

Εκτεταμένη Περίληψη

Τα οδικά ατυχήματα αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας σε παγκόσμιο επίπεδο και είναι η **πρώτη αιτία θανάτου** στις ηλικίες 5 έως 29 ετών. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην οδική ασφάλεια. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να συμβάλουν στην πρόκληση οδικών ατυχημάτων και να επηρεάσουν τη σοβαρότητα των τραυματισμών που υφίστανται σε αυτά.

Η συμπεριφορά του οδηγού διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην οδική ασφάλεια, καθώς ευθύνεται για το 65-95% των οδικών ατυχημάτων. Ανάμεσα στις **κύριες αιτίες πρόκλησης οδικών ατυχημάτων** που σχετίζονται με τον ανθρώπινο παράγοντα είναι η υπερβολική ταχύτητα, η επιθετική συμπεριφορά, η απόσπαση προσοχής, η κόπωση και η υπνηλία. Παράλληλα, η κατάσταση και τα χαρακτηριστικά ασφάλειας των οχημάτων διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην αποφυγή οδικών ατυχημάτων και στη μείωση της πιθανότητας σοβαρών τραυματισμών. Επιπροσθέτως, οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την οδική ασφάλεια. Παράγοντες όπως ο τύπος της οδού, ο κυκλοφοριακός φόρτος, η μειωμένη ορατότητα, η ώρα της ημέρας αλλά και οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες μπορούν να αυξήσουν την πιθανότητα ατυχήματος.

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή αποτελεί **μια ολιστική προσέγγιση** για τη βελτίωση της Ζώνης Ανοχής Ασφάλειας (STZ) του οδηγού μέσω της ανάλυσης των παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού. Στο παραπάνω πλαίσιο, στόχος της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής ήταν να προσδιοριστεί η επιρροή της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης και της ικανότητας αντιμετώπισης στον κίνδυνο ατυχήματος. Η ικανότητα αντιμετώπισης διερευνήθηκε ως προς τους παράγοντες κατάστασης τόσο του οχήματος όσο και του οδηγού.

Για την εκπλήρωση των προαναφερθέντων στόχων της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, αξιοποιήθηκαν δεδομένα από ένα **πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και σε προσομοιωτή**, στο οποίο συμμετείχαν συνολικά 190 οδηγοί. Αναπτύχθηκαν παρεμβάσεις με γνώμονα την ασφάλεια για να αποτρέψουν τους οδηγούς από το να πλησιάσουν τα όρια της μη ασφαλούς λειτουργίας και να τους καθοδηγήσουν πίσω στη Ζώνη Ανοχής Ασφάλειας (STZ). Οι παρεμβάσεις αυτές περιελάμβαναν τόσο ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο (εντός του οχήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής) όσο και ανατροφοδότηση μετά το πέρας του ταξιδιού (με στόχο την ενίσχυση των γνώσεων, των στάσεων, των αντιλήψεων και του τρόπου οδήγησης).

Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε μια ολιστική προσέγγιση και αναπτύχθηκε μια καινοτόμος μεθοδολογία, η οποία αποτελείται από **τέσσερα διακριτά βήματα**:

Το **πρώτο βήμα** αφορούσε την επιλογή όλων των παραγόντων κινδύνου για την ανάλυση. Η επιλογή αυτή αξιοποίησε τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης από



Ευανθία Μιχελάρáκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

τις πτυχές οδού-οχήματος-οδηγού σχετικά με τον κίνδυνο ατυχήματος. Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, συμπεριλήφθηκαν κρίσιμες παράμετροι και παράγοντες κινδύνου της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης και της ικανότητας αντιμετώπισης.

Το **δεύτερο βήμα** περιελάμβανε την αξιοποίηση δεδομένων από ένα πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και σε προσομοιωτή, με το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης της μεθοδολογίας να αποτελείται από την συγκέντρωση, την εξόρυξη, τον καθαρισμό, τον χειρισμό και την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων. Ελήφθησαν υπόψη διάφορες πτυχές, όπως το μεγάλο και αντιπροσωπευτικό δείγμα, τα κριτήρια συμπερίληψης, τα νομικά και ηθικά ζητήματα, η τυχαιοποίηση των δοκιμών, οι κατάλληλες πρακτικές κινήσεις καθώς και η εξόρυξη, ο χειρισμός, η αποθήκευση, η συγκέντρωση και ο καθαρισμός των δεδομένων. Σε αυτό το πλαίσιο, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 190 συμμετέχοντες όλων των ηλικιακών ομάδων. Μετά τα πειράματα οδήγησης, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ειδικά διαμορφωμένο ερωτηματολόγιο που κάλυπτε πτυχές σχετικές με τις οδηγικές συνήθειες, τις στάσεις και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά τους.

Όσον αφορά το **πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης**, οι δοκιμές πεδίου αποτελούνταν από τέσσερις φάσεις, με συνολική διάρκεια 4 μηνών. Η πρώτη φάση χρησίμευσε ως περίοδος αναφοράς όπου η οδηγική συμπεριφορά παρακολουθήθηκε χωρίς καμία παρέμβαση. Η δεύτερη φάση περιελάμβανε μια περίοδο παρακολούθησης όπου μόνο προειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο από προηγμένα συστήματα υποστήριξης οδηγού (ADAS) παρέχονταν στο εσωτερικό του οχήματος. Στην τρίτη φάση, οι εν λόγω προειδοποιήσεις εντός του οχήματος συμπληρώθηκαν με ανατροφοδότηση που παρέχεται μέσω μιας εφαρμογής για έξυπνα κινητά τηλέφωνα, ενώ στην τέταρτη φάση, εισήχθησαν λειτουργίες παιχνιδιοποίησης στην εφαρμογή, υποστηριζόμενες από ένα διαδικτυακό ταμπλό.

Αναφορικά με το **πείραμα στον προσομοιωτή**, οι δοκιμές αποτελούνταν από τρεις φάσεις, με συνολική διάρκεια 2 μηνών. Τα πειραματικά σενάρια επικεντρώθηκαν στην υπερβολική ταχύτητα, την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα και την κόπωση ως μεταβλητή συνθήκη. Οι παράγοντες κινδύνου διερευνήθηκαν μέσω μιας σειράς επικίνδυνων συμβάντων που δοκιμάστηκαν κατά τη διάρκεια των σεναρίων οδήγησης-1, οδήγησης-2 και οδήγησης-3. Συνολικά, οι δοκιμές περιλάμβαναν τρεις 15-λεπτες διαδρομές, συμπεριλαμβανομένου ενός βασικού σεναρίου παρακολούθησης που ακολουθήθηκε από δύο σενάρια παρέμβασης, ένα με προειδοποιήσεις σταθερού χρόνου και ένα με προειδοποιήσεις μεταβλητού χρόνου και την προσθήκη μιας συνθήκης (π.χ. κόπωση).

