

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΕ ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Ιωάννα Σπυροπούλου
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα

Γιώργος Γιαννής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ευφυή συστήματα μεταφορών αποτελούν ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο πεδίο και πολλά από αυτά αποτελούν ήδη μέρος του εξοπλισμού των οχημάτων και της οδικής υποδομής. Η λειτουργία τους κατά την οδήγηση έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της οδηγικής συμπεριφοράς, κάτι το οποίο θα πρέπει να αποτυπώνεται μέσα από τα προγράμματα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας οχημάτων που χρησιμοποιούν οι Συγκοινωνιολόγοι. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση της λειτουργίας τους και ακόμα περισσότερο της χρήσης τους από τους οδηγούς στα πρότυπα και στα προγράμματα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα ευφυή συστήματα μεταφορών που αφορούν στον οδηγό με έμφαση στα στοιχεία της οδηγικής του συμπεριφοράς που διαφοροποιούνται. Στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά μετατρέπονται σε παραμέτρους οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν σε πρότυπα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας των οχημάτων για την αποδοτικότερη προσομοίωση σεναρίων που συμπεριλαμβάνουν ευφυή συστήματα μεταφορών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πρότυπα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας αποτελούν πολύ χρήσιμο εργαλείο καθώς χρησιμοποιούνται κυρίως για την αξιολόγηση υποθετικών σεναρίων κυκλοφοριακών ρυθμίσεων, αστικού σχεδιασμού, κλπ. Τα πρότυπα προσομοίωσης βασίζονται σε πρότυπα ροής κυκλοφορίας τα οποία (και κατά συνέπεια και τα πρότυπα προσομοίωσης) δύναται να διαχωριστούν σε μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά σε σχέση με την κλίμακα με βάση την οποία εξετάζουν. Τα μικροσκοπικά εξετάζουν και προσδίδουν χαρακτηριστικά στο κάθε όχημα, τα μακροσκοπικά εξετάζουν συνολικά την κυκλοφορία ενώ τα μεσοσκοπικά αποτελούν πρότυπα μεταξύ των δύο άλλων. Συνήθως εξετάζουν την κυκλοφορία σε μακροσκοπική κλίμακα αλλά χρησιμοποιούν και διάφορες εξισώσεις μικροσκοπικού χαρακτήρα. Και τα τρία αυτά πρότυπα χρησιμοποιούνται εκτενώς και επιλέγονται με βάση τον σκοπό και τα δεδομένα της προσομοίωσης. Παραδείγματα μικροσκοπικών προτύπων κίνησης των οχημάτων αποτελούν το πρότυπο του Wiedemann (1974) στο οποίο βασίζονται τα VISSIM και PELOPS, το πρότυπο του Gipps (1981) στο οποίο βασίζονται τα πρότυπα προσομοίωσης SIGSIM (Silcock, 1993; Law and Crosta, 1999), AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) (Barcelo et al., 1998),

DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and microsimulAtion) (Liu, 2005) και SITRAS (Simulation of Intelligent TRANsport Systems) (Hidas, 1998), το Cellular Automaton model (Nagel and Schreckenberg, 1992) (με βάση το οποίο έχει δημιουργηθεί το TRANSIMS) κ.α. Μακροσκοπικά πρότυπα ροής κυκλοφορίας αποτελούν τα LWR (Lighthill and Whitham, 1955), το πρότυπο του Leutzbach (Leutzbach, 1988) και το πρότυπο του Daganzo (1994) στο οποίο βασίζεται το NETCELL. Τέλος, ένα παράδειγμα μεσοσκοπικού προτύπου αποτελεί το TRANSYT (Robertson, 1969).

Τα ευφυή συστήματα μεταφορών αποτελούν ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο πεδίο και σημαντικό πλήθος εφαρμογών τους αποτελεί πλέον μέρος του εξοπλισμού των οχημάτων και της οδικής υποδομής. Τα ευφυή συστήματα μεταφορών δύνανται να αποσκοπούν σε βελτίωση της οδικής ασφάλειας, βελτίωση των κυκλοφοριακών (και κατά συνέπεια και των περιβαλλοντικών) συνθηκών, βελτίωση της άνεσης κατά την οδήγηση και ενσωμάτωση ειδικών κατηγοριών οδηγών στο οδικό δίκτυο (Golias et al., 2002). Τα συστήματα αυτά δύνανται να αποτελούν τμήμα της οδικής υποδομής (όπως π.χ. οι Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων (PMM)), του εξοπλισμού του οχήματος (όπως συστήματα πλοήγησης). Γενικότερα, τα ευφυή συστήματα μεταφορών αφορούν σε παροχή πληροφόρησης, καθοδήγηση οχήματος - ρύθμιση οδήγησης (π.χ. συστήματα προσαρμογής της ταχύτητας του οδηγού με βάση τη θέση και την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος), αποφυγή σύγκρουσης, βελτίωση της αντίληψης του οδηγού (π.χ. συστήματα βελτίωσης της ορατότητας), βελτίωση της άνεσης κατά την οδήγηση (π.χ. συστήματα προσαρμογής εξοπλισμού (ζώνη ασφαλείας, καθρέπτες κ.α.) με βάση τα χαρακτηριστικά του οδηγού) και παροχή παρακολούθησης της οδήγησης (π.χ. συστήματα παρακολούθησης της κούρασης του οδηγού).

