται στο “Βόρειο-Ανατολικότερο” μέρος του γραφήματος. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.4) εμφανίζεται ο αριθμός των παρατηρήσεων για κάθε σύνολο στρατηγικών και τα αντίστοιχα ποσοστά επιτυχίας της προσπέρασης ανάλογα με τις επιλογές των παικτών.

Σύνολα Στρατηγικών	Αριθμός Παρατηρήσεων	% επί του συνόλου των παρατηρήσεων	Ποσοστό επιτυχίας προσπέρασης (Over=1)
C / C	292	34 %	59 %
C / NC	210	25 %	41 %
NC / NC	158	19 %	74 %
NC / C	190	22 %	79 %

Πίνακας 4.4: Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 1

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι παίκτες προτιμούν να συνεργαστούν και τελικά το κάνουν σε μεγάλο βαθμό. Οι περιπτώσεις στις οποίες δε συνεργάστηκε κανείς από τους δύο παίκτες αποτελούν ποσοστό μικρότερο του 20% των παρατηρήσεων, ενώ το ποσοστό των περιπτώσεων που συνεργάστηκαν και οι δύο αγγίζει το 35%. Ο οδηγός του δικύκλου συνεργάζεται στο 59 % των περιπτώσεων, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τον οδηγό του προπορευόμενου οχήματος είναι περίπου 57 %.

Αξιοσημείωτο επίσης, είναι το γεγονός ότι τα ποσοστά επιτυχίας της προσπέρασης είναι εμφανώς υψηλότερα όταν ο μοτοσυκλετιστής δε συνεργάζεται (76.5 % έναντι 50 % όταν συνεργάζεται). Φαίνεται δηλαδή ότι η πιο επιθετική οδήγηση από την πλευρά του οδηγού του δικύκλου, είναι και πιο αποδοτική από την άποψη της προσπέρασης. Πιθανή εξήγηση στην παραπάνω παρατήρηση ίσως αποτελεί το γεγονός ότι όταν ο αναβάτης της μοτοσυκλέτας που δε συνεργάζεται βρίσκεται κοντά στο όχημα 1, το πιέζει και άρα είναι έτοιμος να προσπεράσει τη στιγμή που θα δωθεί ευκαιρία χωρίς να χάσει χρόνο.

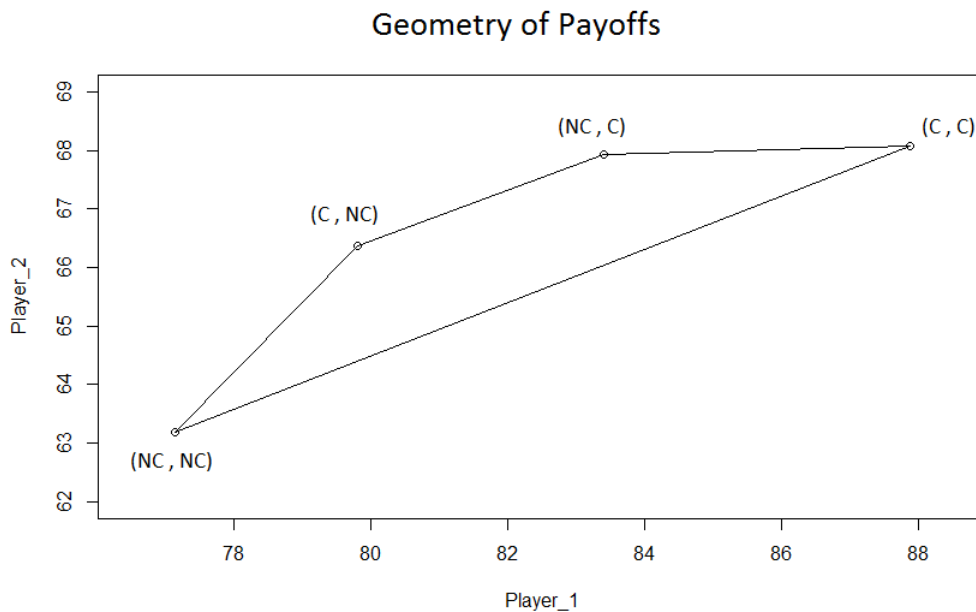
4.3.2 Αποτελέσματα Δεύτερου Παιγνίου

Στο παρόν παίγνιο εξετάζεται πάλι η συνεργασία των παικτών, η οποία όμως τώρα μετράται από το ρίσκο-άνεση που αντιμετωπίζει κάθε παίκτης και αποφασίζεται από τον συμπαίκτη του. Όπως έχει προαναφερθεί, η μεταβλητή $Risk_m$ φανερώνει την άνεση του μοτοσυκλετιστή και άρα καθορίζει το κατά πόσο ο Player 2 συνεργάζεται. Αντίστοιχα, η μεταβλητή $Risk_{veh}$ καθορίζει τη συνεργασιμότητα του μοτοσυκλετιστή. Τα όρια και η επιλογή τους αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3. Ο Πίνακας 4.5 αποτελεί τον τελικό πίνακα απολαβών των παικτών, όπως αυτός υπολογίστηκε από τον αλγόριθμο.