Το **τρίτο βήμα** αφορούσε τις αναλύσεις στατιστικής και μηχανικής μάθησης. Το μεγάλο σύνολο δεδομένων που συλλέχθηκε από το πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και προσομοιωτή, καθώς και τα σχετικά ερωτηματολόγια αναλύθηκαν μέσω μιας



καινοτόμου μεθοδολογίας, με βάση τους περιορισμούς και τις ανάγκες των τεχνικών ανάλυσης που εξήχθησαν από την αντίστοιχη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Εφαρμόστηκαν δύο φάσεις της μεθοδολογίας ανάλυσης:

- Η πρώτη φάση αφορούσε τη **στατιστική ανάλυση** που εφαρμόστηκε για επεξηγηματικούς σκοπούς για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών και τον προσδιορισμό της σημαντικότητας αυτών των σχέσεων.

Πρώτον, η ανάπτυξη της **περιγραφικής ανάλυσης** επέτρεψε μια πρώτη εικόνα και κατανόηση του μεγάλου αριθμού των παραμέτρων που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, δόθηκε μια επισκόπηση όλων των παραγόντων κινδύνου που παρείχε το πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και σε προσομοιωτή οδήγησης, διερευνώντας την επίδραση των οδηγικών χαρακτηριστικών της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης και της ικανότητας αντιμετώπισης στον κίνδυνο ατυχήματος.

Δεύτερον, εφαρμόστηκε **ανάλυση παλινδρόμησης** (π.χ. Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα) όσον αφορά βασικές παραμέτρους επιδόσεων, όπως η ταχύτητα και η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα. Τέτοια μοντέλα χρησιμοποιούνταν συχνά στην ανάλυση της συμπεριφοράς των οδηγών, προκειμένου να εξεταστούν οι βασικές συσχετίσεις μεταξύ των παρατηρούμενων μεταβλητών και να προσδιοριστεί η επίδραση της πολυπλοκότητας του έργου της και της ικανότητας αντιμετώπισης σε συγκεκριμένες παραμέτρους επιδόσεων οδήγησης. Επιπλέον, αξιολογήθηκαν οι επεξηγηματικές μεταβλητές κινδύνου και οι πιο αξιόπιστοι δείκτες της πολυπλοκότητας των καθκόντων (π.χ. ώρα της ημέρας, καιρικές συνθήκες), της ικανότητας αντιμετώπισης - κατάσταση οχήματος (π.χ. τύπος καυσίμου, ηλικία οχήματος, κιβώτιο ταχυτήτων) και της ικανότητας αντιμετώπισης - κατάσταση οδηγού (π.χ. υπερβολική ταχύτητα, απόσταση, παράνομη προσπέραση, κόπωση, απότομα συμβάντα).

Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν επειδή επιτρέπουν την μοντελοποίηση των σχέσεων μεταξύ πολλαπλών επεξηγηματικών μεταβλητών και των αποτελεσμάτων των επιδόσεων. Τα GLMs είναι κατάλληλα για τον χειρισμό μη κανονικά κατανομημένων δεδομένων, κάτι που είναι σύνηθες σε σύνολα δεδομένων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά και την κυκλοφορία, επιτρέποντας την ακριβή εξέταση του τρόπου με τον οποίο η πολυπλοκότητα του έργου της οδήγησης και η ικανότητα αντιμετώπισης επηρεάζουν βασικές παραμέτρους επιδόσεων, όπως η ταχύτητα και η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα. Επιπλέον, η ικανότητά τους να ενσωματώνουν διαφορετικές συναρτήσεις σύνδεσης τις καθιστά ιδανικές για την ανάλυση ενός ευρέος φάσματος μεταβλητών απόκρισης, εξασφαλίζοντας αξιόπιστα και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα.

Τρίτον, διενεργήθηκε **λανθάνουσα ανάλυση** (π.χ. Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων) προκειμένου να εντοπιστεί η επίδραση μεταξύ λανθάνουσας και παρατηρήσιμης μεταβλητής της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης και της ικανότητας αντιμετώπισης με σύνθετες σχέσεις (π.χ. κίνδυνος ατυχήματος). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα Μοντέλα Δομικών Εξισώσεων αποτελούν τη θεμελιώδη πτυχή της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι μεταβλητές του μοντέλου συνδέονται μεταξύ τους, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση τόσο άμεσων όσο και έμμεσων σχέσεων. Η ανάλυση SEM είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη και κατάλληλη για τη μοντελοποίηση σύνθετων και πολύ-επίπεδων σχέσεων μεταξύ παρατηρούμενων (π.χ. αριθμός συμβάντων υπερβολικής ταχύτητας) και μη παρατηρούμενων μεταβλητών (π.χ. κίνδυνος ατυχήματος).

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρατηρούμενες μεταβλητές είναι μετρήσιμες, ενώ οι μη παρατηρούμενες μεταβλητές είναι λανθάνουσες. Αυτός ο τύπος ανάλυσης έχει σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση αρκετών δύσκολων προκλήσεων μοντελοποίησης, συμπεριλαμβανομένων των περιπτώσεων στις οποίες ορισμένες μεταβλητές είναι **μη παρατηρήσιμες ή λανθάνουσες** και μετρώνται με τη χρήση μιας ή περισσότερων εξωγενών μεταβλητών. Στην παρούσα ανάλυση, η πολυπλοκότητα του έργου της οδήγησης, η ικανότητα αντιμετώπισης και ο κίνδυνος ατυχήματος ήταν οι μη παρατηρούμενες μεταβλητές οι οποίες εκτιμήθηκαν από συγκεκριμένες παραμέτρους. Ο κύριος στόχος αυτής της προσπάθειας ήταν να εκτιμηθεί άμεσα η επίδραση των παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και του οδηγού για τον προσδιορισμό της Ζώνης Ανοχής Ασφάλειας (STZ).

- Στη δεύτερη φάση, διεξήχθη **ανάλυση μηχανικής μάθησης** για προγνωστικούς σκοπούς, ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν ακριβέστερες και επαναλήψιμες προβλέψεις.

Πρώτον, εφαρμόστηκε **ανάλυση σημαντικότητας** χαρακτηριστικών (π.χ. XGBoost) προκειμένου να αξιολογηθεί η σημασία διαφόρων μεταβλητών στην πρόβλεψη των επιπέδων STZ όσον αφορά την ταχύτητα και την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα. Η προσέγγιση αυτή επέτρεψε την επιλογή των καταλληλότερων ανεξάρτητων μεταβλητών, διασφαλίζοντας ότι οι παράγοντες με τη μεγαλύτερη επιρροή εντοπίστηκαν και ιεραρχήθηκαν στην ανάλυση.