Επομένως, η λειτουργία των συστημάτων αυτών έχει ως συνέπεια την αλλαγή των χαρακτηριστικών κυκλοφορίας των οχημάτων με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαία η ενσωμάτωσή τους στα πρότυπα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας των οχημάτων για την παροχή δυνατότητας σεναρίων στα οποία υφίσταται λειτουργία ευφών συστημάτων μεταφορών και για τη βελτίωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων τους.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η εξέταση των διαφόρων συστημάτων μεταφορών και των επιπτώσεων της χρήσης τους (εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση των οποίων έχουν πραγματοποιήσει οι Vaa et al., (2007) και Spyropoulou et al., (2008)) στην οδική συμπεριφορά, και η μετατροπή αυτών των επιπτώσεων σε παραμέτρους οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν σε πρότυπα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας των οχημάτων. Αρχικά πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση όπου αναφέρονται συγκεκριμένες προσπάθειες ενσωμάτωσης των ευφών συστημάτων μεταφορών σε πρότυπα προσομοίωσης. Στη συνέχεια αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των ευφών συστημάτων μεταφορών τα οποία επηρεάζουν την κυκλοφορία των οχημάτων και στο τέλος προτείνονται οι αντίστοιχες παράμετροι οι οποίες δύνανται να αποτυπώσουν τη λειτουργία και χρήση των ευφών συστημάτων μεταφορών.

2. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Τα ευφυή συστήματα μεταφορών αποτελούν ένα σχετικά νέο επιστημονικό πεδίο με ραγδαία όμως ανάπτυξη. Η έρευνα που πραγματοποιείται στο συγκεκριμένο πεδίο, κυρίως σε Ευρώπη, Αυστραλία, ΗΠΑ και Ιαπωνία, σε τομείς της τεχνολογίας, ψυχολογίας του οδηγού, κυκλοφοριακής τεχνικής και οδικής ασφάλειας βρίσκεται σε υψηλό επίπεδο. Όσον αφορά στο πεδίο της κυκλοφοριακής τεχνικής και οδικής ασφάλειας το μεγαλύτερο τμήμα της έρευνας επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των επιπτώσεων της χρήσης ευφών συστημάτων μεταφορών.

Ειδικότερα, πραγματοποιείται πλήθος πειραμάτων με χρήση προσομοιωτών οδήγησης ή με κατάλληλα εξοπλισμένα οχήματα για τον προσδιορισμό της επιρροής της χρήσης συγκεκριμένων ευφών συστημάτων στον οδηγό. Ενδεικτικά παραδείγματα αποτελούν η χρήση ευφών συστημάτων πληροφόρησης (πχ Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων – (Dia, 2002; Rossetti et al., 2002)) και ευφών συστημάτων υποβοήθησης της οδήγησης (πχ σύστημα έξυπνης υιοθέτησης ταχύτητας – (Duynstee et al., 2000; Peltola and Kulmala, 2000)). Η επιρροή του συστήματος αρχικά μελετάται σε μικροσκοπικό επίπεδο δηλαδή προσδιορίζεται ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα δύναται να επηρεάσει τον εκάστοτε χρήστη. Επιπλέον, για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων της χρήσης ευφών συστημάτων στο συνολικό συγκοινωνιακό σύστημα πραγματοποιείται χρήση μαθηματικών σχέσεων στατιστικής και πιθανοτήτων ή χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας των οχημάτων με εισαγωγή κάποιων μεταβλητών. Επισημαίνεται ότι η πρώτη μέθοδος δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη ενώ η δεύτερη εξαρτάται από την αξιοπιστία των προγραμμάτων προσομοίωσης τα οποία χρησιμοποιούνται.

Κατά συνέπεια, τμήμα της έρευνας στο πεδίο της κυκλοφοριακής τεχνικής πλέον προσανατολίζεται στη βελτίωση των προγραμμάτων προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας. Παραδείγματα προγραμμάτων προσομοίωσης στα οποία έχουν εισαχθεί στοιχεία ευφών συστημάτων μεταφορών αποτελούν τα λογισμικά PARAMICS (PARAllel MICROscopic traffic Simulator) (Cameron and Duncan, 1996), CONTRAM (CONtinuous TRAffic Assignment Model) (Leonard et al., 1978) and AIMSUN2. Η βελτίωση του εκάστοτε λογισμικού προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας των οχημάτων βασίζεται στη γνώση της επιρροής του ευφών συστήματος στο χρήστη και στη μετάφραση αυτής σε κατάλληλες μαθηματικές σχέσεις. Τα στοιχεία συστημάτων τα οποία περιγράφονται από το λογισμικό είναι η χρήση επενεργούμενης σηματοδότησης σε κόμβους με φωτεινή σηματοδότηση και η λειτουργία Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων.

Ειδικότερα, το λογισμικό προσομοίωσης AIMSUN2 έχει βελτιωθεί ώστε να περιλαμβάνει τη λειτουργία συστημάτων τηλεματικής. Στο λογισμικό προσομοίωσης CONTRAM περιλαμβάνονται στοιχεία όπως η προτυποποίηση εκτάκτων συμβάντων όσον αφορά στη διαχείριση της κυκλοφορίας και η προσαρμογή των οδηγιών κατά την παροχή επικαιροποιημένης πληροφόρησης που αφορά στις συνθήκες του οδικού δικτύου. Τέλος, στο λογισμικό PARAMICS εμπεριέχεται η λειτουργία ελεγχόμενης σήμανσης σε αυτοκινητόδρομο σε σχέση με την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα και τη χρήση των λωρίδων, συστημάτων πλοήγησης του οδηγού και Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων. Οι Wang et al. (2007) εισήγαγαν το σύστημα προσαρμογής της ταχύτητας στο μικροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης VISSIM με σκοπό τη διερεύνηση των επιπτώσεων χρήσης του συστήματος στην οδική ασφάλεια. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αφορούσε στην τροποποίηση της ταχύτητας κυκλοφορίας των οχημάτων σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων ταχύτητας.