		Player 2	
		C	NC
Player 1	C	87.9 68.1	79.8 66.4
	NC	83.4 67.9	77.1 63.2

Πίνακας 4.5: Πίνακας Απολαβών Δεύτερου Παιγνίου

Όμοια με το προηγούμενο, και το δεύτερο παίγνιο έχει μοναδική Ισορροπία Nash η οποία είναι το σύνολο στρατηγικών $A = \{C, C\}$. Η Ισορροπία βρίσκεται πάλι με την ίδια διαδικασία, την επαναλαμβανόμενη απλοϊκή κυριαρχούμενων στρατηγικών. Στο δεύτερο παίγνιο που εξετάζεται παρατηρείται ότι και για τους δύο παίκτες η στρατηγική NC είναι αυστηρώς κυριαρχούμενη και οπότε η εναπομείνουσα στρατηγική Cooperate είναι αυστηρά κυρίαρχη και άρα επιλέγεται και από τους δύο. Επίσης, η λύση της ισορροπίας Nash αποτελεί πάλι βέλτιστο σύνολο στρατηγικών και για τους δύο παίκτες (Pareto Efficient). Στον Σχήμα 4.9 φαίνονται γραφικά οι στρατηγικές και οι απολαβές των παικτών, ενώ στον πίνακα 4.6 τα βασικά στατιστικά του παιγνίου.



Σχήμα 4.14: Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 2

Σύνολα Στρατηγικών	Αριθμός Παρατηρήσεων	% επί του συνόλου των παρατηρήσεων	Ποσοστό επιτυχίας προσπέρασης (Over=1)
C / C	270	32 %	69 %
C / NC	169	20 %	49 %
NC / NC	251	29 %	59 %
NC / C	160	19 %	69 %

Πίνακας 4.6: Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 2

Παρότι οι μεταβλητές που ορίζουν τις στρατηγικές των παικτών, αλλά και οι ίδιες οι συναρτήσεις απολαβών, άλλαξαν, τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι πλησιάζουν

αυτά του πρώτου παιγνίου και η Ισοροπία Nash αποτελείται από το ίδιο σύνολο στρατηγικών.

Στο 32 % των περιπτώσεων και οι δύο παίκτες συνεργάζονται, ενώ σε ένα ποσοστό της τάξης του 30 % δε συνεργάζεται κανείς από τους δύο. Ο μοτοσικλετιστής συνεργάζεται στο 52 % των περιπτώσεων, ενώ ο οδηγός του οχήματος στο 51 %. Τα ποσοστά αυτά κυμαίνονται στο 50 % λόγω της επιλογής του ορίου 0.5 στις λανθάνουσες μεταβλητές που ορίζουν το ρίσκο. Τέλος, στο παρόν παίγνιο φαίνεται πως την επιτυχία της προσπάθειας επηρεάζει περισσότερο ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος, αφού όταν αυτός συνεργάζεται η προσπάθεια πετυχαίνει με ποσοστό 69 %, ενώ αντίθετα πέφτει στο 54 % όταν αυτός επιλέγει να μην είναι συνεργάσιμος.

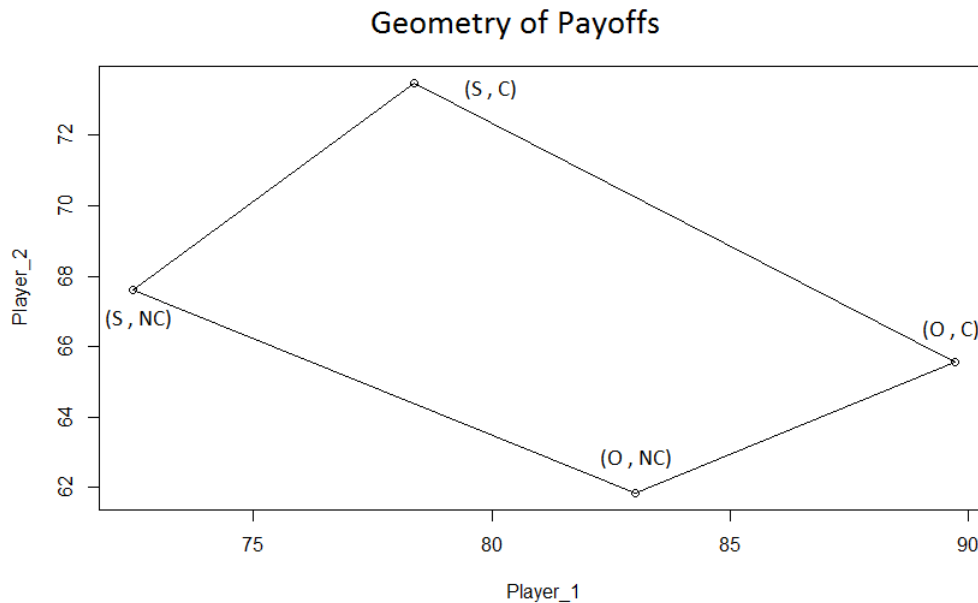
4.3.3 Αποτελέσματα Τρίτου Παιγνίου

Το τρίτο παίγνιο διαφοροποιείται από τα προηγούμενα λόγω της αλλαγής των στρατηγικών του μοτοσικλετιστή. Ο Player 1 λοιπόν αποφασίζει αν θα προσπεράσει ή όχι, ενώ ο οδηγός του οχήματος επιλέγει αν θα είναι συνεργατικός. Η συνεργατικότητα για τον Player 2 κρίνεται από τη μεταβλητή $Risk_m$ όπως στο δεύτερο παίγνιο, ενώ την πραγματοποίηση της προσπάθειας καταγράφει η μεταβλητή Over. Ο πίνακας απολαβών του παιγνίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Πίνακας 4.7).

