

Αξιολόγηση της ενσωμάτωσης βαθιάς μάθησης για βελτιωμένη πρόβλεψη κίνησης πεζών

Γιώργος Γιαννής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Μαζί με:

Στέλλα Ρούσσου, Απόστολος Ζιακόπουλος

Τμήμα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



10th ITS HELLAS Conference

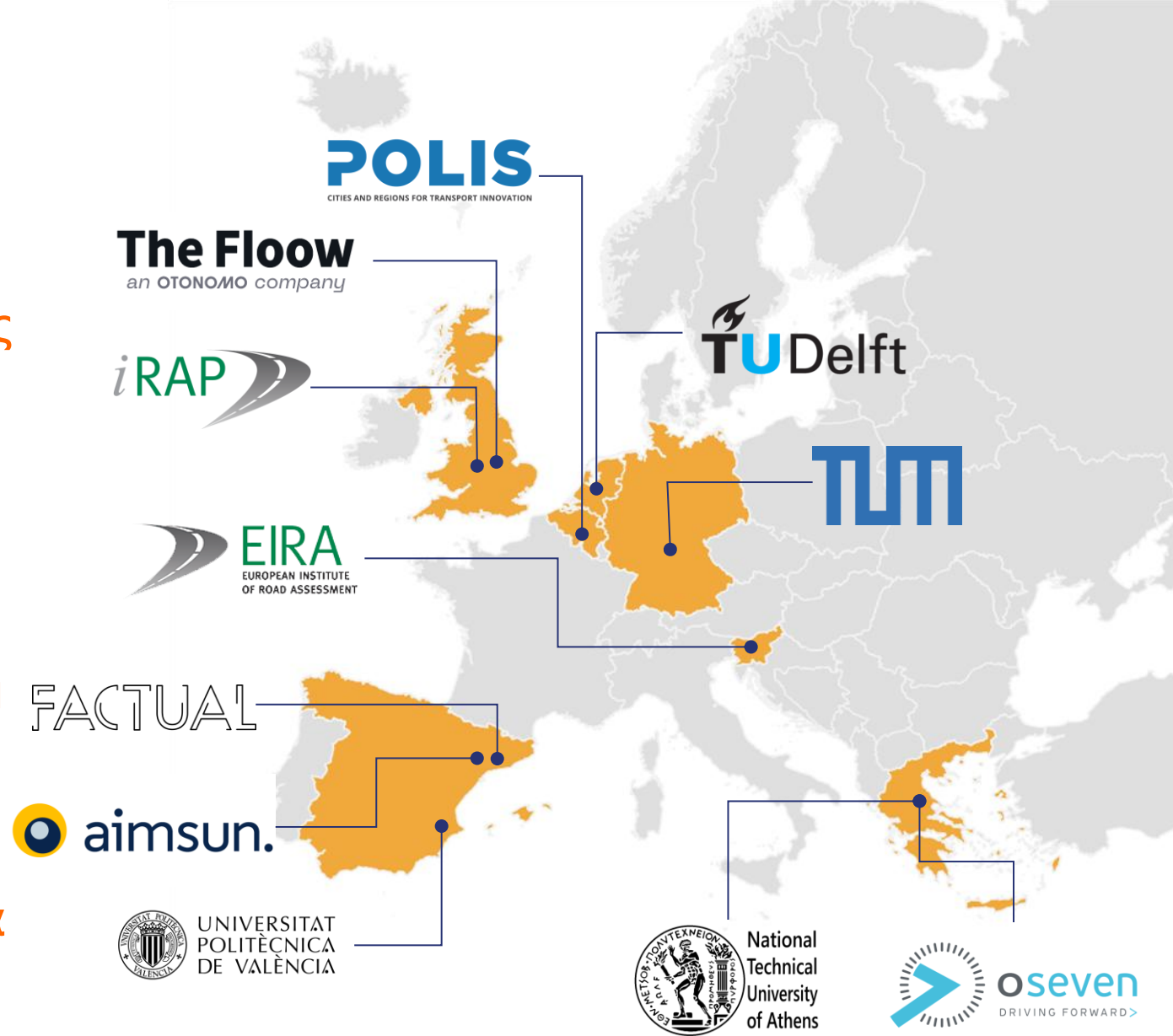
COMPETITIVENESS, ACCESSIBILITY, RESILIENCE IN TRANSPORTS & LOGISTICS

Αθήνα, 8 Μαΐου 2025



Το έργο Phoebe

- Ανάπτυξη ενός **ενοποιημένου, δυναμικού και επεκτάσιμου, ανθρωποκεντρικού πλαισίου πρόβλεψης της οδικής ασφάλειας** για όλους τους τύπους χρηστών του οδικού δικτύου σε αστικές περιοχές.
- Το έργο PHOEBE συνδυάζει **προσομοίωση κυκλοφορίας, αξιολόγηση οδικής ασφάλειας, ανθρώπινη συμπεριφορά, μεταβολές στον τρόπο μετακίνησης και μοντέλα επαγόμενης ζήτησης, καθώς και νέα και αναδυόμενα δεδομένα κινητικότητας, σε ένα εναρμονισμένο και προοπτικό πλαίσιο αξιολόγησης της οδικής ασφάλειας.**