Επιπλέον, οι Ludmann et al. (1999) εξέτασαν την εισαγωγή της λειτουργίας του συστήματος προσαρμοσμένου ελέγχου ταχύτητας (Adaptive Cruise Control, ACC) στο μικροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης PELOPS. Ο Hidas (2002) σημείωσε ότι η συμπεριφορά του οδηγού κατά τη διάρκεια αλλαγής λωρίδας οδήγησης εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες εμπεριέχοντας σε αυτές την πληροφόρηση των κυκλοφοριακών συνθηκών από ευφών συστήματα πληροφόρησης. Με βάση αυτή τη διαπίστωση πρότεινε την προσαρμογή του λογισμικού προσομοίωσης SITRAS ώστε να περιγράφει αυτή την επιρροή. Οι Wu et al. (2003) πρότειναν ένα νέο τρόπο για την αξιολόγηση μικροσκοπικών προτύπων προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας των οχημάτων ώστε με τα κατάλληλα δεδομένα να δύναται να αξιολογηθεί η λειτουργία ευφών συστημάτων στο συγκοινωνιακό δίκτυο.

Μεθοδολογία για την προσομοίωση ευφών συστημάτων μεταφορών προτάθηκε και από τους Golias et al. (2002a). Επιπλέον, παράμετροι που αφορούν στη χρήση του συστήματος

ευφυούς προσαρμογής της ταχύτητας και του προσαρμοζόμενου συστήματος ελέγχου ταχύτητας ενσωματώθηκαν σε πρότυπα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας (Golias et al., 2001; Golias et al., 2002b).

Οι Liu and Tate (2004) εισήγαγαν τη χρήση του ευφυούς συστήματος προσαρμογής της ταχύτητας (ISA) σε λογισμικό προσομοίωσης με σκοπό τη διερεύνηση των επιπτώσεων χρήσης του συστήματος στις κυκλοφοριακές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Το σύστημα στη συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελεί την παρεμβατική εκδοχή του συστήματος (intervening) με βάση την οποία το σύστημα δεν επιτρέπει στους οδηγούς την υπέρβαση των ορίων ταχύτητας. Το λογισμικό προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το DRACULA το οποίο βασίζεται στο μαθηματικό πρότυπο του Gipps. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αφορούσε σε τροποποίηση της μέγιστης ταχύτητας των οχημάτων έτσι ώστε αυτή να μην υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια ταχύτητας καθώς και εφαρμογή συγκεκριμένης επιβράδυνσης στην περίπτωση που ο οδηγός εισερχόταν σε περιοχές με όρια ταχύτητας χαμηλότερα από την ταχύτητα κίνησής του. Κατά συνέπεια, στη συγκεκριμένη εφαρμογή λήφθηκε υπόψη η λειτουργία του συστήματος και όχι η συμπεριφορά των οδηγών κατά τη χρήση του συστήματος. Τέλος, οι Spygoroulou and Karlaftis (2008) επιχείρησαν να προσδιορίσουν τις παραμέτρους για την προσομοίωση του ευφυούς συστήματος προσαρμογής της ταχύτητας ενώ οι Spygoroulou et al. (2010) προσομοίωσαν το ευφές σύστημα προσαρμογής της ταχύτητας χρησιμοποιώντας το μικροσκοπικό πρότυπο προσομοίωσης SIGSIM. Η διαφορά με την έρευνα των Liu and Tate (2004) είναι ότι οι παράμετροι αφορούσαν όχι μόνο τη λειτουργία του συστήματος αλλά και τις επιπτώσεις χρήσης του στην οδηγική συμπεριφορά.

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Σήμερα, υπάρχει μεγάλος αριθμός ευφών συστημάτων μεταφορών κατά συνέπεια δεν κρίνεται σκόπιμη η αναφορά όλων των συστημάτων. Αποδοτικό τρόπο περιγραφής τους αποτελεί ο προσδιορισμός συγκεκριμένων κρίσιμων χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων τους, μέσα από κατάλληλες κατηγοριοποιήσεις. Πιο συγκεκριμένα, δύο βασικές κατηγορίες ευφών συστημάτων μεταφορών αποτελούν τα εξελιγμένα συστήματα υποβοήθησης της οδήγησης (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS) και τα εξελιγμένα συστήματα πληροφόρησης (Advanced Traveller Information Systems – ATIS) – στη δεύτερη κατηγορία εξετάζονται μόνο εκείνα που αφορούν στους οδηγούς των οχημάτων. Τα πρώτα συστήματα αποσκοπούν σε υποβοήθηση του οδηγού σε θέματα που αφορούν στην οδήγηση (π.χ. διατήρηση ορίων ταχύτητας, προειδοποίηση πιθανής σύγκρουσης κ.α.) ενώ τα δεύτερα παρέχουν πληροφόρηση στον οδηγό για στοιχεία που αφορούν στη διαδρομή του (π.χ. συμφόρηση κατάντη, ολισθηρό οδόστρωμα κ.α.). Επισημαίνεται ότι η παρούσα εργασία δεν αφορά σε συστήματα υποδομής τα οποία δεν αλλάζουν την οδηγική συμπεριφορά, όπως συστήματα επενεργούμενης σηματοδότησης ή μεταβλητών ορίων ταχύτητας. Επιπλέον, η λειτουργία των συστημάτων δύναται να αφορά στην οδήγηση, στη διάρκεια ενός ατυχήματος (crash systems) και μετά το ατύχημα (post-crash systems). Παρόλο που πιθανώς αναμένεται να υπάρχει επιρροή της χρήσης και των συστημάτων που λειτουργούν κατά τη στιγμή ενός ατυχήματος η επιρροή αυτή είναι πολύ μικρή και δεν έχει διερευνηθεί. Κατά συνέπεια η διερεύνηση που πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία αφορά στα συστήματα που λειτουργούν κατά την οδήγηση.

Μία βασική κατηγοριοποίηση η οποία συσχετίζεται και με τις παραμέτρους που δύναται να περιγράψουν τις αλλαγές στην οδηγική συμπεριφορά αφορά στη «διάσταση» υποβοήθησης του οδηγού. Πιο συγκεκριμένα, στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι κατηγορίες αυτές καθώς και παραδείγματα ευφών συστημάτων μεταφορών τα οποία ανήκουν σε καθεμία από τις κατηγορίες.