		Player 2	
		C	NC
Player 1	O	89.7 65.6	83 61.8
	S	78.4 73.5	72.5 67.6

Πίνακας 4.7: Πίνακας Απολαβών Τρίτου Παιγνίου

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, η Ισοροπία Nash εντοπίζεται στο σύνολο στρατηγικών (O , C), δηλαδή ο μοτοσικλετιστής επιλέγει να προσπεράσει και ο οδηγός του οχήματος 1 συνεργάζεται. Η στρατηγική Overtake είναι αυστηρά κυρίαρχη για τον οδηγό του δικύκλου και άρα την επιλέγει πάντα. Αντίστοιχα, η στρατηγική Cooperate είναι αυστηρά κυρίαρχη έναντι της Non-Cooperate και επιλέγεται πάντα από τον οδηγό του οχήματος. Η γεωμετρία των πληρωμών απεικονίζεται στο Σχήμα 4.10, ενώ στον Πίνακα 4.8 φαίνεται η κατανομή των παρατηρήσεων στα διάφορα σύνολα στρατηγικών των παικτών.



Σχήμα 4.15: Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 3

Σύνολα Στρατηγικών	Αριθμός Παρατηρήσεων	% επί του συνόλου των παρατηρήσεων	Ποσοστό επιτυχίας προσπέρασης (Over=1)
O / C	297	35 %	100 %
O / NC	229	27 %	100 %
S / NC	191	22 %	0 %
S / C	133	16 %	0 %

Πίνακας 4.8: Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 3

Από τα δεδομένα του πίνακα φαίνεται, όπως έχει αναφερθεί και κατά τη στατιστική ανάλυση, ότι στο 62 % των περιπτώσεων ο μοτοοικιστής εκτελεί την προσπέραση. Ακόμα, περίπου το 51 % των οδηγών συνεργάζεται κατά τη διάρκεια της. Παρατηρείται πως παρόλο που η λύση Nash συμφέρει και τους δύο παίκτες, αυτή επιλέγεται στο 35 % των περιπτώσεων. Πιθανές εξηγήσεις για αυτή την παρατήρηση δίνονται στη συνέχεια στα συμπεράσματα.

4.3.4 Αποτελέσματα Τέταρτου Παιγνίου

Στο τελευταίο παίγνιο, όπως και στο προηγούμενο, ο δικυκλιστής πρέπει να αποφασίσει αν θα πραγματοποιήσει την προσπέραση ή όχι και άρα αυτές είναι οι στρατηγικές τους. Από την άλλη πλευρά, ο παίκτης 2 επιλέγει αν θα είναι συνεργάσιμος με τις μεταβλητές Opening και plaini2 να φανερώνουν την απόφασή του στις παρατηρήσεις του δείγματος. Η συνάρτηση απολαβών είναι κοινή, και είναι το άθροισμα της κανονικοποιημένης ταχύτητας του καθενός με την αντίστοιχη άνεση που αντιμετωπίζει κατά τη διάρκεια του ελιγμού της προσπέρασης. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου

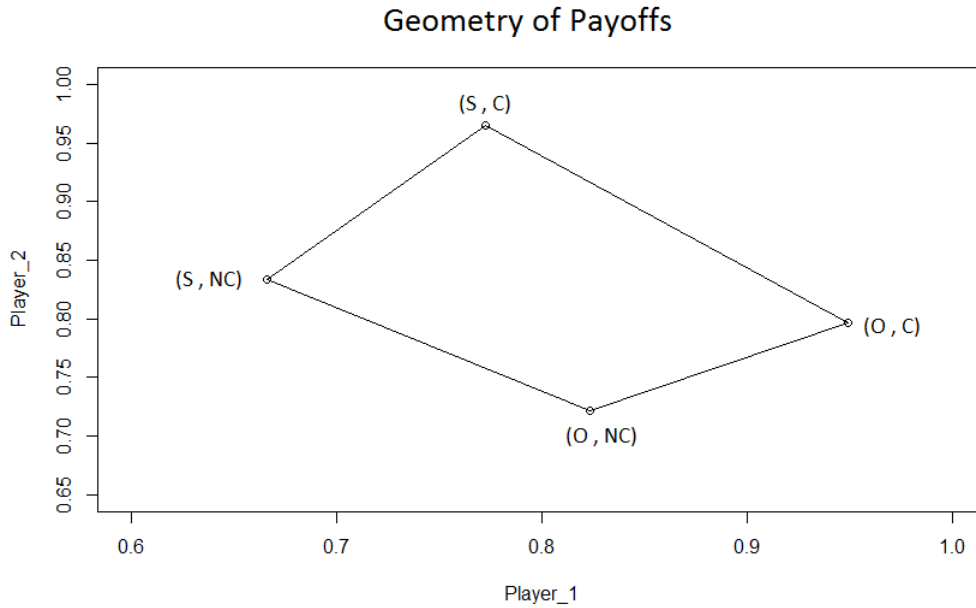
για το συγκεκριμένο παίγνιο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα απολαβών (Πίνακας 4.9).