Δεύτερον, εφαρμόστηκε ανάλυση μηχανικής μάθησης (π.χ. **Νευρωνικά Δίκτυα**) προκειμένου να γίνουν ακριβείς και καθοδηγούμενες από τα δεδομένα προβλέψεις με τον εντοπισμό σύνθετων μοτίβων μεταξύ της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης και της ικανότητας αντιμετώπισης του κινδύνου σύγκρουσης. Τα Νευρωνικά Δίκτυα είναι ιδιαίτερα κατάλληλα λόγω της ικανότητάς τους να μοντελοποιούν μη γραμμικές σχέσεις και να συλλαμβάνουν κρυμμένα μοτίβα σε δεδομένα ευρείας κλίμακας, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια πρόβλεψης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους. Η προσαρμοστικότητά τους τα καθιστά



ιδανικά για την κατανόηση των περίπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης, της ικανότητας αντιμετώπισης και του κινδύνου σύγκρουσης, οδηγώντας σε πιο ισχυρές και βασισμένες στα δεδομένα γνώσεις.

Τρίτον, για την επίτευξη των στόχων της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής (δηλαδή τον προσδιορισμό των επιπέδων STZ), προτάθηκαν τρία μοντέλα ταξινόμησης **λόγω των ισχυρών επιδόσεών τους και της ευρείας χρήσης τους** στη βιβλιογραφία για τον προσδιορισμό μη ασφαλούς οδηγικής συμπεριφοράς, την πρόβλεψη συγκρούσεων σε πραγματικό χρόνο και άλλες προκλήσεις σε πραγματικές συνθήκες. Οι αλγόριθμοι που επιλέχθηκαν ήταν τα Δέντρα Απόφασης, τα Τυχαία Δάση και οι K-Κοντινότεροι Γείτονες. Ο προγνωστικός χαρακτήρας αυτών των μοντέλων υπογραμμίζεται από την ικανότητά τους να προβλέπουν επικίνδυνες οδηγικές συμπεριφορές πριν από την εμφάνισή τους, χρησιμοποιώντας δεδομένα πραγματικού χρόνου για την πρόβλεψη της πιθανότητας εκδήλωσης συμβάντων υπερβολικής ταχύτητας ή απόστασης από το προπορευόμενο όχημα. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με βάση διάφορες μετρικές, όπως η ορθότητα, η ακρίβεια, η ανάκληση, το ποσοστό ψευδούς συναγερμού και το F1-score.

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή επιλέχθηκαν οι προαναφερθέντες ταξινομητές για την πρόβλεψη των τριών επιπέδων STZ. Πρώτον, χρησιμοποιήθηκαν τα Δέντρα Αποφάσεων λόγω της **απλότητας και της ικανότητάς τους να χειρίζονται κατηγορικά δεδομένα**, όπως χαρακτηριστικά οχημάτων και οδικές συνθήκες. Δεύτερον, τα Τυχαία Δάση, ως μέθοδος συνόλου, παρείχαν **αυξημένη σταθερότητα και ακρίβεια** με τη συγκέντρωση πολλαπλών Δέντρων Απόφασης, γεγονός που μετρίασε την υπερπροσαρμογή και βελτίωσε τη γενίκευση σε νέα δεδομένα. Τρίτον, επιλέχθηκαν οι K-Κοντινότεροι Γείτονες για την **ικανότητά τους στον εντοπισμό μη γραμμικών σχέσεων** που μπορεί να παραβλέπονται από μεθόδους που βασίζονται σε δέντρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι K-Κοντινότεροι Γείτονες είναι μια μη παραμετρική μέθοδος που υπερέχει στη σύλληψη τοπικών μοτίβων εντός των δεδομένων, προσφέροντας ευελιξία κατά την πρόβλεψη των επιπέδων STZ τόσο σε πραγματικές συνθήκες όσο και στον προσομοιωτή, όπου οι σχέσεις μπορεί να ποικίλλουν. Μαζί, αυτοί οι ταξινομητές επέτρεψαν μια ισχυρή σύγκριση των επιδόσεων και της καταλληλότητας σε διαφορετικά περιβάλλοντα οδήγησης.

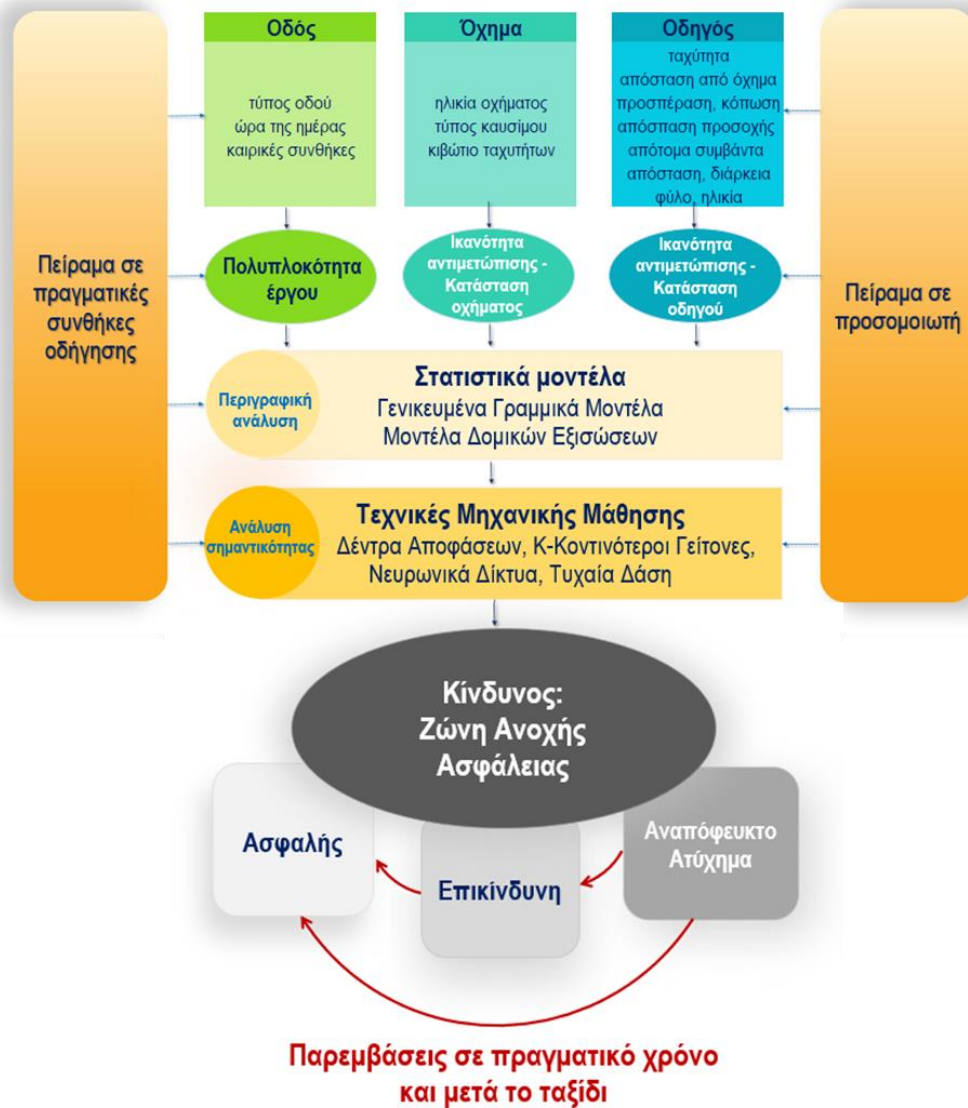
Στο **τέταρτο βήμα**, αναπτύσσεται ένα εννοιολογικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό της Ζώνης Ανοχής Ασφάλειας (STZ). Σύμφωνα με αυτό το πλαίσιο, η STZ επηρεάζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων κινδύνου, συμπεριλαμβανομένων της οδού, του οχήματος και του οδηγού. Άμεση συνέπεια του κινδύνου σύγκρουσης είναι η μεταβολή των επιπέδων STZ. Αυτή η μεταβολή των επιπέδων STZ αντικατοπτρίζεται τόσο στην πολυπλοκότητα του έργου όσο και στην ικανότητα αντιμετώπισης, η οποία περιλαμβάνει τόσο την κατάσταση του οχήματος όσο και του οδηγού. Για να διατηρηθεί ο οδηγός εντός ασφαλών ορίων, εφαρμόζονται παρεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο και μετά το ταξίδι.