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση ευφών συστημάτων μεταφορών με βάση τη διάσταση υποβοήθησης

Διαμήκεις συνιστώσες	Πλευρικές συνιστώσες	Αποφυγή σύγκρουσης	Πληροφόρηση	Παρακολούθηση οδηγού	Βελτίωση αντίληψης	Άνεση οδηγού
προσαρμοζόμενο σύστημα ελέγχου ταχύτητας	παρέκκλιση λωρίδας	αποφυγή σύγκρουσης	πλοήγηση	alco-lock	βελτίωση ορατότητας	ηλεκτρονικά διόδια
ευφές σύστημα προσαρμογής της ταχύτητας	αλλαγή λωρίδας	προειδοποίηση εμποδίων	προηγμένη πλοήγηση	παρακολούθηση επαγρύπνησης /κούρασης		υποβοήθηση ελιγμών στάθμευσης
		προειδοποίηση σε κόμβο	κυκλοφοριακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο			
			δυσμενών συνθηκών			

Από τα παραπάνω συστήματα, τα συστήματα που αφορούν στην άνεση του οδηγού δεν αναμένεται να επηρεάσουν την κυκλοφορία των οχημάτων σε σημαντικό βαθμό, κατά συνέπεια δεν εξετάζονται στη συνέχεια της εργασίας. Μία άλλη σημαντική παράμετρο των ευφών συστημάτων μεταφορών, η οποία αναμένεται να επηρεάσει την οδική συμπεριφορά, αποτελεί ο τρόπος διασύνδεσης του οδηγού με το σύστημα (human-machine interface – HMI) που αφορά στον τρόπο με τον οποίο μεταδίδονται τα σήματα από το σύστημα στον οδηγό. Τα ευφή συστήματα μεταφορών μπορεί να είναι συστήματα πληροφόρησης, συστήματα προειδοποίησης και συστήματα παρέμβασης. Στην πρώτη περίπτωση τα σήματα που στέλνονται από το σύστημα αφορούν στη μετάδοση συγκεκριμένης πληροφορίας η οποία μπορεί να πραγματοποιείται είτε με ακουστική είτε με οπτική μορφή. Στη δεύτερη περίπτωση το σύστημα μεταδίδει προειδοποιητικά σήματα τα οποία έχουν στόχο να προειδοποιήσουν τους οδηγούς για πιθανό κίνδυνο. Τα σήματα μπορεί να είναι οπτικά, ακουστικά ή απτικά. Τέλος, τα συστήματα παρέμβασης ελέγχουν αυτά συγκεκριμένες δραστηριότητες της οδήγησης (π.χ. επιβράδυνση) και ταυτόχρονα μεταδίδουν σήματα είτε σε οπτική είτε σε ακουστική είτε σε απτική μορφή. Επισημαίνεται ότι το ίδιο σύστημα δύναται να κατασκευάζεται και στις τρεις παραπάνω εκδοχές. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζεται ο τρόπος διασύνδεσης του οδηγού με το εκάστοτε σύστημα.

Πίνακας 2. Τρόπος διασύνδεσης του οδηγού με ευφή συστήματα μεταφορών

		Πληροφόρηση	Προειδοποίηση	Παρέμβαση
Διαμήκεις συνιστώσες	προσαρμοζόμενο σύστημα ελέγχου ταχύτητας			X
	ευφές σύστημα προσαρμογής της ταχύτητας	X	X	X
Πλευρικές συνιστώσες	παρέκκλιση λωρίδας		X	X
	αλλαγή λωρίδας		X	X
Αποφυγή σύγκρουσης	αποφυγή σύγκρουσης		X	
	προειδοποίηση εμποδίων		X	
	προειδοποίηση σε κόμβο		X	
Πληροφόρηση	πλοήγηση	X		
	προηγμένη πλοήγηση	X	X	
	κυκλοφοριακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο	X		
	δυσμενών συνθηκών	X	X	
Παρακολούθηση οδηγού	παρακολούθηση επαγρύπνησης/ κούρασης	X	X	
	alco-lock		X	X
Βελτίωση αντίληψης	βελτίωση ορατότητας	X	X	

4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

4.1 Γενικά

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο τον σχεδιασμό μίας δομής για την ενσωμάτωση της λειτουργίας και χρήσης των ευφών συστημάτων μεταφορών σε πρότυπα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα πρέπει να καθοριστούν οι επιπτώσεις χρήσης των ευφών συστημάτων μεταφορών στην οδηγική συμπεριφορά και να αποδοθούν κατάλληλες παράμετροι που να περιγράφουν τις συγκεκριμένες επιπτώσεις. Οι παράμετροι αυτές δύναται να προϋπάρχουν στα πρότυπα προσομοίωσης ή να αποτελούν νέες παραμέτρους. Κατά συνέπεια, ο προσδιορισμός των παραμέτρων θα πραγματοποιηθεί μέσα από τον προσδιορισμό των επιπτώσεων χρήσης των ευφών συστημάτων μεταφορών.