		Player 2	
		C	NC
Player 1	O	0.95	0.82
	S	0.77	0.67
		0.80	0.72
		0.97	0.83

Πίνακας 4.9: Πίνακας Απολαβών Τέταρτου Παίγνιου

Όπως και στα προηγούμενα παίγνια, η Ισορροπία Nash εμφανίζεται στο ίδιο σύνολο στρατηγικών (O , C), δηλαδή το μοντέλο αποφαίνεται πως η βέλτιστη κατάσταση και για τους δύο, από την οποία κανείς δε θα αποκλείνει, είναι αυτή στην οποία ο μοτοσικλετιστής προσπερνά και ο οδηγός του οχήματος συνεργάζεται για να πραγματοποιηθεί ο ελιγμός. Για να φτάσουμε στην Ισορροπία απαλοίφονται οι στρατηγικές Stay και Not-Cooperate, οι οποίες αποτελούν αυστηρά κυριαρχούμενες στρατηγικές για τους παίκτες αντίστοιχα.

Στο συγκεκριμένο παίγνιο φαίνεται πως οι απολαβές του οδηγού του οχήματος είναι εμφανώς υψηλότερες όταν ο δικυκλιστής δεν προσπερνά (0.97 έναντι 0.80 και 0.83 έναντι 0.72). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το ρίσκο επηρεάζει άμεσα τη συνάρτηση απολαβών του και άρα ο οδηγός του οχήματος βρίσκεται σε πιο επικίνδυνη κατάσταση όταν προσπερνάται και αυτό αποτυπώνεται στο μοντέλο. Επιπρόσθετα, και από αυτό το παίγνιο αποδεικνύεται πως ο Player 1 προτιμά εμφανώς να προσπεράσει και οι λόγοι είναι αυτοί που έχουν αναφερθεί νωρίτερα. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 4.11 , Πίνακας 4.10) παρουσιάζονται η γεωμετρία των απολαβών, καθώς και βασικά στατιστικά στοιχεία που αφορούν το παίγνιο.



Σχήμα 4.16: Γεωμετρία Απολαβών - Παίγνιο 4

Σύνολα Στρατηγικών	Αριθμός Παρατηρήσεων	% επί του συνόλου των παρατηρήσεων	Ποσοστό επιτυχίας προσπέρασης (Over=1)
O / C	322	38 %	100 %
O / NC	204	24 %	100 %
S / NC	164	19 %	0 %
S / C	160	19 %	0 %

Πίνακας 4.10: Στατιστικά Στοιχεία - Παίγνιο 4

Σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν, στο παρόν μοντέλο εμφανίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό των παρατηρήσεων που τελικά ανήκαν στο σύνολο της Ισορροπίας Nash και αυτό ίσως αποτελεί ένδειξη για την καταλληλότητα του μοντέλου. Ακόμα, περίπου το 57 % των οδηγών συνεργάστηκαν σύμφωνα με τον ορισμό της συνεργασίας για το τέταρτο παίγνιο. Μπορεί τέλος να παρατηρηθεί πως οι περιπτώσεις στις οποίες δεν πραγματοποιήθηκε προσπέραση είναι μοιρασμένες σε σχέση με τις στρατηγικές C, NC του οδηγού του οχήματος 1. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο οδηγός του δικύκλου λαμβάνει υπόψη του και άλλους παράγοντες ώστε να αποφασίσει αν θα προσπεράσει, εκτός των ενδείξεων που παίρνει για την χωρική τοποθέτηση του προπορευόμενου οχήματος.

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των δύο τελευταίων μοντέλων συμπαιρένεται ότι οι προτιμήσεις των παικτών διαφέρουν από τις υποθέσεις που έγιναν στο προηγούμενο κεφάλαιο και παρουσιάζονται παρακάτω:

- Player 1: $u_1(\text{Overtake, Cooperative}) > u_1(\text{Overtake, Non-Cooperative}) > u_1(\text{Stay, Cooperative}) > u_1(\text{Stay, Non-Cooperative})$

- Player 2: $u_2(\text{Stay, Cooperative}) > u_2(\text{Stay, Non-Cooperative}) > u_2(\text{Overtake, Cooperative}) > u_2(\text{Overtake, Non-Cooperative})$

Συμπεραίνεται λοιπόν, πως για την κατάσταση που περιγράφουν τα μοντέλα 3 και 4, ο μοτοσικλετιστής προτιμά να προσπεράσει, ανεξαρτήτως του αν ο “συμπαίκτης” του θα συνεργαστεί. Επίσης στην περίπτωση που δε προσπερνά, προτιμά τη συνεργασία του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος, ίσως γιατί βρίσκεται σε ετοιμότητα να προσπεράσει και είναι σίγουρα καλύτερο να έχει “έτοιμη” τη συνεργασία του άλλου.