Ευανθία Μιχελαράκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

Το ακόλουθο Σχήμα απεικονίζει το εννοιολογικό πλαίσιο της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής.



Η έννοια STZ περιγράφει το σημείο στο οποίο ο αυτορρυθμιζόμενος έλεγχος θεωρείται ασφαλής. Πρόκειται για τη ζώνη όπου οι απαιτήσεις του έργου της οδήγησης (πολυπλοκότητα του έργου) εξισορροπούνται με την ικανότητα του οδηγού να τις αντιμετωπίσει (ικανότητα αντιμετώπισης). Η **STZ περιλαμβάνει τρεις φάσεις**: φάση ασφαλούς οδήγησης, επικίνδυνη φάση και φάση αναπόφευκτου ατυχήματος. Η ασφαλής (ή κανονική) οδήγηση αναφέρεται στη φάση κατά την οποία οι συνθήκες τη δεδομένη χρονική στιγμή υποδηλώνουν ότι είναι απίθανο να συμβεί ατύχημα και, επομένως, ο κίνδυνος ατυχήματος είναι χαμηλός και ο οδηγός προσαρμόζει επιτυχώς τη συμπεριφορά του για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του καθήκοντος. Η επικίνδυνη φάση χαρακτηρίζεται από αλλαγές στην κανονική οδήγηση που υποδηλώνουν ότι μπορεί να συμβεί ένα ατύχημα και, επομένως, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος σύγκρουσης. Σε αυτό το στάδιο η σύγκρουση δεν είναι αναπόφευκτη αλλά γίνεται πιο πιθανή. Το STZ μεταβαίνει στην επικίνδυνη φάση κάθε φορά που οι στιγμιαίες μετρήσεις εντοπίζουν αλλαγές που

Ευανθία Μιχελαράκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

υποδηλώνουν αυξημένο κίνδυνο ατυχήματος. Τέλος, η μετάβαση στη φάση του αναπόφευκτού ατυχήματος πραγματοποιείται όταν αναπτύσσεται ένα σενάριο σύγκρουσης αλλά υπάρχει ακόμη χρόνος για τον οδηγό να παρέμβει προκειμένου να αποφύγει τη σύγκρουση. Σε αυτή τη φάση, η ανάγκη για δράση είναι πιο άμεση, καθώς εάν δεν υπάρξουν αλλαγές ή διορθώσεις στο σύστημα οδικής κυκλοφορίας ή δεν πραγματοποιηθεί ελιγμός αποφυγής από τον οδηγό, είναι πολύ πιθανό να συμβεί σύγκρουση.

Στο πλαίσιο της στατιστικής μοντελοποίησης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης για την εξέταση των επεξηγηματικών μεταβλητών και των αλληλεπιδράσεων τους στο πλαίσιο οδηγός-όχημα-περιβάλλον. Είναι ενδιαφέρον ότι τα GLM που εφαρμόστηκαν αποκάλυψαν **συνεπή αποτελέσματα και στα δύο πειράματα**, γεγονός που υποδηλώνει ότι παρά τις διαφορετικές συνθήκες, οι θεμελιώδεις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών παρέμειναν σταθερές. Αυτή η σύγκριση ανέδειξε τα κρίσιμα στοιχεία που επηρέασαν τα αποτελέσματα και την αξιοπιστία των μοντέλων ανάλυσης, ιδίως τους δείκτες πολυπλοκότητας εργασιών και ικανότητας αντιμετώπισης, καθώς και την επίδρασή τους στον κίνδυνο ατυχήματος, προσφέροντας πληροφορίες σχετικά με την αντίστοιχη συμβολή τους στην αναγνώριση του STZ.

Μέσω της εφαρμογής των μοντέλων SEM, οι αναλύσεις αποκάλυψαν ότι η **πολυπλοκότητα του έργου της οδήγησης συσχετίστηκε θετικά με τον κίνδυνο**, πράγμα που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα των καθηκόντων, τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος ατυχήματος. Πρώτον, κρίσιμοι δείκτες όπως η ώρα της ημέρας και οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά τον κίνδυνο ατυχήματος. Η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας ή υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως η βροχή, μπορεί να επιδεινώσει τις προκλήσεις που θέτουν τα πολύπλοκα καθήκοντα, αυξάνοντας περαιτέρω την πιθανότητα ατυχήματος. Δεύτερον, οι οδηγοί μπορεί να εξουθενωθούν από τις απαιτήσεις των πολύπλοκων καθηκόντων, οδηγώντας σε μειωμένη προσοχή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερημένη ανίχνευση κρίσιμων συμβάντων και σε ανεπαρκείς αντιδράσεις. Επιπλέον, τα πολύπλοκα καθήκοντα μπορεί να απαιτούν από τους οδηγούς να διαθέσουν περισσότερους διανοητικούς πόρους, με αποτέλεσμα να αποσπάσουν την προσοχή τους από βασικές δραστηριότητες οδήγησης. Για παράδειγμα, η αλληλεπίδραση με την τεχνολογία του οχήματος ή τα συστήματα πλοήγησης μπορεί να αυξήσουν τον γνωστικό φόρτο εργασίας και να οδηγήσουν σε μειωμένη εστίαση στο κύριο καθήκον της οδήγησης.