4.2 Επίπεδα οδηγικών δραστηριοτήτων

Η οδηγική δραστηριότητα δύναται να διαχωριστεί σε τρία διακριτά επίπεδα (Michon 1985, Molen and Botticher 1987): στρατηγικής, τακτικής και λειτουργικό (strategic, tactical and operational). Η λειτουργία στο στρατηγικό επίπεδο αφορά σε προγραμματισμό μετακίνησης, εύρεση διαδρομής κλπ. Στο επίπεδο τακτικής συμπεριλαμβάνονται επιλογές που αφορούν αλληλεπίδραση με τους υπόλοιπους χρήστες του οδικού δικτύου, όπως αποδοχή διακένων, επιλογή ταχύτητας κυκλοφορίας, παραχώρηση προτεραιότητας κλπ. Τέλος, το λειτουργικό επίπεδο περιλαμβάνει δραστηριότητες που αφορούν στον έλεγχο του οχήματος όπως επιτάχυνση/επιβράδυνση, θέση στη λωρίδα κλπ. Η χρήση του εκάστοτε ευφούς συστήματος μεταφορών δύναται να έχει επιπτώσεις σε κάποιο/α από τα προαναφερθέντα επίπεδα, οι οποίες αποδίδονται με διαφορετικές παραμέτρους. Κατά συνέπεια, θα πρέπει για κάθε σύστημα να προσδιοριστούν τα επίπεδα δραστηριότητας τα οποία επηρεάζονται από τη χρήση του συστήματος (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Επιπτώσεις ευφών συστημάτων μεταφορών στα επίπεδα δραστηριοτήτων οδήγησης

		Στρατηγικής	Τακτικής	Λειτουργικό
Διαμήκεις	προσαρμοζόμενο σύστημα ελέγχου ταχύτητας			X
συνιστώσες	ευφές σύστημα προσαρμογής της ταχύτητας		X	X
Πλευρικές	παρέκκλιση λωρίδας			X
συνιστώσες	αλλαγή λωρίδας		X	X
Αποφυγή	αποφυγή σύγκρουσης		X	X
σύγκρουσης	προειδοποίηση εμποδίων		X	X
	προειδοποίηση σε κόμβο		X	X
Πληροφόρηση	πλοήγηση	X		
	προηγμένη πλοήγηση	X	X	
	κυκλοφοριακών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο	X		
	δυσμενών συνθηκών	X	X	X
Παρακολούθηση	παρακολούθηση επαγρύπνησης/ κούρασης	X		X
οδηγού	alco-lock	X		X
Βελτίωση αντίληψης	βελτίωση ορατότητας	X	X	X

4.3 Άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις

Οι άμεσες επιπτώσεις αφορούν στις στοχευμένες λειτουργίες του σχεδιασμού του συστήματος. Ενώ, οι έμμεσες επιπτώσεις αφορούν άλλες επιδράσεις του συστήματος και συμπεριλαμβάνουν απόσπαση προσοχής οδηγού, αντιστάθμιση του κινδύνου, αύξηση της έκθεσης στον κίνδυνο κ.α. Για παράδειγμα, το ευφές σύστημα προσαρμογής της ταχύτητας, ελέγχει την ταχύτητα του οχήματος, τη συγκρίνει με κάποιο όριο (συνήθως λίγο υψηλότερο από το όριο ταχύτητας του οδικού τμήματος) και μεταδίδει προειδοποιητικά σήματα όταν αυτή υπερβαίνει το όριο αυτό. Κατά συνέπεια, άμεσες επιπτώσεις του συστήματος δύναται να αποτελούν οι μείωση της ταχύτητας καθώς και η αύξηση της επιβράδυνσης. Έμμεσες επιπτώσεις της χρήσης του συστήματος δύναται να αποτελούν η αύξηση της ταχύτητας σε άλλα οδικά τμήματα ως αντιστάθμιση της μείωσής της, η πιο επιθετική οδήγηση (π.χ. περισσότεροι ή πιο επικίνδυνοι ελιγμοί προσπέρασης), μεγάλος αριθμός διακυμάνσεων της

ταχύτητας κλπ. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να αναζητηθούν για κάθε σύστημα (ή τύπο συστήματος) τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες επιπτώσεις χρήσης του.

4.4 Διασύνδεση του οδηγού με το ευφυές σύστημα μεταφορών

Όπως προαναφέρθηκε τα ευφυή συστήματα μεταφορών δύναται να διασυνδέονται με τον οδηγό με τρεις τρόπους. Τα ευφυή συστήματα μεταφορών δύναται να είναι συστήματα πληροφόρησης, συστήματα προειδοποίησης και συστήματα παρέμβασης. Έχει βρεθεί ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός παρέμβασης του συστήματος, τόσο πιο αποτελεσματικά είναι όσον αφορά στη στοχευμένη λειτουργία τους. Ταυτόχρονα, διαφορετικός τρόπος διασύνδεσης έχει ως αποτέλεσμα και διαφορετικές έμμεσες επιπτώσεις όπως απόσπαση προσοχής, εκνευρισμός, διαφορετικό βαθμό αντιστάθμισης των συνεπειών κλπ. Τέλος, και το είδος των σημάτων που μεταδίδονται επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά. Για παράδειγμα τα ακουστικά σήματα θεωρείται ότι εκνευρίζουν περισσότερο τους οδηγούς αλλά ταυτόχρονα είναι πιο αποτελεσματικά από τα οπτικά και τα απτικά. Κατά συνέπεια, οι παράμετροι που θα μορφοποιηθούν/εισαχθούν σε ένα πρότυπο προσομοίωσης πρέπει να αναζητηθούν τόσο με βάση τον τρόπο διασύνδεσης οδηγού και συστήματος όσο και με βάση το είδος των σημάτων που μεταδίδονται από το σύστημα.

4.5 Άλλες επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις της χρήσης των ευφύων συστημάτων μεταφορών δεν αφορούν μόνο στους χρήστες των συστημάτων αλλά μπορεί να αφορούν και οδηγούς τα οχήματα των οποίων δεν είναι εξοπλισμένα με αντίστοιχα συστήματα αλλά οι οποίοι αλληλεπιδρούν με τους χρήστες των συστημάτων. Καθώς όμως δεν υπάρχει εμπεριστατωμένη έρευνα σε αυτή την κατεύθυνση δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός παραμέτρων προς αυτή την κατεύθυνση. Τέλος, μία άλλη διάσταση της χρήσης των ευφύων συστημάτων μεταφορών αποτελεί το ποσοστό χρήσης τους, το οποίο θα πρέπει να υπεισέρχεται ως παράμετρος στα πρότυπα προσομοίωσης.