Όσον αφορά στον Player 2, προτιμά να μην προσπεραστεί, ενώ αν η προσπέραση τελικά πραγματοποιηθεί προτιμά να συνεργαστεί, ίσως για λόγους ασφαλείας και αποστροφής προς τον κίνδυνο.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και Προτάσεις

5.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση του ελιγμού της προσπέρασης, όταν σε αυτή εμπλέκονται δίκυκλα, με τη χρήση της θεωρίας παιγνίων. Παρουσιάστηκαν τέσσερις διαφορετικές δομές παιγνίων που στόχο έχουν, μέσω των επιλεγμένων στρατηγικών και απολαβών, να συλλάβουν τις προτιμήσεις των οδηγών και να εξηγήσουν τις επιλογές τους χρησιμοποιώντας δεδομένα από πραγματικές προσπεράσεις.

Το φαινόμενο της προσπέρασης από δίκυκλο διαφέρει σημαντικά από τα υπόλοιπα, συνήθη είδη προσπέρασης, στα οποία συμμετέχουν Ι.Χ, φορτηγά, λεωφορεία κλπ. Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στο γεγονός ότι τα δίκυκλα διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά τον όγκο τους και κυρίως το πλάτος τους με τα υπόλοιπα οχήματα. Για το λόγο αυτό ακολουθούν πολύπλοκες πορείες οι οποίες δεν είναι πάντα παράλληλες προς τις διαγραμμίσεις της οδού και δεν κινούνται αυστηρά μέσα στα όρια των λωρίδων, οι οποίες είναι διαμορφωμένες για οχήματα μεγαλύτερου πλάτους.

Λόγω των παραπάνω, επιχειρείται η κατά κάποιο τρόπο απλοποίηση των τροχιών και η ανάλυση του φαινομένου από μία διαφορετική σκοπιά. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τη θεωρία παιγνίων και σε συνδυασμό με την ποσοτικοποίηση των ποιοτικών στρατηγικών των παικτών μέσω της βάσης δεδομένων, μοντελοποιείται το ο ελιγμός της προσπέρασης οδηγώντας στη βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου και των προτιμήσεων των οδηγών.

5.2 Μεθοδολογία και Συμπεράσματα Ανάλυσης

Η διερεύνηση του ελιγμού της προσπέρασης βασίστηκε σε πραγματικές μετρήσεις που είχαν συλλεχθεί για προηγούμενες διπλωματικές εργασίες με τη χρήση βίντεο. Η βάση δεδομένων που προέκυψε από τη συλλογή των μετρήσεων επεξεργάστηκε και με την κατασκευή και χρήση αλγορίθμου υπολογίστηκαν οι απολαβές των παικτών για κάθε παίγνιο και ανάλογα με τις διαφορετικές αρχικές υποθέσεις για τις στρατηγικές και τις προτιμήσεις τους.

Στο πρώτο παίγνιο, οι επιλογές που έχουν οι παίκτες τη στιγμή που αρχίζει η προσπάθεια είναι η συνεργασία ή μη και αυτές απεικονίζονται στις χωρικές αποστάσεις που αφήνουν. Οι απολαβές τους μετρώνται από το άθροισμα της ταχύτητας και της άνεσης κατά την προσπάθεια. Δεδομένων των παραπάνω, η Ισορροπία Nash του παιγνίου εντοπίζεται στο σύνολο στρατηγικών στο οποίο συνεργάζονται και οι δύο. Κατ' αρχάς σύμφωνα με τα αποτελέσματα αποδεικνύεται πως είναι προτιμότερο και για τους δύο παίκτες να συνεργαστούν, καθώς σε αυτή την περίπτωση μεγιστοποιούνται οι απολαβές τους. Στο δείγμα που χρησιμοποιήθηκε, περίπου στο 34 % των περιπτώσεων εμφανίστηκε το σύνολο στρατηγικών που ορίζει την Ισορροπία Nash, ενώ στο 78 % συνεργάστηκε τουλάχιστον ένας παίκτης. Φαίνεται λοιπόν ότι σε αρκετές προσπεράσεις οι συμμετέχοντες δεν είναι συγχρονισμένοι.