Από την άλλη πλευρά, η **ικανότητα αντιμετώπισης συσχετίστηκε αρνητικά με τον κίνδυνο**, πράγμα που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ικανότητα αντιμετώπισης, τόσο μειώνεται ο κίνδυνος ατυχήματος. Η σχέση αυτή μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι οδηγοί με υψηλότερη ικανότητα αντιμετώπισης είναι καλύτερα εξοπλισμένοι για να χειρίζονται σύνθετες και δύσκολες καταστάσεις οδήγησης. Μπορούν να διαχειρίζονται το άγχος, να λαμβάνουν ταχύτερες και ακριβέστερες αποφάσεις και να διατηρούν καλύτερο έλεγχο των οχημάτων τους, τα οποία συμβάλλουν στην ασφαλέστερη οδήγηση. Κατά συνέπεια, η αυξημένη ικανότητά τους να ανταπεξέρχονται στις απαιτήσεις της οδήγησης

Ευανθία Μιχαλαράκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

μειώνει την πιθανότητα ατυχημάτων και άλλων επικίνδυνων περιστατικών, οδηγώντας σε χαμηλότερο συνολικό κίνδυνο. Αντίθετα, οι οδηγοί με περιορισμένη ικανότητα αντιμετώπισης μπορεί να δυσκολεύονται να διαχειριστούν αποτελεσματικά πολύπλοκα καθήκοντα, οδηγώντας σε υψηλότερο κίνδυνο ατυχήματος. Η μειωμένη ικανότητα αντιμετώπισης μπορεί να εκδηλωθεί ως βραδύτεροι χρόνοι αντίδρασης, μειωμένη κρίση και δυσκολίες στην ιεράρχηση των πληροφοριών. Σε καταστάσεις όπου οι απαιτήσεις του έργου της οδήγησης υπερβαίνουν την ικανότητα αντιμετώπισης του οδηγού, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα σφαλμάτων, λανθασμένων κρίσεων και συγκρούσεων.

Οι λανθάνουσες αναλύσεις κατέδειξαν επίσης **θετική συσχέτιση της πολυπλοκότητας του έργου και της ικανότητας αντιμετώπισης**, γεγονός που σημαίνει ότι η ικανότητα αντιμετώπισης των οδηγών αυξάνεται όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα του έργου της οδήγησης. Αποκαλύφθηκε ότι όταν οι οδηγοί αντιμετώπιζαν σύνθετα καθήκοντα, όπως η οδήγηση κατά τις επικίνδυνες ώρες (22:00-05:00) ή σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, ήταν υποχρεωμένοι να ασχοληθούν βαθύτερα με τη διαδικασία οδήγησης και έτειναν να ρυθμίζουν καλά την ικανότητά τους να αντιδρούν σε πιθανές δυσκολίες, κατά την οδήγηση. Αυτή η αυξημένη εμπλοκή προώθησε την ανάπτυξη προηγμένων οδηγικών δεξιοτήτων και στρατηγικών, επιτρέποντας στους οδηγούς να διαχειρίζονται πιο αποτελεσματικά δύσκολες καταστάσεις. Κατά συνέπεια, η εμπειρία που αποκτήθηκε από τον χειρισμό πολύπλοκων καθηκόντων μεταφράστηκε σε βελτιωμένη συνολική ικανότητα οδήγησης και μεγαλύτερη ικανότητα αντιμετώπισης απροσδόκητων προκλήσεων κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ της πολυπλοκότητας των καθηκόντων και της ικανότητας αντιμετώπισης επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα του οδηγού να παραμένει εντός του επιπέδου STZ. Η υψηλή πολυπλοκότητα των καθηκόντων, όπως η πλοήγηση μέσα σε πυκνή κυκλοφορία, δυσμενείς καιρικές συνθήκες ή άγνωστες διαδρομές, απαιτεί αυξημένους γνωστικούς πόρους, γρήγορη λήψη αποφάσεων και αυξημένη εγρήγορση. Όταν οι οδηγοί έχουν υψηλή ικανότητα αντιμετώπισης, μπορούν να διαχειριστούν αυτές τις προκλήσεις πιο αποτελεσματικά, διατηρώντας τις ενέργειές τους εντός της ασφαλούς ζώνης ανοχής. Ωστόσο, εάν η ικανότητα αντιμετώπισης είναι χαμηλή, ο οδηγός μπορεί να δυσκολευτεί να διαχειριστεί αυτές τις πολυπλοκότητες, οδηγώντας σε αυξημένα επίπεδα στρες και έντασης που ωθούν τις ενέργειές του εκτός της ζώνης ανοχής ασφάλειας. Συνεπώς, η ισορροπία μεταξύ της πολυπλοκότητας του έργου της οδήγησης και της ικανότητας αντιμετώπισης είναι καθοριστικής σημασίας για τον καθορισμό της συνολικής ασφάλειας. Η υψηλή πολυπλοκότητα εργασιών σε συνδυασμό με χαμηλή ικανότητα αντιμετώπισης **οδηγεί σε σημαντικά υψηλότερο κίνδυνο ατυχήματος**, καθώς ο οδηγός είναι πιο πιθανό να ενεργήσει εκτός της STZ, θέτοντας ενδεχομένως σε κίνδυνο την οδηγική απόδοση και την ασφάλεια.

Οι παρεμβάσεις ασφάλειας αξιολογήθηκαν ως προς την αποτελεσματικότητά τους όσον αφορά τη διατήρηση του οδηγού εντός των ασφαλών ορίων (STZ) μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και της συλλογής δεδομένων σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά. Τα ευρήματα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής αποκάλυψαν ότι τόσο οι ειδοποιήσεις



Ευανθία Μιχελάρáκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

σε πραγματικό χρόνο όσο και η ανατροφοδότηση μετά το πέρας του ταξιδιού **επηρέασαν θετικά την αντιστάθμιση κινδύνου**, αύξησαν την ικανότητα αντιμετώπισης των οδηγών και μείωσαν την επικίνδυνη οδηγική συμπεριφορά. Όταν οι παρεμβάσεις ασφαλείας εισήχθησαν κατά τη διάρκεια διαφορετικών φάσεων των πειραμάτων, οι οδηγοί βελτίωσαν την απόδοσή τους, έγιναν πιο συνειδητοποιημένοι και συμμορφώθηκαν με τους κανονισμούς ταχύτητας, γεγονός που οδήγησε σε αισθητή μείωση της μέσης ταχύτητας, μεγαλύτερες αποστάσεις και λιγότερα σκληρά συμβάντα. Επιπλέον, οι οδηγοί βίωσαν λιγότερα αποφευκτέα ατυχήματα και πέρασαν λιγότερο χρόνο σε επικίνδυνες φάσεις.