5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΕ ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Οι παράμετροι οι οποίες αφορούν στη χρήση των ευφύων συστημάτων μεταφορών προκύπτουν κυρίως από τις επιπτώσεις χρήσης τους, όπως αυτές αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Κατά συνέπεια, με βάση τις επιπτώσεις αυτές προσδιορίστηκαν οι βασικότερες παράμετροι για την ενσωμάτωση των ευφύων συστημάτων μεταφορών σε πρότυπα προσομοίωσης.

Αρχικά διαχωρίζονται οι άμεσες από τις έμμεσες επιπτώσεις καθώς και η «διάσταση» υποβοήθησης των συστημάτων στον οδηγό. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι άμεσες επιπτώσεις αποτελούν τις στοχευμένες από το σύστημα επιδράσεις και θα αναλυθούν στη συνέχεια. Οι επιπτώσεις που αφορούν στις διαμήκεις συνιστώσες αφορούν ήδη υπάρχουσες παραμέτρους στα περισσότερα πρότυπα όπως η κατά μήκος ταχύτητα, ο επιτρεπόμενος χρονικός/χωρικός διαχωρισμός από το προπορευόμενο όχημα, η επιτάχυνση και η επιβράδυνση. Επιπλέον, παράμετροι όπως η απόκλιση/μεταβολή των παραπάνω παραμέτρων θα πρέπει να εισαχθούν. Οι επιπτώσεις που αφορούν στις πλευρικές συνιστώσες αφορούν ήδη υπάρχουσες παραμέτρους όπως η αλλαγή λωρίδας και κυρίως στις προϋποθέσεις για αλλαγή λωρίδας (χρονικά διάκενα κλπ) αλλά και άλλες λιγότερο χρησιμοποιούμενες παραμέτρους όπως η πλευρική κίνηση/θέση και η πλευρική ταχύτητα και επιβράδυνση/επιτάχυνση του οχήματος.

Στα συστήματα αποφυγής σύγκρουσης θα πρέπει να εισαχθούν οι παράμετροι που αφορούν τόσο στις διαμήκεις όσο και στις πλευρικές συνιστώσες. Ταυτόχρονα θα πρέπει να μορφοποιηθεί και η παράμετρος του χρόνου αντίδρασης του οδηγού. Για τα συστήματα πληροφόρησης οι περισσότερες παράμετροι αφορούν στην επιλογή χαρακτηριστικών

διαδρομής (διαδρομή, ώρα διαδρομής, ακύρωση διαδρομής κλπ). Επιπλέον, για τα συστήματα προηγμένης πλοήγησης και πληροφόρησης δυσμενών συνθηκών θα πρέπει να εισαχθούν και παράμετροι που αφορούν στις διαμήκεις και στις πλευρικές συνιστώσες (πχ μείωση ταχύτητας όταν σε περίπτωση περιορισμένης ορατότητας και μείωση ελιγμών προσπέρασης ή αλλαγής λωρίδας). Για τα συστήματα παρακολούθησης του οδηγού οι παράμετροι διαφέρουν ανάλογα με το σύστημα. Για το alco-lock το οποίο κατά κύριο λόγο είναι παρεμβατικό πραγματοποιείται στάση του οχήματος μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό ή χωρικό διάστημα. Για την παρακολούθηση επαγρύπνησης και κούρασης θα πρέπει να παραμετροποιηθούν παράμετροι που αφορούν σε διαμήκεις και πλευρικές συνιστώσες αλλά και στον χρόνο αντίδρασης. Τέλος, για το σύστημα βελτίωσης της ορατότητας αναμένονται μικρότεροι χρόνοι αντίδρασης.

Επισημαίνεται, ότι στις άμεσες επιπτώσεις θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο τρόπος διασύνδεσης του οδηγού με το σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση συστήματος πληροφόρησης οι τιμές των παραμέτρων θα μεταβληθούν λιγότερο από ότι στο σύστημα προειδοποίησής και στο σύστημα παρέμβασης θα πρέπει οι παράμετροι που θα εισαχθούν να ληφθούν από τη λειτουργία του συστήματος και όχι από έρευνες επιπτώσεων χρήσεις των συστημάτων.

Όσον αφορά στις έμμεσες συνέπειες, αυτές κυρίως επηρεάζονται από τον τρόπο διασύνδεσης του οδηγού με το σύστημα. Τα συστήματα πληροφόρησης συνήθως έχουν ως αποτέλεσμα διάσπαση της προσοχής του οδηγού η οποία προσομοιώνεται με αύξηση του χρόνου αντίδρασης. Τα συστήματα προειδοποίησης έχουν ως αποτέλεσμα διάσπαση της προσοχής/ξάφνιασμα του οδηγού, αύξηση του εκνευρισμού του. Παράμετροι που δύναται να περιγράψουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν οι διαμήκεις και πλευρικές αποκλίσεις σε παραμέτρους όπως η θέση του οχήματος, η ταχύτητα και η επιτάχυνση/επιβράδυνσή του, επιθετικότερη οδήγηση καθώς και απενεργοποίηση του συστήματος εάν δίνεται αυτή η δυνατότητα. Επιπλέον, έμμεση συνέπεια αποτελεί και η αντιστάθμιση του κινδύνου από πλευράς οδηγού με συνέπεια την αύξηση της επιθετικής οδήγησης ή η έκθεση στον κίνδυνο οι οποίες περιγράφονται με κατάλληλες παραμέτρους για το κάθε σύστημα. Τέλος, τα συστήματα παρέμβασης έχουν ως αποτέλεσμα οι οδηγοί να επαφίενται στο σύστημα να αντιδράσει σε κατάσταση ανάγκης με αποτέλεσμα τη διάσπαση προσοχής και κατά συνέπεια την αύξηση του χρόνου αντίδρασης. Επιπλέον, τα συστήματα παρέμβασης αυξάνουν και την αντιστάθμιση του κινδύνου από πλευράς οδηγού με συνέπεια την αύξηση της επιθετικής οδήγησης ή την έκθεση στον κίνδυνο οι οποίες περιγράφονται με κατάλληλες παραμέτρους για το κάθε σύστημα.