Η απόφαση του μοτοσικλετιστή να μη συνεργαστεί, παρόλο που αυτή η στρατηγική δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα σύμφωνα με το μοντέλο, εξηγείται από την μεγαλύτερη επιθυμία του για προσπάθεια, η οποία δεν καταγράφεται άμεσα στις απολαβές του στο συγκεκριμένο παίγνιο. Για το λόγο αυτό πιέζει το προπορευόμενο όχημα ώστε να βρει την κατάλληλη στιγμή και να προσπεράσει. Αυτό αποτυπώνεται και στα ποσοστά επιτυχίας της προσπάθειας, αφού όταν ο δικυκλιστής δεν συνεργάζεται αυτά κυμαίνονται στο 76.5 % , ενώ τα αντίστοιχα στις καταστάσεις που συνεργάζεται είναι 50%. Από την πλευρά του οδηγού του οχήματος, η απόκλιση του από την επιλογή της βέλτιστης στρατηγικής συνεργασίας μπορεί να εξηγηθεί σε ένα βαθμό από την άγνοιά του για την επικείμενη προσπάθεια, καθώς πολλές φορές δεν προλαβαίνει να δει τον μοτοσικλετιστή και να χειριστεί κατάλληλα το όχημά του. Γενικά συμπεραίνεται ότι οι οδηγοί έχουν σημαντικό όφελος από τη συνεργασία.

Στο δεύτερο παίγνιο, οι επιλογές των παικτών ταυτίζονται με αυτές του πρώτου, αλλά παρατηρούνται από άλλες μεταβλητές ($Risk_m, Risk_{veh}$), ενώ οι απολαβές τους θεωρείται ότι εκφράζονται από τις ταχύτητές τους. Όμοια με το πρώτο μοντέλο, η Ισορροπία Nash εντοπίζεται στην κατάσταση που και οι δύο παίκτες συνεργάζονται, ενώ και για τους δύο η μεγαλύτερη απολαβή εμφανίζεται σε αυτό το σύνολο στρατηγικών. Στην περίπτωση αυτή, η επιτυχία της προσπάθειας φαίνεται να εξαρτάται περισσότερο από τον οδηγό του οχήματος που προσπερνάει και όταν αυτός δεν αφήνει το απαιτούμενο άνοιγμα, οι ταχύτητες για τον μοτοσικλετιστή είναι αρκετά χαμηλότερες. Πάλι αξίζει να σημειωθεί το σημαντικό όφελος που έχουν οι παίκτες αν συνεργαστούν.

Στο τρίτο μοντέλο, οι στρατηγικές του Player 1 αλλάζουν και παίρνουν τη μορφή επιλογής για το κατά πόσο θα προσπεράσει το όχημα που κινείται μπροστά του, ενώ ο Player 2 επιλέγει πάλι αν θα συνεργαστεί με τη μεταβλητή $Risk_m$ να αντανακλά την επιλογή του. Με τις ταχύτητες να καθορίζουν τις απολαβές των παικτών, η ισορροπία Nash του τρίτου παιγνίου εμφανίζεται στο σύνολο (Overtake, Cooperate). Οπότε η βέλτιστη επιλογή για τους συμμετέχοντες στην προσπάθεια είναι η συνεργασία του οχήματος και η προσπάθειά του από τη μοτοσικλέτα. Ειδικά για τον οδηγό του δικύκλου, οι απολαβές του είναι πολύ μεγαλύτερες όταν προσπερνά με τη συνεργασία του οδηγού από κάθε άλλη κατάσταση.

Τελος, το τέταρτο παίγνιο που αναλύθηκε έχει τη δομή του προηγούμενου αναφορικά με τις στρατηγικές που έχουν στη διάθεσή τους οι παίκτες, ενώ στις απολαβές

τους προστίθεται και το ρίσκο που αντιμετωπίζουν κατά τη διάρκεια του ελιγμού. Τα αποτελέσματα ακολουθούν την ίδια λογική με τα προηγούμενα, δηλαδή η ισορροπία Nash ταυτίζεται με την περίπτωση που ο Player 1 αποφασίζει να προσπεράσει και ο Player 2 συνεργάζεται με τον τρόπο που ορίζουν οι υποθέσεις του μοντέλου.

Συνολικά από τα μοντέλα που ερευνηθήκαν βγαίνει το συμπέρασμα πως οι οδηγοί των οχημάτων που συμμετέχουν στον ελιγμό της προσπέρασης συνεργάζονται σε μεγάλο βαθμό, με όποιον τρόπο και αν δοκιμάστηκε η μέτρηση της συνεργασίας. Πέρα όμως από την εμφάνιση της συνεργασίας, αξίζει να σημειωθεί πως αυτή είναι και η καλύτερη επιλογή για τους οδηγούς σε κάθε περίπτωση και με τις διάφορες υποθέσεις που έγιναν για τη μέτρηση των απολαβών των παικτών. Άλλα ευρήματα αποτελούν τη διαπίστωση της επιθυμίας του μοτοσικλετιστή να προσπεράσει, ακόμα και αν χρειαστεί να γίνει πιο επιθετικός ώστε να το πετύχει, καθώς και η σημαντική επιρροή του ρίσκου το οποίο επηρεάζει τις αποφάσεις και τις προτιμήσεις των παικτών όταν περιλαμβάνεται στον υπολογισμό των απολαβών τους.