Περίπτωση Μελέτης: Η Αθήνα

Οι βιντεοσκοπήσεις πραγματοποιήθηκαν:

- σε **8 σημεία**,
- για **1 ώρα σε ώρα αιχμής**,
- για **1 ώρα εκτός αιχμής**,
- για **2 εργάσιμες ημέρες την εβδομάδα** (Τρίτη – Πέμπτη),
- για **2 εβδομάδες τον μήνα**.

Συνολικά καταγράφηκαν **64 ώρες βίντεο**, 8 ώρες για κάθε τοποθεσία, **χρησιμοποιώντας κάμερες κινητών τηλεφώνων**, αναδεικνύοντας τη **δυνατότητα εύκολης μεταφοράς της μεθοδολογίας**, χωρίς την ανάγκη εξειδικευμένου, ακριβού ή βαρύ εξοπλισμού.



Σκοπός

1. Ανάπτυξη ενός **καινοτόμου αλγορίθμου** βασισμένου σε σύγχρονες τεχνολογίες υπολογιστικής όρασης και τεχνητής νοημοσύνης, με στόχο την αντικατάσταση ή τον περιορισμό της ανάγκης για παραδοσιακές και δαπανηρές μετρήσεις πεδίου.
2. Αυτόματη ανίχνευση και **ταξινόμηση νόμιμων και παράνομων διαβάσεων** πεζών και οχημάτων, αξιοποιώντας δεδομένα από βίντεο πραγματικών κυκλοφοριακών συνθηκών.
3. Καταγραφή **κρίσιμων κυκλοφοριακών μεταβλητών**, όπως η ταχύτητα των χρηστών της οδού, η κατεύθυνση κίνησης και η αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών τύπων χρηστών (πεζοί, οχήματα), καθώς και **υπολογισμός δεικτών οδικής ασφάλειας**, όπως TTC (Time to Collision) και PET (Post Encroachment Time).
4. Δημιουργία μιας **ευέλικτης και εφαρμόσιμης λύσης** για το αστικό περιβάλλον, με στόχο την υλοποίησή της σε πόλεις όπως η Αθήνα, συμβάλλοντας στην ενίσχυση της οδικής ασφάλειας και της βιώσιμης κινητικότητας.



Λογική του Αλγορίθμου

➤ Ανίχνευση αντικειμένων με YOLOv8

Ένα πλαίσιο ανίχνευσης αντικειμένων βασισμένο σε νευρωνικά δίκτυα, το οποίο εντοπίζει αντικείμενα όπως πεζούς και οχήματα.

➤ Δίκτυο ResNet-50 και Επαναταυτοποίηση (Re-Identification)

Εξασφαλίζει συνεχή παρακολούθηση των αντικειμένων μέσα σε διαδοχικά καρέ (πλαίσια).

➤ Αλγόριθμος Hungarian

Τα ανιχνευμένα αντικείμενα αντιστοιχίζονται με τα παρακολουθούμενα, κάτι που είναι κρίσιμο για τη διατήρηση συνεπών αντιστοιχιών.

➤ Πρόβλεψη με φίλτρο Kalman

Το φίλτρο Kalman παρακολουθεί την κίνηση με συνέχεια, ακόμη και όταν τα αντικείμενα αποκρύπτονται ή εξαφανίζονται προσωρινά από το καρέ (π.χ. όταν ένας πεζός περνά πίσω από ένα όχημα).

➤ Ενσωμάτωση Μοντέλου LSTM

Εκπαίδευση του Long Short Term Memory (LSTM) σε ακολουθίες θέσεων/ταχυτήτων για κάθε πεζό/όχημα.



Ομογραφία και Προβολή στο Επίπεδο Εδάφους

Μετασχηματισμός Ομογραφίας (Homography Transformation)

- Αντιστοιχεί τις συντεταγμένες της εικόνας σε **συντεταγμένες του επιπέδου** του πραγματικού εδάφους.
- Προβάλλει σημεία από τον **δισδιάστατο χώρο** εικόνας (καρέ βίντεο) σε **πραγματικό δισδιάστατο** επίπεδο (π.χ. στο Google Maps ή χαρτογραφημένο πεζοδρόμιο).