Όσον αφορά σε επιπλέον παραμέτρους έμμεσων συνεπειών από τη χρήση των ευφυών συστημάτων μεταφορών που σχετίζονται με τη «διάσταση» των συστημάτων αυτές είναι για τα συστήματα με διαμήκεις και πλευρικές συνιστώσες αυτές αφορούν κυρίως τις παραμέτρους που αφορούν και τις άμεσες συνέπειες των δύο αυτών «διαστάσεων». Για παράδειγμα, για το σύστημα αλλαγής λωρίδας μπορεί να έχει ως έμμεση συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας του οχήματος ώστε να υπάρξει ο κατάλληλος χώρος για να αλλάξει λωρίδα με βάση τα όρια του συστήματος. Επιπλέον, έμμεσες συνέπειες για τα συστήματα αποφυγής σύγκρουσης αποτελούν η απόσπαση προσοχής καθώς και η αντιστάθμιση του κινδύνου που εκφράζεται από διαμήκεις και πλευρικές συνιστώσες. Για παράδειγμα αν ένας οδηγός σταματήσει σε έναν κόμβο είναι πιθανό σε τμήμα της διαδρομής του να υιοθετήσει υψηλότερες ταχύτητες. Για τα συστήματα πληροφόρησης οι έμμεσες συνέπειες αποτελούν πάλι η απόσπαση προσοχής καθώς και η αντιστάθμιση του κινδύνου. Για το σύστημα παρακολούθησης της κούρασης/επαγρύπνησης και για το σύστημα βελτίωσης της όρασης έμμεση συνέπεια αποτελεί η αύξηση της έκθεσης στον κίνδυνο είτε με την οδήγηση υπό συνθήκες κατά τις οποίες ο οδηγός δεν θα επέλεγε να οδηγήσει χωρίς τη λειτουργία του συστήματος, είτε με την υιοθέτηση υψηλότερων ταχυτήτων για το σύστημα βελτίωσης της όρασης. Για το alco-lock δεν έχουν βρεθεί έμμεσες συνέπειες.

Μία νέα παράμετρος η οποία θα πρέπει να εισαχθεί είναι το ποσοστό των οχημάτων τα οποία είναι εξοπλισμένα με το εκάστοτε ευφυές σύστημα μεταφορών. Επιπλέον, στην περίπτωση χρήσης μικροσκοπικών προτύπων προσομοίωσης οι παράμετροι θα πρέπει να καθορίζονται από μία μέση τιμή και μία απόκλιση και να προσδίδονται οι εκάστοτε τιμές στις αντίστοιχες παραμέτρους τυχαία. Αν υπάρχουν στοιχεία που συσχετίζουν τη συμπεριφορά του οδηγού με άλλα χαρακτηριστικά του όπως για παράδειγμα γένος ή ηλικία και τα οποία εισάγονται στην προσομοίωση ως δεδομένα τότε θα πρέπει να δοθούν οι κατάλληλες τιμές των παραμέτρων στον κάθε οδηγό. Στα μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά πρότυπα κίνησης θα εισάγονται οι μέσες τιμές των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν. Επισημαίνεται ότι σε πολλά πρότυπα προσομοίωσης το βήμα προσομοίωσης αντιστοιχεί με το χρόνο αντίδρασης του οδηγού. Σε αυτά τα πρότυπα θα πρέπει να εξεταστεί κατά πόσο διαφορετικές τιμές βήματος προσομοίωσης επηρεάζουν ιδιαίτερα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και αν κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει θα πρέπει να υιοθετηθεί μία πολύ μικρή τιμή βήματος προσομοίωσης και ο χρόνος αντίδρασης του εκάστοτε οχήματος να είναι πολλαπλάσιο του βήματος αυτού.

Ο προσδιορισμός και η κατηγοριοποίηση των παραμέτρων που χρειάζονται για την ενσωμάτωση των ευφύων συστημάτων μεταφορών στα πρότυπα προσομοίωσης της ροής κυκλοφορίας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμος σε όλους εκείνους που επιχειρούν την ποσοτικοποιημένη αποτίμηση των επιπτώσεων των ευφύων αυτών συστημάτων στην κυκλοφορία και στην οδική ασφάλεια. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατός ο συνδυαστικός έλεγχος των επιπτώσεων στην κυκλοφορία και στην ασφάλεια κάθε συστήματος και για κάθε διαφορετικό περιβάλλον κυκλοφορίας, ώστε να είναι περισσότερο ακριβής η υποστήριξη των αποφάσεων για την περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξη αυτών των ευφύων συστημάτων μεταφορών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barcelo, J., Ferrer, J., Garcia, D., Florian, M., and Le Saux, E. (1998). Parallelization of microscopic traffic simulation for ATT systems. In: P. Marcotte and S. Nguyen (eds.), *Equilibrium and advanced transportation modelling* (Kluwer Academic Publishers), 1-26.
- Cameron, G.D.B., and Duncan G.I.D., (1996). PARAMICS, parallel microscopic simulation of road traffic. *Journal of supercomputing*, 10(1), 25-53.
- Daganzo, C.F. (1994). The cell transmission model: a dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transportation Research Part B*, 28(4), 269-87.
- Dia, H. (2002). An agent-based approach to modeling driver route choice behaviour under the influence of real-time information. *Transportation Research Part C*, 10, 331-349.
- Duynstee L., Katteler H., and Martens G. (2000). Intelligent speed adaptation: selected results of the dutch practical trial. *Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Sydney 30 September-4 October 2001. CD-ROM. ERTICO, ITS Europe, Brussels.
- Gipps, P.G. (1981). A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation Research Part B*, 15(2), 105-11.
- Golias, J., Yannis, G., Antoniou, C. (2001). Impact of advanced driver assistance systems on urban traffic network conditions. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, special issue on advanced vehicle control and safety systems, Vol. 1, No.3, pp. 277-289.
- Golias, J., Antoniou, C., Yannis, G. (2002a). A methodology for the estimation of traffic and related impacts of advanced driver assistance systems. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Volume 7, Numbers 3-4, July-December, pp. 261-277.
- Golias, J., Yannis, G., Antoniou, C. (2002b). Classification of driver assistance systems according to their impact on road safety and traffic efficiency. *Transport Reviews*, Vol. 22, No. 2, pp. 179-196.