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Αρχικά, για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε βάση δεδομένων στην οποία οι μετρήσεις αφορούν τη στιγμή που ξεκινά η προσπέραση. Δηλαδή οι διάφορες μεταβλητές που ορίζουν κυρίως τη συνεργατικότητα μετρούνται στην αρχή και καθορίζουν τη συνέχεια των παιγνίων. Τα μοντέλα θα μπορούσαν να επεκταθούν με τη συλλογή νέων μετρήσεων πιο δυναμικού χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στη συνεργασία των παικτών, αυτή μπορεί να παρατηρηθεί καλύτερα κατά τη διάρκεια της προσπέρασης μετρώντας τις μεταβολές χωρικών μεταβλητών. Για παράδειγμα, αντί της μέτρησης της μεταβλητής Opening στην αρχή, θα μπορούσε να μετρηθεί η διαφορά ($d [\text{Opening}]$) από την αρχή μέχρι το τέλος της προσπέρασης, γεγονός που θα οδηγούσε στην καλύτερη αναπαράσταση του ελιγμού ως δυναμικό φαινόμενο στο οποίο οι αποφάσεις των παικτών συνειδητοποιούνται κατά τη διάρκειά του. Με την ίδια λογική θα μπορούσαν να μετρηθούν και άλλες μεταβλητές του φαινομένου. Παράλληλα, με τη διεξαγωγή νέων μετρήσεων θα μπορούσαν να μετρηθούν και νέες μεταβλητές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, την ηλικία του οδηγού, το φύλο και άλλα.

Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η επέκταση της έρευνας και της μοντελοποίησης σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις οδών. Θα μπορούσε να προχωρήσει σε οδούς με μεγαλύτερο αριθμό λωρίδων, σε αυτοκινητόδρομους και σε οδούς στις οποίες δεν υπάρχει διαχωριστικό διάζωμα μεταξύ των δύο κατευθύνσεων. Ακόμα, αξίζει να ερευνηθεί η διαφορά στις αποφάσεις των παικτών, κυρίως του μοτοσικλετιστή, όταν βρίσκεται κοντά σε φωτεινό σηματοδότη ή όταν στο χώρο υπάρχουν στάσεις λεωφορείων ή ταξί και διαβάσεις πεζών. Τα ευρήματα από τις παραπάνω διαφοροποιημένες περιπτώσεις θα μπορούσαν στη συνέχεια να συγκριθούν με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τους παράγοντες που επηρεάζουν τις αποφάσεις των παικτών.

Παρόλο που το συγκεκριμένο θέμα εξετάζει τη μοντελοποίηση της προσπέρασης και των στρατηγικών που ακολουθούνται, τα αποτελέσματα θα μπορούσαν επίσης να

χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω έρευνα στον τομέα της οδικής ασφάλειας των δικύκλων, καθώς οι μοτοσυκλέτες εμπλέκονται συχνά σε ατυχήματα, ιδιαίτερα στη χώρα μας.

Ακόμα, η αναζήτηση των κατάλληλων μεταβλητών οι οποίες ποσοτικοποιούν τις ποιοτικές αποφάσεις που παίρνουν οι παίκτες, όπως η στρατηγική τους να συνεργαστούν, χρήζει περισσότερης έρευνας. Μία τέτοια έρευνα δεν έχει αποκλειστικό στόχο τη μοντελοποίηση της προσπέρασης, αλλά και για τη βαθύτερη κατανόηση των επιλογών απέναντι στις οποίες βρίσκονται οι οδηγοί κατά τον ελιγμό αυτό.

Ένας περιορισμός της παρούσας έρευνας είναι η έλλειψη προσομοίωσης των στρατηγικών των παικτών και η διερεύνηση της σύγκλισης αυτού του τρόπου μοντελοποίησης της κυκλοφορίας με την πραγματικότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης agent based. Όσον αφορά στη χρήση της θεωρία παιγνίων, η κατάσταση που εξετάστηκε στην παρούσα διπλωματική θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί με παίγνια ατελούς πληροφόρησης ή με διαδοχικά (sequential) παίγνια, στα οποία οι παίκτες επιλέγουν στρατηγικές σε διαφορετικούς χρόνους και άρα εκείνοι που αποφασίζουν σε μετέπειτα χρονικές στιγμές έχουν περισσότερες πληροφορίες.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ένα υποθετικό κυκλοφοριακό περιβάλλον στο οποίο τα οχήματα φέρουν πληθώρα αισθητήρων και ίσως είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου φαίνεται όλο και πιο κοντά χρονικά. Τα παραπάνω μοντέλα με την κατάλληλη εξέλιξη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βοηθητικά εργαλεία για τον οδηγό, αφού εφαρμόζοντας τη θεωρία παιγνίων, τα οχήματα θα αποφάσιζαν μόνα τους τη βέλτιστη επιλογή σε κάθε κατάσταση και θα την πρότειναν στον οδηγό, ενώ λίγο αργότερα θα την εφάρμοζαν αυτόματα.