Αυτή η προβολή είναι απαραίτητη για τον **ακριβή εντοπισμό** του εάν οι πεζοί ή τα οχήματα βρίσκονται εντός συγκεκριμένων περιοχών, όπως διαβάσεις πεζών, οι οποίες έχουν οριστεί σε πραγματικές συντεταγμένες.



Περιοχή Ενδιαφέροντος και Φωτεινοί Σηματοδότες

Ανάλυση Συμπεριφοράς Προβαλλόμενων Αντικειμένων

- Ο αλγόριθμος ελέγχει τη θέση τους σε σχέση με την **περιοχή ενδιαφέροντος (ROI)**.
- Αν ένας πεζός ή ένα όχημα εντοπιστεί **εντός της διάβασης** όταν το φανάρι είναι κόκκινο, τότε η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται ως **παραβατική**.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

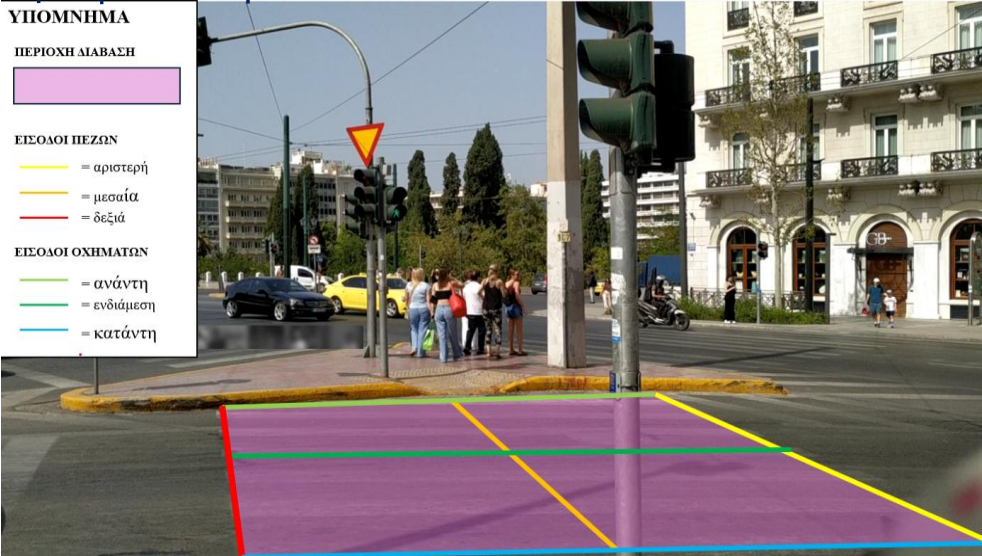
ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΒΑΣΗ

ΕΙΣΟΔΟΙ ΠΕΖΩΝ

- = αριστερή
- = μεσαία
- = δεξιά

ΕΙΣΟΔΟΙ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

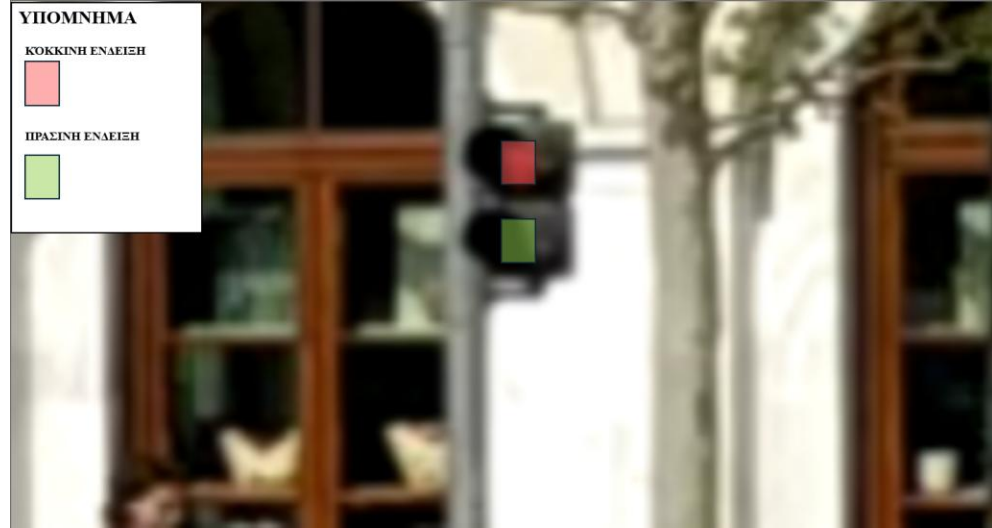
- = ανάντη
- = ενδιάμεση
- = κατάντη



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΚΟΚΚΙΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ

ΠΡΑΣΙΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ



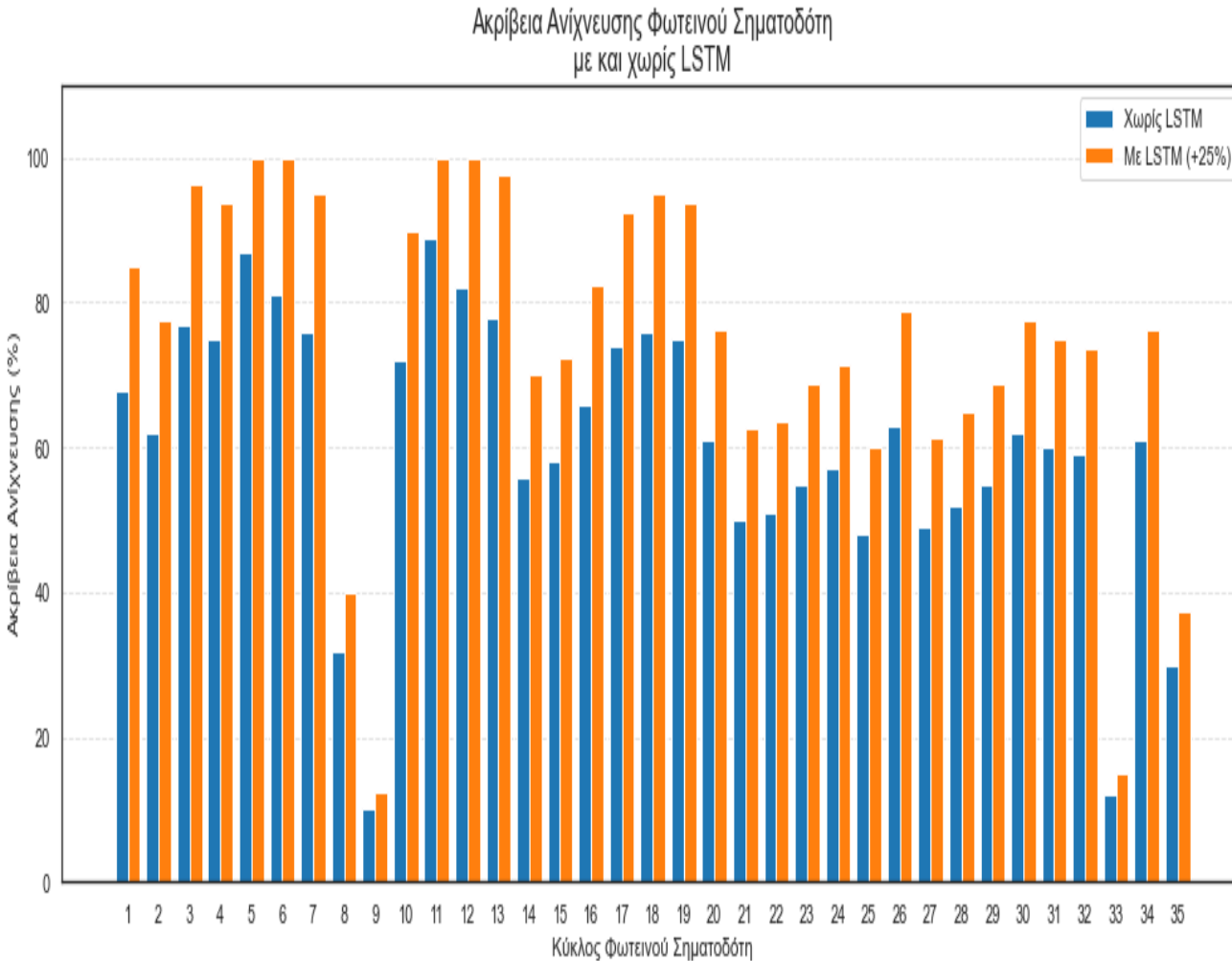
Ανίχνευση Φωτεινού Σηματοδότη

- Το υποσύστημα ανίχνευσης φωτεινών σηματοδοτών απομονώνει **τις περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs)** που αντιστοιχούν στα φανάρια
- Εφαρμόζεται **χρωματική τμηματοποίηση** για να καθοριστεί αν το φανάρι είναι κόκκινο, πορτοκαλί ή πράσινο.