- Hidas, P. (1998). SITRAS: A simulation model for ITS applications. Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Seoul Korea, CD Rom, Seoul Korea, Oct.
- Hidas, P. (2002). Modelling lane changing and merging in microscopic traffic simulation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 10(5-6), 351-371.
- Law, M. and Crosta, D. (1999). SIGSIM user guide part A: SIGSIM theory. University of Newcastle, Transport Operations Research Group and Centre for Transport Studies, University College London.
- Leonard, D.R., Though, J.B., and Bagueley, P.C. (1978). CONTRAM: a traffic assignment model for predicting flows and queues during peak periods. TRRL Laboratory Report, 1978, R 841, Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.
- Leutzbach, W. (1988). Introduction to the theory of traffic flow. London: Springer.
- Lighthill, M.J. and Whitham, G.B. (1955). On kinematic waves: II. A theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society*, 229A, 317-45.
- Liu, R. (2005). The DRACULA dynamic network microsimulation model. In: Kitamura, R. Kuwahara, M. (Eds), *Simulation Approaches in Transportation Analysis: Recent Advances and Challenges*, Springer, 23-56.
- Liu, R., and Tate, J. (2004). Network effects of intelligent speed adaptation systems. *Transportation*, 31(3), 297-325.
- Ludmann, J., Neunzig, D., Weilkes, M., and Wallentowitz, H. (1999). The effectivity of new traffic-technologies and transportation-systems in suburban areas and on motorways. *International Transactions in Operational Research*, 6(4), 423-439.
- Nagel, K. and Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic, *J. Phys. I*, 2, 2221.
- Peltola H., and Kulmala R. (2000). Weather related intelligent speed adaptation – experience from a simulator. Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Turin 6-9 November. CD-ROM. ERTICO, ITS Europe, Brussels.
- Robertson, D. (1969). TRANSYT – a traffic network study tool. TRRL Laboratory Report, LR 253, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Rossetti, R.J.F., Bordini, R.H., Bazzan A-L. C., Bampi S., Liu R. and Van Vliet D. (2002). Using BDI agents to improve driver modelling in a commuter scenario. *Transportation Research Part C*, 10, 373-398.
- Silcock, J.P. (1993). SIGSIM version 1.0 users guide. Working Paper from the Centre for Transport Studies, UCL.
- Spyropoulou, I., Golias, J., Karlaftis, M., Penttinen, M., Vaa, T. (2008). ITS Solutions and Accident Risks: Prospective and Limitations. *Transport Reviews*, 28(5), 549-572.
- Spyropoulou, I., Karlaftis, M. (2008). Parameters related to modelling Intelligent Speed Adaptation Systems with the employment of a microscopic traffic model. *IET Intelligent Transport Systems*, 2(4), 331-339.
- Spyropoulou, I., Heydecker, B., Yannis, G. (2010). Modelling Intelligent Speed Adaptation. Proceedings of the 12th World Conference of Transportation Research, Lisbon.
- Vaa, T, Penttinen, M., Spyropoulou, I. (2007). ITS and effects on road traffic accidents: State of the art. *IET Intelligent Transport Systems*, 1(2), 81-88.
- Wang, C., Li, J., Teng, G., Chang, S., Zhao, Y., and Wang F. (2007). Study on Intelligent Speed Adaptation Impact of Driving Safety Based on Simulation. 2nd International Conference on Innovative Computing, Information and Control.
- Wiedemann, R. (1974). Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8.
- Wu, J., Brackstone M., and McDonald M. (2003). The validation of a microscopic simulation model: a methodological case study. *Transportation Research Part C*, 11(6), 463-479.
- Yannis, G., Stevens, A., and Golias, J. (2002). Investigation of safety impact of driver assistance systems through traffic simulation modelling. Proceedings of the International Congress on IT Solutions for Safety and Security in Intelligent Transport, ERTICO, European Commission, ITS France, Lyon, September.

Incorporating intelligent transport systems into traffic models

Intelligent transport systems comprise a rapidly evolving research and technological field. This study addresses intelligent transport systems that involve the driver. Several such systems now form part of even standard vehicle equipment or road infrastructure enhancing road safety, traffic conditions and driving comfort. As these systems operate mostly during the driving task they interact with the driver and hence their operation modifies driving behaviour. A substantial number of studies has been undertaken to identify system use impact on driving behaviour, and for several of these systems, and particularly for the most mature ones, this impact has been qualified and quantified. However, research on incorporating the use of ITS while also catering for the incorporation of driving behaviour modifications into traffic simulation models is scarce.

This study aims at designing a methodology for the incorporation of intelligent transport systems into traffic simulation models. This incorporation does not only involve system operation, but also the resulting driver behaviour. To achieve this, an extensive discussion on traffic simulation models and intelligent transport systems impact is undertaken. First, the different intelligent transport systems are classified with respect to their operation and the features they provide; human-machine interface is also discussed. In addition, the different types of ITS impact on driving behaviour are being considered. A synthesis of the different elements and parameters of traffic simulation models and of the different types of ITS impact is attempted leading to the definition of specific steps and actions that need to be undertaken in order to model intelligent transport systems use, at an adequate level.