Στο πλαίσιο της ανάλυσης μηχανικής μάθησης, τα Νευρωνικά Δίκτυα (NN) αποδείχθηκαν η καλύτερη προσέγγιση για την αποτύπωση πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ διαφόρων παραμέτρων οδήγησης και την πρόβλεψη της πιθανότητας πιθανών κινδύνων ή ατυχημάτων. Τα αποτελέσματα των προγνωστικών αναλύσεων αποκάλυψαν **υψηλή ακρίβεια για τα μοντέλα NN** τόσο σε πειράματα επί της οδού όσο και σε πειράματα προσομοιωτή. Τα πειράματα προσομοιωτή έδειξαν εξαιρετικές επιδόσεις, ειδικά στην πρόβλεψη της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα, με ισχυρή ακρίβεια και ανάκληση, υποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα του μοντέλου στον εντοπισμό θετικών δειγμάτων και κλάσεων με κρίσιμη ασφάλεια. Αντίθετα, τα πειράματα επί της οδού, αν και εξακολουθούσαν να είναι ισχυρά, έδειξαν ελαφρώς χαμηλότερη ακρίβεια λόγω της απρόβλεπτης και μεταβλητής κατάστασης των πραγματικών συνθηκών. Τα μοντέλα είχαν καλύτερες επιδόσεις σε φάσεις ασφαλούς οδήγησης, πιθανότατα επειδή αυτές οι συνθήκες ήταν πιο συνεπείς και αποτελούσαν την πλειονότητα των δεδομένων εκπαίδευσης. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά της ασφαλούς (κανονικής) οδήγησης ήταν πιο ευδιάκριτα και λιγότερο διαφορούμενα σε σύγκριση με τις συνθήκες κινδύνου, μειώνοντας τους κινδύνους εσφαλμένης ταξινόμησης. Συνολικά, και τα δύο πειράματα έδειξαν καλή απόδοση του μοντέλου, αλλά το ελεγχόμενο περιβάλλον των πειραμάτων στον προσομοιωτή επέτρεψε μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη προβλεπτική ικανότητα.

Στο **πείραμα επί της οδού** όσον αφορά την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την υπερβολική ταχύτητα, το NN παρουσίασε συνολική ορθότητα 80%. Το ποσοστό ακρίβειας 82% και το ποσοστό ανάκλησης 79,9% έδειξαν ισχυρή ικανότητα εντοπισμού θετικών δειγμάτων και αποτελεσματικής ανίχνευσης κρίσιμων για την ασφάλεια κλάσεων (δηλαδή "επικίνδυνο" και "αναπόφευκτο ατύχημα"). Όσον αφορά το πείραμα επί της οδού σε σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, παρατηρήθηκαν παρόμοιες τάσεις. Συγκεκριμένα, το μοντέλο είχε ορθότητα 81.7% όσον αφορά τις σωστές προβλέψεις.

Στο **πείραμα του προσομοιωτή** όσον αφορά την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την υπερβολική ταχύτητα, το NN παρουσίασε συνολική ορθότητα 85.1%, με ακρίβεια 83.9% και ανάκληση 80.4%. Αυτές οι μετρικές απεικόνισαν την ισχυρή απόδοση του μοντέλου στην πρόβλεψη της κανονικής φάσης, αλλά αποκάλυψαν προκλήσεις στον ακριβή εντοπισμό των επικίνδυνων φάσεων. Παρ' όλα αυτά, το μοντέλο διατήρησε μια ισορροπημένη αντιστάθμιση μεταξύ ακρίβειας, ανάκλησης και ποσοστών ψευδών



Ευανθία Μιχελάρáκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

συναγερμών, υποδεικνύοντας ολοκληρωμένη απόδοση. Τα καλύτερα αποτελέσματα βρέθηκαν στο πείραμα του προσομοιωτή όσον αφορά την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα. Οι συνολικές μετρήσεις του μοντέλου ήταν εντυπωσιακές, με ορθότητα 89.8%, ακρίβεια 91.2% και ανάκληση 90.6%. Αυτές οι μετρικές έδειξαν ότι το μοντέλο είναι εξαιρετικά ακριβές στην πραγματοποίηση σωστών προβλέψεων και υπερέχει στον εντοπισμό θετικών δειγμάτων. Η ικανότητα του μοντέλου να εντοπίζει αποτελεσματικά κρίσιμες για την ασφάλεια κλάσεις καταδείχθηκε επίσης από την υψηλή ανάκληση. Οι επιδόσεις αυτές υποδηλώνουν μια ολοκληρωμένη και αποτελεσματική ικανότητα πρόβλεψης για την πορεία στο περιβάλλον του προσομοιωτή.

Στο πλαίσιο της ανάλυσης μηχανικής μάθησης, αξιολογήθηκαν διεξοδικά οι επιδόσεις τριών ταξινομητών μηχανικής μάθησης (δηλ. DT, RF, kNN) σε δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων (δηλ. σύνολο δεδομένων από πείραμα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης και σύνολο δεδομένων από πείραμα σε προσομοιωτή), προκειμένου να δοθούν πληροφορίες σχετικά με την πολύπλοκη σχέση μεταξύ του κινδύνου και της αλληλεξάρτησης της πολυπλοκότητας του έργου και της ικανότητας αντιμετώπισης. Αξίζει να σημειωθεί ότι **αυτά τα μοντέλα ταξινόμησης επιλέχθηκαν λόγω των ισχυρών επιδόσεών τους** και της ευρείας χρήσης τους στη βιβλιογραφία για τον εντοπισμό μη ασφαλών προτύπων οδήγησης και την πρόβλεψη κινδύνου σε πραγματικό χρόνο.

Η αξιολόγηση των τριών ταξινομητών μηχανικής μάθησης (DT, RF, kNN) αποκάλυψε διαφορετικές επιδόσεις στα δύο σύνολα δεδομένων. Στο **πείραμα επί της οδού** όσον αφορά την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την υπερβολική ταχύτητα, το μοντέλο Τυχαίων Δασών (RF) πέτυχε υψηλή ορθότητα 85.7%, ακρίβεια (85.2%) και ανάκληση (89.8%), γεγονός που καταδεικνύει μια ισχυρή απόδοση στην ταξινόμηση της πραγματικής οδηγικής συμπεριφοράς. Επιπλέον, το μοντέλο Δέντρων Αποφάσεων (DT) είχε επίσης εξαιρετικές επιδόσεις με ορθότητα 83.2%, εξισορροπώντας αποτελεσματικά την ακρίβεια (82.1%) και την ανάκληση (87.7%). Ενώ το μοντέλο Κ-Κοντινότερων Γειτόνων (kNN) παρουσίασε ισχυρή ανάκληση 79.4%, υποδεικνύοντας την ικανότητά του να συλλαμβάνει αποτελεσματικά αληθινά θετικές περιπτώσεις, φάνηκε να έχει τη χαμηλότερη ορθότητα (75.8%) και ακρίβεια (73.6%) σε σύγκριση με τα μοντέλα RF και DT. Όσον αφορά την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, το μοντέλο Τυχαίων Δασών παρουσίασε την υψηλότερη απόδοση, οδηγώντας σε ικανοποιητική ορθότητα (86.9%) και ακρίβεια (88.7%), ενώ παρουσίασε ανταγωνιστικές τιμές ανάκλησης (90.7%). Τα μοντέλα DT και kNN παρουσίασαν παρόμοιες επιδόσεις, αν και το kNN έτεινε να υστερεί ελαφρώς σε ακρίβεια.