Βιβλιογραφία

- [1] Πηγή: Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Motorcycle>, 2016
- [2] Πηγή: Ελληνική Στατιστική Αρχή, <http://www.statistics.gr>, 2014
- [3] Minh C. C., Sano K. And Matsumoto S. , 2010, Maneuvers of motorcycles In queues at signalized intersections, *Journal of Advanced Transportation*, 10.1002, 1-15
- [4] Lee, T.-C., 2008, An agent-based model to simulate motorcycle behaviour in mixed traffic flow, PhD thesis, Imperial College London, UK
- [5] 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.
- [6] Geertje Hegeman, Andreas Tapani, Serge Hoogendoorn, 2009, Overtaking assistant assessment using traffic simulation, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*
- [7] Haneen Farah, Tomer Toledo, 2010, Passing behavior on two-lane highways, *Transportation Research Part F*
- [8] Samantha Jamson, Kathryn Chorlton, Oliver Carsten, 2012, Could Intelligent Speed Adaptation make overtaking unsafe?, *Accident Analysis and Prevention*
- [9] 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*
- [10] Eleni I. Vlahogianni, 2013, Survival Modeling of the Overtaking Duration in Two Lane Highways, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*
- [11] Tzu-Chang Lee, John W. Polak, Michael G.H. Bell, Marcus R. Wigan, 2011, The kinematic features of motorcycles in congested urban networks, *Accident Analysis and Prevention*
- [12] P.S. Broughton, R. Fuller, S. Stradling, M. Gormley, N. Kinnear, C. O'dolan, B. Hannigan, 2009, Conditions for speeding behaviour: A comparison of car drivers and powered two wheeled riders, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*

[13] Crundall, D., Bibby, P., & Clarke, D. , 2008, Car drivers' attitudes towards motorcyclists: A survey, *Accident Analysis & Prevention*

[14] 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*

[15] Jian-ping Meng, Shi-qiang Dai, Li-yun Dong, Jie-fang Zhang, 2007, Cellular Automaton model for mixed traffic flow with motorcycles, *Physica A*

[16] 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*

[17] Kov, M., & Yai, T. , 2010, Traffic characteristics of motorcycle-dominated urban street considering the effect of light vehicle, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*

[18] Clabaux, N., Fournier, J., & Michel, J., 2014, Powered two-wheeler drivers' crash risk associated with the use of bus lanes, *Accident Analysis & Prevention*

[19] 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*

[20] 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*

[21] 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*

[22] 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*

[23] 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*

[24] Lee, T.-C., 2007, An agent-based model to simulate motorcycle behaviour in mixed traffic flow

[25] 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*

- [26] Lee, T.-C., Polak, J. W., Bell, M. G. H., & Wigan, M. R., 2012, The kinematic features of motorcycles in congested urban networks, *Accident Analysis & Prevention*
- [27] Nguyen, L. X., & Hanaoka, S., 2013, Safety spaces for overtaking movements in motorcycle traffic flow, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*
- [28] Nguyen, L. X., Hanaoka, S., & Kawasaki, T., 2014, Traffic conflict assessment for non-lane-based movements of motorcycles under congested conditions, *IATSS Research*
- [29] Nikias, V., Vlahogianni, E. I., Lee, T.-C., & Golias, J. C., 2012, Determinants of powered two-wheelers virtual lane width in urban arterials, 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems
- [30] Barmponakis, E. N., Vlahogianni, E. I., & Golias, J. C., 2014, Investigating Powered Two-Wheelers Overtaking Behavior in Urban Arterials, *Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*
- [31] C.S.Fisk, 1984, *Game Theory And Transportation*, Transportation Research Part B: Methodological
- [32] Hideyuki Kita, 1999, A merging-giveway interaction model of cars in a merging section: a game theoretic analysis, *Transportation Research Part A*
- [33] Henry X. Liu, Wuping Xin, Zain M. Adam, Jeff X. Ban, 2007, A game theoretical approach for modeling merging and yielding behavior at freeway on-ramp section
- [34] Stefan Rass, Simone Fuchs, Kyandoghene Kyamakya, 2008, A game theoretic approach to Co-operative context-aware driving with partially random behavior, *Smart Sensing and Context*
- [35] Eugen Altendorf, Frank Flemisch, 2014, Prediction of driving behavior in cooperative guidance and control: a first game-theoretic approach
- [36] Alireza Talebpour, Hani S. Mahmassani, Samer H. Hamdar, 2015, Modeling lane-changing behavior in a connected environment: A game theory approach, *Transportation Research Part C*
- [37] 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*
- [38] Emmanouil N. Barmponakis, Eleni I. Vlahogianni, John C. Golias, 2015, A game theoretic approach to powered two wheelers overtaking phenomena

- [39] Martin J. Osborne, 2009, An Introduction to Game Theory, Oxford University Press
- [40] Charalambos D. Aliprantis, Subir K. Chakrabarti, 2011, Games and Decision Making, Oxford University Press
- [41] Martin Osborne, Ariel Rubinstein, 1994, A course in game theory. Computers & Mathematics with Applications
- [42] Akaike H. , 1974 , Information Theory and an extension of the maximum likelihood principle, 2nd International Symposium of Information Theory
- [43] Daniel Kahneman, 2011, Thinking Fast and Slow, Farrar Straus and Giroux
- [44] Lee T.-C., Polak J.W. and Bell M.G.H., 2008, Trajectory Extractor User Manual, Version 1.0
- [45] John Glen Wardrop, 1952, Some theoretical aspects of road traffic research, Road Engineering Division Meeting