Ανίχνευση Συμπεριφοράς Πεζών

Αξιολόγηση Ακρίβειας Ανίχνευσης Φωτεινού Σηματοδότη

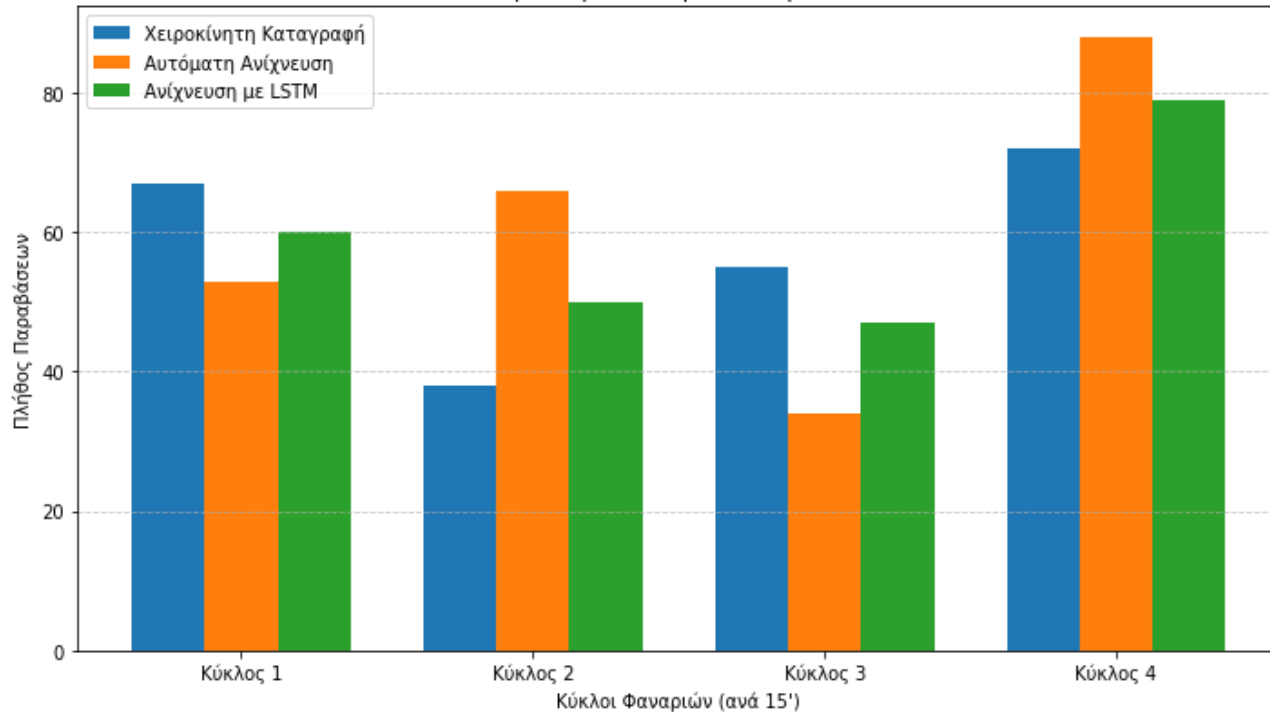


- Η ακρίβεια του αλγορίθμου μεταξύ χειροκίνητης και αυτόματης καταγραφής κυμαίνεται κυρίως μεταξύ **50% και 70%**.
- Μετά από οπτικό έλεγχο των βίντεο, διαπιστώθηκε ότι η χαμηλή ακρίβεια σχετίζεται με την ταξινόμηση καταστάσεων "άγνωστης ένδειξης", εξαιτίας **δυσμενών συνθηκών**, όπως χαμηλός φωτισμός, εμπόδια ή κίνηση της κάμερας από τον άνεμο.
- Με την ενσωμάτωση μοντέλου LSTM, η ακρίβεια βελτιώνεται συστηματικά σε όλους τους κύκλους, **ενισχύοντας τη σταθερότητα του συστήματος κατά ~25%**.