Τα αποτελέσματα **από τον προσομοιωτή** ήταν παρόμοια με εκείνα που παρατηρήθηκαν στο πείραμα σε πραγματικές συνθήκες. Ειδικότερα, στο πείραμα σε προσομοιωτή όσον αφορά την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την υπερβολική ταχύτητα, το μοντέλο Τυχαίων Δασών διατήρησε την ισχυρή του απόδοση με υψηλή ορθότητα 89.1%, εξισορροπώντας αποτελεσματικά την ακρίβεια (90.8%), επιτυγχάνοντας ανταγωνιστική ανάκληση (87.5%). Το μοντέλο Δέντρων Αποφάσεων είχε επίσης καλές επιδόσεις με ορθότητα 85.2%, αναδεικνύοντας την ικανότητά του σε αυτό το πλαίσιο προσομοιωτή, εξισορροπώντας

Ευανθία Μιχελάρáκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

αποτελεσματικά την ακρίβεια (85.3%) και την ανάκληση (83.1%). Επιπλέον, το μοντέλο Κ-Κοντινότερων Γειτόνων πέτυχε ικανοποιητική ορθότητα ακρίβεια (81.5%), αλλά είχε χαμηλότερη ακρίβεια (78.3%) και ανάκληση (79.6%) σε σύγκριση με τα RF και DT.

Όσον αφορά την εξαρτημένη μεταβλητή STZ για την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, το μοντέλο Τυχαίων Δασών αναδείχθηκε ως το **μοντέλο με τις καλύτερες επιδόσεις με ορθότητα 90.1%**, αποδεικνύοντας την ικανότητά του να ταξινομεί με ακρίβεια την οδηγική συμπεριφορά σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Ακολουθεί το μοντέλο Δέντρων Αποφάσεων, το οποίο είχε επίσης καλές επιδόσεις σημειώνοντας αξιοσημείωτη ορθότητα 87.1%. Όσον αφορά το μοντέλο Κ-Κοντινότερων Γειτόνων, είχε χαμηλότερες επιδόσεις σε σύγκριση με τα άλλα δύο, εμφανίζοντας χαμηλότερη σταθμισμένη ορθότητα (85%) και ανάκληση (82.6%). Μεταξύ των διαφόρων αλγορίθμων, τα Τυχαία Δάση ξεχώρισαν με την υψηλότερη ορθότητα 90% (για την εξαρτημένη μεταβλητή STZ headway), υποδεικνύοντας την ικανότητά τους να ταξινομούν με ακρίβεια τις οδηγικές συμπεριφορές σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Το μοντέλο Τυχαίων Δασών πέτυχε επίσης μια καλά ισορροπημένη ακρίβεια (87.2%) και ανάκληση (84.1%), αποδεικνύοντας την ευρωστία και την ευελιξία του.

Συνοψίζοντας, οι τρεις αλγόριθμοι είχαν κατατοπιστικά αποτελέσματα όσον αφορά την ακρίβεια και την ανάκληση. Οι διακυμάνσεις των επιδόσεων που παρατηρήθηκαν υπογράμμισαν τη σημασία της επιλογής του κατάλληλου μοντέλου με βάση τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και τους συμβιβασμούς μεταξύ ακρίβειας και ανάκλησης, που είναι απαραίτητοι για τις εφαρμογές σε πραγματικές συνθήκες. Δεδομένου ότι, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, ήταν πιο επικίνδυνο να αναγνωρίζεται λανθασμένα η οδηγική συμπεριφορά ως λιγότερο επικίνδυνη, η μετρική ανάκλησης ήταν η πιο σημαντική μετρική που έπρεπε να εξεταστεί. Έτσι, αξιολογώντας τα αποτελέσματα και των δύο προσεγγίσεων (δηλαδή του πειράματος σε πραγματικές συνθήκες και σε προσομοιωτή), το μοντέλο Τυχαίων Δασών αναδείχθηκε ως το πιο αποτελεσματικό. Συνολικά, **το μοντέλο Τυχαίων Δασών υπερέιχε των μοντέλων Δέντρων Αποφάσεων και Κ-Κοντινότερων Γειτόνων σε όλες τις μετρικές**, καθιστώντας το, το πιο αποτελεσματικό για την πρόβλεψη της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα. Το μοντέλο Δέντρων Αποφάσεων παρουσίασε ικανοποιητικές επιδόσεις, ενώ το μοντέλο Κ-Κοντινότερων Γειτόνων είχε σταθερά τις χαμηλότερες αλλά μέτριες επιδόσεις, υποδεικνύοντας ότι είναι το λιγότερο αποτελεσματικό για το συγκεκριμένο έργο. Τα ευρήματα αυτά είναι απαραίτητα για την προώθηση της κατανόησης της οδηγικής συμπεριφοράς σε διάφορα πλαίσια, συμβάλλοντας τελικά στην ανάπτυξη ασφαλέστερων και αποδοτικότερων συστημάτων μεταφορών.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, ενώ τόσο τα δεδομένα από τα πειράματα σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης όσο και σε προσομοιωτή παρείχαν πολύτιμες πληροφορίες, τα **πειράματα σε προσομοιωτή αποδείχθηκαν τα καταλληλότερα για την πρόβλεψη των επιπέδων STZ**. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι το ελεγχόμενο περιβάλλον του προσομοιωτή επιτρέπει τον χειρισμό συγκεκριμένων μεταβλητών, κάτι που είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε πραγματικές συνθήκες της οδού. Χωρίς την επικύρωση και την



Ευανθία Μιχελάρáκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

ευελιξία που προσφέρουν οι προσομοιωτές, η στήριξη αποκλειστικά σε νατουραλιστικά δεδομένα μπορεί να οδηγήσει σε ελλιπή ή λιγότερο ακριβή συμπεράσματα, καθώς οι συνθήκες του πραγματικού κόσμου είναι συχνά απρόβλεπτες και δυσκολότερο να ελεγχθούν κρίσιμοι παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα του έργου της οδήγησης και η ικανότητα αντιμετώπισης. Ως εκ τούτου, η επικύρωση προσομοιωτών είναι απαραίτητη για ισχυρά και αξιόπιστα συμπεράσματα.

Οι σχετικές συνεισφορές της παρούσας εργασίας αποτελούν συλλογικά σημαντική πρόοδο στον τομέα της έρευνας για την οδική ασφάλεια, προσφέροντας καινοτόμες μεθοδολογίες και γνώσεις που δεν έχουν εξεταστεί στο παρελθόν. Τα καινοτόμα επιστημονικά αποτελέσματα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής αποτελούνται από **πέντε πρωτότυπες επιστημονικές συνεισφορές**, όπως περιγράφονται παρακάτω:



Η πρώτη συνεισφορά της παρούσας έρευνας είναι η **ολοκληρωμένη ανάλυση όλων των παραγόντων κινδύνου**, συμπεριλαμβανομένου της οδού, του οχήματος και του οδηγού. Αυτή η πολύπλευρη εξέταση περιλαμβάνει μια σε βάθος διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο τα στοιχεία αυτά αλληλεπιδρούν και επηρεάζουν την οδική ασφάλεια. Με τον τρόπο αυτό, αντιμετωπίζει την πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των στοιχείων, η οποία συχνά παραβλέπεται στη συμβατική έρευνα που τείνει να απομονώνει κάθε παράγοντα. Με την ενσωμάτωση δεδομένων από διάφορες πηγές και την εξέταση ενός ευρέος φάσματος μεταβλητών, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή παρέχει μια πιο ολιστική και διαφοροποιημένη κατανόηση των παραγόντων των οδικών ατυχημάτων, η οποία δεν έχει εξεταστεί στο παρελθόν. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην υπερβολική ταχύτητα και την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, που βρέθηκαν να είναι οι πιο κρίσιμοι παράγοντες κινδύνου μεταξύ όλων των παραμέτρων που εξετάστηκαν. Έτσι, η ανάγκη διερεύνησης και συγκριτικής αξιολόγησης της επίδρασης των προαναφερθέντων

Ευανθία Μιχελάρáκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

μεταβλητών στον κίνδυνο κατέστη υψηλή προτεραιότητα, προκειμένου να εκτιμηθεί με ακρίβεια και να μετριαστεί η επίδρασή τους στα αποτελέσματα της οδικής ασφάλειας.

Μια σημαντική πρόοδος που παρουσιάζεται σε αυτή τη Διδακτορική Διατριβή είναι η διπλή αξιοποίηση δεδομένων από **πειράματα τόσο σε πραγματικές συνθήκες όσο και σε προσομοιωτή οδήγησης**. Αυτός ο καινοτόμος συνδυασμός επιτρέπει τη λεπτομερή και ελεγχόμενη ανάλυση της συμπεριφοράς του οδηγού υπό διαφορετικές συνθήκες, παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις που δεν μπορούν να προκύψουν μεμονωμένα από οποιαδήποτε από τις δύο μεθόδους. Τα πειράματα επί της οδού παρέχουν εγκυρότητα στον πραγματικό κόσμο, ενώ τα πειράματα σε προσομοιωτή προσφέρουν τη δυνατότητα χειρισμού και ελέγχου συγκεκριμένων μεταβλητών χωρίς κίνδυνο. Η χρήση αυτών των συμπληρωματικών πειραμάτων ενισχύει την ευρωστία και τη δυνατότητα εφαρμογής των ερευνητικών ευρημάτων, συμβάλλοντας σε πολύτιμες μεθοδολογικές γνώσεις που προωθούν την κατανόηση της επικίνδυνης οδηγικής συμπεριφοράς και την πρόληψή της. Προσφέρει επίσης μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση για τον τρόπο με τον οποίο οι οδηγοί ανταποκρίνονται σε διάφορα περιβάλλοντα και σενάρια οδήγησης.

Η τρίτη συνεισφορά αφορά την ανάπτυξη μιας **ολοκληρωμένης μεθοδολογίας που συνδυάζει στατιστικά μοντέλα και τεχνικές μηχανικής μάθησης**. Αυτό το μεθοδολογικό πλαίσιο έχει σχεδιαστεί για τον χειρισμό και την ανάλυση μεγάλου συνόλου δεδομένων, εντοπίζοντας σύνθετα πρότυπα και σχέσεις εντός των δεδομένων. Η συμπερίληψη προηγμένων μεθόδων, όπως αναλύσεις παλινδρόμησης και λανθάνουσας ανάλυσης, νευρωνικά δίκτυα και αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, διευκολύνει τη βαθύτερη κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην οδική ασφάλεια. Επιπλέον, τα πιο αποτελεσματικά μοντέλα για την περιγραφή της STZ επιλέχθηκαν αυστηρά και ενσωματώθηκαν στο πλαίσιο. Αυτή η μεθοδολογική καινοτομία είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ακριβών, βασισμένων σε δεδομένα γνώσεων που μπορούν να ενημερώσουν για αποτελεσματικές παρεμβάσεις ασφάλειας.

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή συμβάλλει πρωτοποριακά στην τεχνολογία ασφάλειας των οδηγών μέσω της εφαρμογής **παρεμβάσεων σε πραγματικό χρόνο και ανατροφοδότησης μετά το ταξίδι**. Οι παρεμβάσεις αυτές είναι ειδικά προσαρμοσμένες στο ατομικό προφίλ κινδύνου του οδηγού, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητά τους στην πρόληψη των οδικών ατυχημάτων. Οι παρεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο συμβάλλουν στην αποτροπή των οδηγών από το να προσεγγίζουν μη ασφαλή λειτουργικά όρια, ενώ η ανατροφοδότηση μετά το ταξίδι εκπαιδεύει τους οδηγούς και προωθεί μακροπρόθεσμες αλλαγές συμπεριφοράς. Αυτή η διπλή προσέγγιση όχι μόνο μετριάξει τους άμεσους κινδύνους, αλλά και προάγει τη συνεχή βελτίωση της ασφάλειας και της ευαισθητοποίησης των οδηγών.

Μία από τις πιο καινοτόμες συνεισφορές της παρούσας έρευνας είναι η **εισαγωγή της έννοιας STZ** και η βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού. Αυτό το καινοτόμο πλαίσιο προσφέρει έναν νέο τρόπο κατανόησης και διαχείρισης της οδικής ασφάλειας, λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο με τον οποίο οι οδηγοί αντιλαμβάνονται και



Ευανθία Μιχελράκη

Βελτίωση της ζώνης ανοχής ασφάλειας του οδηγού μέσω ολιστικής ανάλυσης παραγόντων κινδύνου της οδού, του οχήματος και της συμπεριφοράς οδηγού

ανταποκρίνονται στο περιβάλλον οδήγησής τους. Η θεωρία STZ ενσωματώνει γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των οδηγών και τους παράγοντες κινδύνου, παρέχοντας μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της δυναμικής της οδικής ασφάλειας. Αυτή η ολιστική προοπτική είναι μοναδική και ενισχύει σημαντικά την ικανότητα πρόβλεψης και πρόληψης μη ασφαλών συνθηκών οδήγησης.

Συνολικά, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή πρωτοπορεί σε μια **ολιστική προσέγγιση της οδικής ασφάλειας**, αντιμετωπίζοντας την οδό, το όχημα και τον οδηγό ως ένα διασυνδεδεμένο σύστημα. Αυτή η ολοκληρωμένη προοπτική αντιμετωπίζει τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων, οι οποίες συχνά παραβλέπονται στη συμβατική έρευνα που απομονώνει κάθε παράγοντα. Με την υιοθέτηση αυτής της ολιστικής προσέγγισης, η έρευνα βελτιώνει την ακρίβεια των εκτιμήσεων κινδύνου και διευκολύνει την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων παρεμβάσεων ασφάλειας. Αυτή η ολοκληρωμένη κατανόηση της οδικής ασφάλειας περιλαμβάνει όλα τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία (δηλ. όλους τους παράγοντες κινδύνου, πειράματα επί της οδού και σε προσομοιωτή, στατιστική ανάλυση και τεχνικές μηχανικής μάθησης, παρεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο και μετά το ταξίδι, STZ), που αντιπροσωπεύουν μια σημαντική επιστημονική πρόοδο και υπογραμμίζουν τον ολιστικό και διεπιστημονικό χαρακτήρα της έρευνας αυτής.