Χειροκίνητη vs Αυτόματη Ανίχνευση vs LSTM

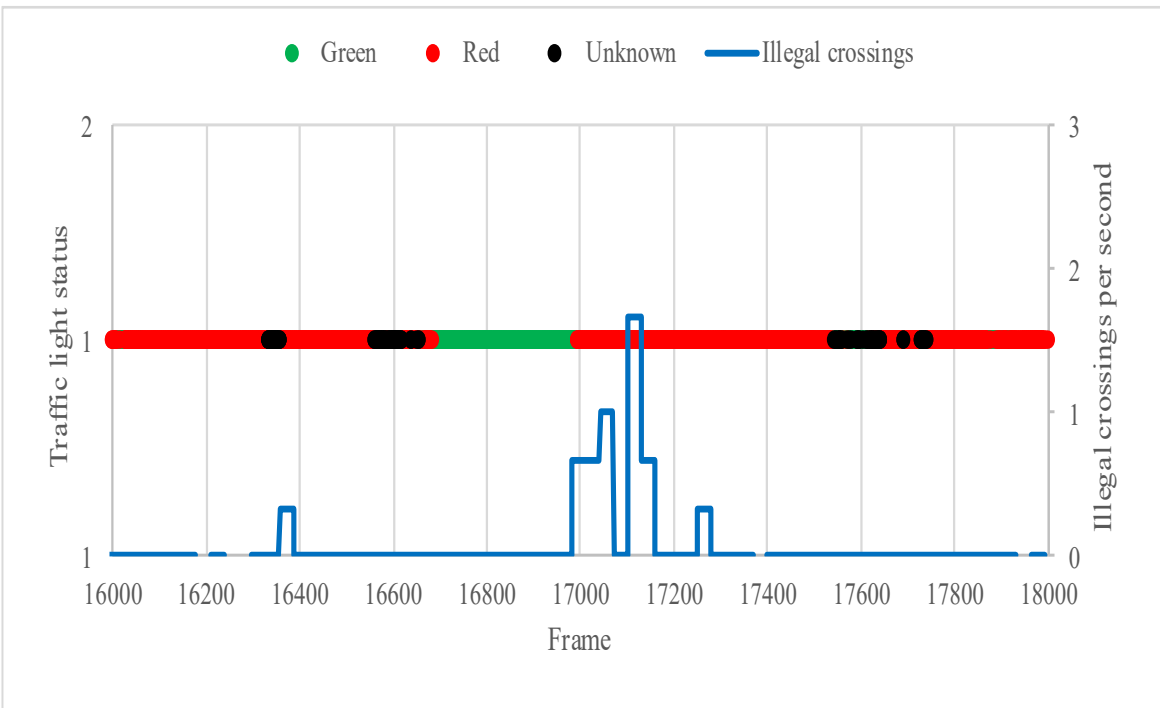
Καταγραφή Παράνομων Διαβάσεων Πεζών ανά Κύκλο Φαναριού
Χειροκίνητα, Αυτόματα και με LSTM



- Η αυτόματη ανίχνευση **παρουσιάζει απόκλιση 25.71%** για τα οχήματα, λόγω της πολυπλοκότητας στον εντοπισμό.
- Η **ενσωμάτωση του LSTM μειώνει** σημαντικά τα σφάλματα: στους πεζούς στο +0.87% και στα οχήματα στο +5.71%.



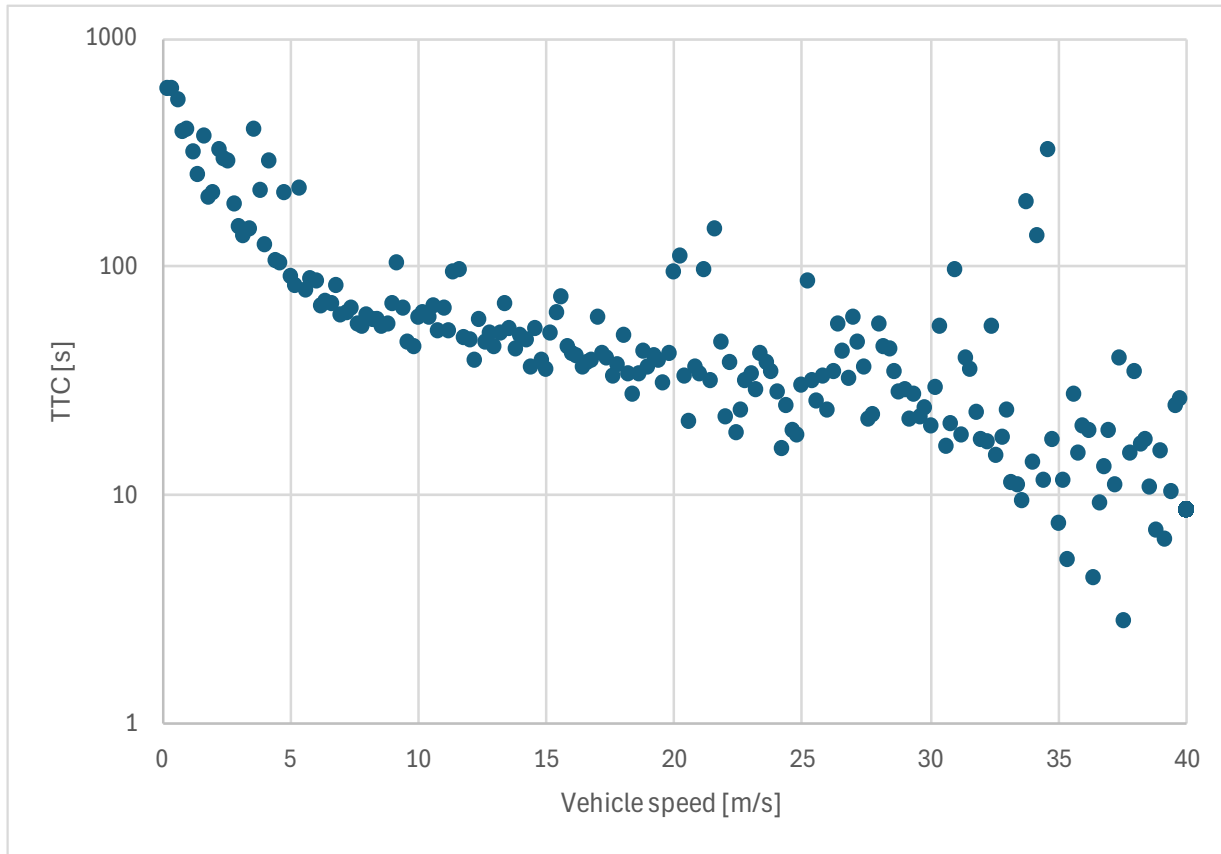
Συσχέτιση Χρόνου Αναμονής και Παραβατικότητας



- Διαπιστώνεται μια σαφής συσχέτιση μεταξύ **παρατεταμένων φάσεων κόκκινου σηματοδότη** και αύξησης στις **παράνομες διαβάσεις πεζών**.
- Οι πεζοί με **μεγαλύτερους χρόνους αναμονής** έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να παραβούν τον σηματοδότη.
- Ο αριθμός των παράνομων διαβάσεων αυξάνεται όταν **η κυκλοφοριακή ροή είναι χαμηλή**, γεγονός που υποδηλώνει υποκειμενική εκτίμηση ασφάλειας.



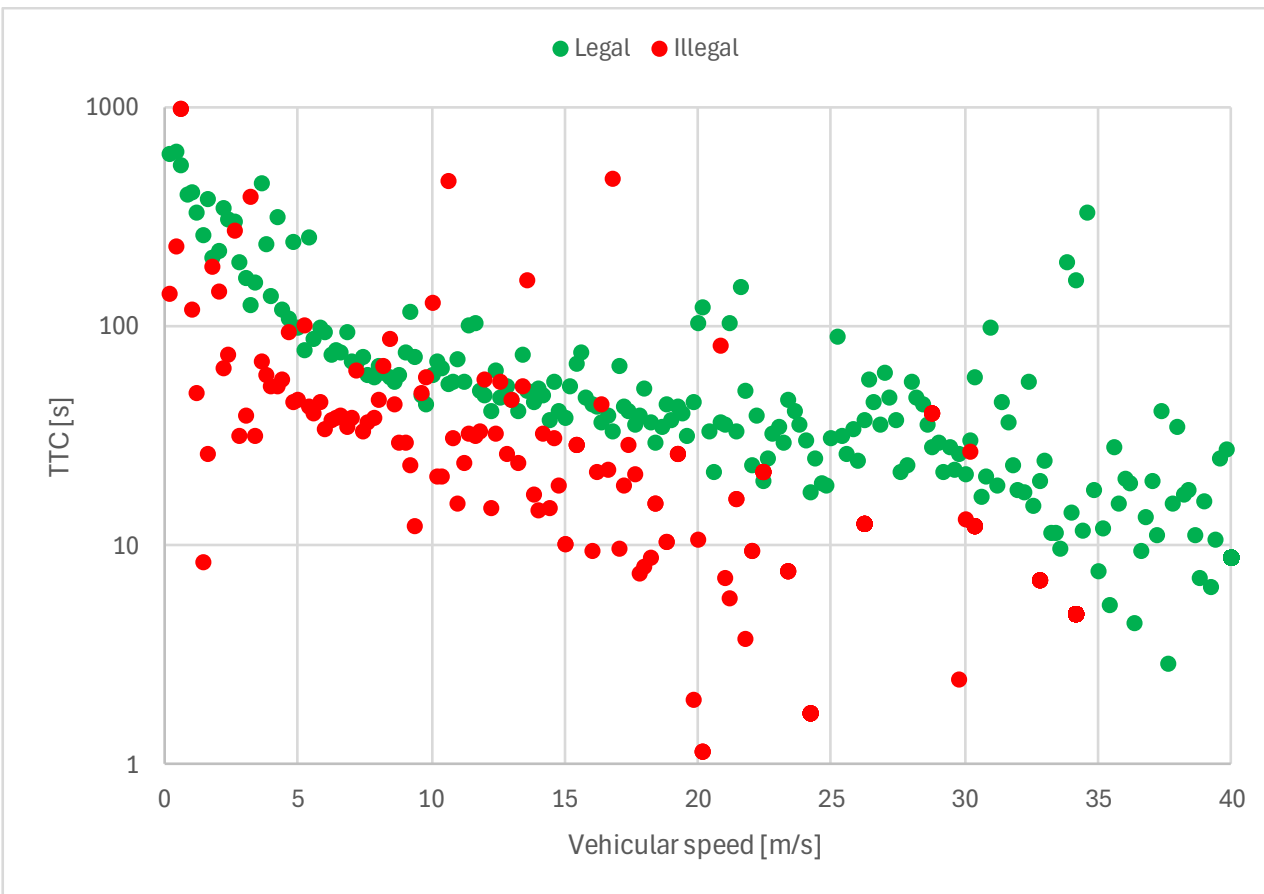
Χρονική Απόσταση Σύγκρουσης (TTC) και Ταχύτητα



- Παρατηρείται αντίστροφη σχέση μεταξύ ταχύτητας και TTC: **όσο αυξάνεται η ταχύτητα, τόσο μειώνεται** ο διαθέσιμος χρόνος αποφυγής σύγκρουσης.
- Σε χαμηλές ταχύτητες (0-5 m/s), οι τιμές TTC είναι υψηλές (>100s), φτάνοντας μέχρι και τα 1000s.
- Σε **υψηλές ταχύτητες** (35-40 m/s), το **TTC μειώνεται σημαντικά**, αυξάνοντας τον κίνδυνο.
- Καταγράφεται **μεγαλύτερη μεταβλητότητα του TTC** σε υψηλές ταχύτητες, ενδεικτική διαφοροποίησης στη δυναμική και τα χαρακτηριστικά της κίνησης.



Παράνομες Διαβάσεις Οχημάτων και Κίνδυνος Σύγκρουσης



- Ο αλγόριθμος καταγράφει **μεγάλες αποκλίσεις ταχυτήτων** σε περιπτώσεις παράνομων διελεύσεων.
- Οι **υψηλές ταχύτητες** κατά τις παράνομες διελεύσεις αυξάνουν σημαντικά **την πιθανότητα σοβαρού τραυματισμού** σε περίπτωση σύγκρουσης.
- Οι παραβάσεις σχετίζονται με ευρύ φάσμα συμπεριφορών, υποδηλώνοντας ότι δεν υπάρχει ένα **κοινό προφίλ παραβάτη**.
- Σε όλες τις ταχύτητες, **οι τιμές TTC για τα παράνομα οχήματα είναι σταθερά χαμηλότερες** από τα νόμιμα, υποδεικνύοντας αυξημένο κίνδυνο για πεζούς.



Συμπεράσματα για Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (ITS)

- Ο αλγόριθμος **ανιχνεύει πεζούς και οχήματα** και ενσωματώνει ανίχνευση της κατάστασης του **σηματοδότη**.
- Προσδιορίζει τη **νόμιμη ή παράνομη συμπεριφορά** χρηστών σε σχέση με τα σήματα κυκλοφορίας.
- Υπολογίζει τον δείκτη **Time-To-Collision** (TTC) με χρήση πολυεπίπεδου αλγοριθμικού πλαισίου.
- Εισάγει νέα εργαλεία αξιολόγησης συμπεριφοράς χρηστών μέσω έμμεσων δεικτών ασφάλειας (**Surrogate Safety Measures**).
- Η ενσωμάτωση **μοντέλων βαθιάς μάθησης** (π.χ. LSTM) σε εργαλεία βίντεο-ανάλυσης προσφέρει μια νέα εποχή στις ευφυείς μεταφορές, μετατρέποντας απλά δεδομένα βίντεο σε **χρήσιμες ενδείξεις παραβατικότητας, ασφάλειας και δυναμικής οδικής συμπεριφοράς**.



Αξιολόγηση της ενσωμάτωσης βαθιάς μάθησης για βελτιωμένη πρόβλεψη κίνησης πεζών

Γιώργος Γιαννής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Μαζί με:

Στέλλα Ρούσσου, Απόστολος Ζιακόπουλος

Τμήμα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



10th ITS HELLAS Conference

COMPETITIVENESS, ACCESSIBILITY, RESILIENCE IN TRANSPORTS & LOGISTICS

Αθήνα, 8 Μαΐου 2025

