

## Διαχείριση Στάθμευσης υπό Περιορισμούς

**Βασιλεία Παπαθανασοπούλου, Ιουλία Μάρκου, Κωνσταντίνος Αντωνίου,  
Βασίλειος Γκίκας, Αθανάσιος Μπίμης, Χάρης Περάκης, Γιώργος Γιαννής**

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

E-mail: vrapath@mail.ntua.gr, ioulia@central.ntua.gr, antoniou@central.ntua.gr,  
vgikas@central.ntua.gr, ampimimis@central.ntua.gr, hperakis@central.ntua.gr,  
geyannis@central.ntua.gr

### Περίληψη

Τα κυκλοφοριακά μοντέλα προσομοίωσης επιτρέπουν την αξιολόγηση των οδικών δικτύων και αποτελούν θεμελιώδες εργαλείο για την κυκλοφοριακή διαχείριση, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης στάθμευσης. Η κυκλοφοριακή προσομοίωση είναι ένα ώριμο πεδίο με αρκετές δεκαετίες ανάπτυξης. Ωστόσο, οι περισσότερες υφιστάμενες έρευνες εστιάζουν στην κυκλοφοριακή προσομοίωση υπό κανονικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Η κυκλοφοριακή προσομοίωση μεικτών δικτύων σε συνθήκες κοντά σε υπερβαίνουσα χωρητικότητα ή σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης αποτελεί ακόμα πρόκληση. Η έρευνα αυτή εστιάζει στην ανάπτυξη λύσεων για τη διαχείριση υποδομών στάθμευσης και τροφοδοσίας (depot) μεγάλης κλίμακας (τόσο για επιβατικές χρήσεις, όσο και για εμπορικούς στόλους) υπό περιορισμούς, οι οποίοι περιλαμβάνουν ζήτηση κοντά στην χωρητικότητα, χρονικά συγκεντρωμένες αφίξεις/αναχωρήσεις και εκκένωση/έκτακτες ανάγκες. Αναπτύσσεται ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο απαρτίζεται από τέσσερις βασικούς άξονες και συγκεκριμένα τη μοντελοποίηση και προσομοίωση της στάθμευσης, τον εντοπισμό οχημάτων σε εσωτερικούς χώρους (όπου τεχνολογίες GPS δεν είναι διαθέσιμες), τον έλεγχο και την καθοδήγηση μέσω διάχυσης της κυκλοφοριακής πληροφορίας και την ανάπτυξη σεναρίων για την τελική αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων. Για την κατανόηση των αναγκών που υπάρχουν στο πλαίσιο της έρευνας αυτής διεξήχθησαν δύο πειράματα στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης, σε παρόμοιο περιβάλλον με αυτό που συναντάται σε μεγάλους χώρους στάθμευσης. Η πειραματική διάταξη αναλύεται λεπτομερώς και από την πρώτη ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων προκύπτουν κάποια συμπεράσματα.

**Λέξεις κλειδιά:** προσομοίωση υποδομών στάθμευσης, εκκένωση, έκτακτες ανάγκες, εντοπισμός οχημάτων, διάχυση κυκλοφοριακής πληροφορίας, μεγάλοι χώροι στάθμευσης

### Abstract

Traffic simulation models allow the evaluation of road networks and are used as a fundamental tool for traffic management, including parking management. Traffic simulation is a mature field with several decades of research. However, most existing studies focus on traffic simulation under normal traffic conditions. Traffic simulation of mixed networks in conditions close to exceeding capacity or in emergency cases is still a challenge. This research focuses on the development of solutions for the management of large-scale parking facilities and depots (for either passenger vehicles or commercial fleets) under constraints including near-capacity demand, temporally concentrated arrivals/departures and need for emergency evacuation. An integrated methodological framework will be developed that will operationalize a cycle created from the following main methodological and technological challenges/ components, mainly microscopic parking facility simulation, vehicle localization support in indoor environment (where GPS devices are unavailable), information generation- dissemination and control and strategy generation for the optimal parking management schemes. For understanding of the needs that exist in the context of this research two experiments were conducted in the area of the National Technical University (NTUA) campus, in a similar environment to that in a large parking facility. The experimental setup is analyzed in detail and from the first analysis of the available data some conclusions are drawn.

**Keywords:** *parking simulation, evacuation, emergency, vehicle localization, traffic information dissemination, large-scale parking facilities*

## 1. Εισαγωγή

Τα κυκλοφοριακά μοντέλα προσομοίωσης επιτρέπουν την αξιολόγηση των οδικών δικτύων και αποτελούν θεμελιώδες εργαλείο για την κυκλοφοριακή διαχείριση, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης στάθμευσης. Οι Zorn et al. (2011) υλοποίησαν στον προσομοιωτή διάφορα σενάρια διαχείρισης της κυκλοφορίας και παρόδιας στάθμευσης με χρέωση για το κέντρο του Σαν Φρανσίσκο. Οι συγγραφείς αναφέρουν ως έναν από τους περιορισμούς της μελέτης, το γεγονός ότι δεν μπορούσαν να διακρίνουν τη θέση στάθμευσης από το πραγματικό σημείο έναρξης / λήξης του ταξιδιού. Οι Gallo et al. (2011) και οι Arnott and Inci (2006) προσομοίωσαν την επίδραση της αναζήτησης στάθμευσης σε αστικά περιβάλλοντα, ενώ οι Martens et al. (2010) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο GIS για την προσομοίωση διαφόρων σχεδίων διαχείρισης παρκινγκ. Τα προηγούμενα μοντέλα ήταν μακροσκοπικά ή μεσοσκοπικά και επομένως δεν περιλαμβάνουν μικροσκοπικές λεπτομέρειες που απαιτούνται για τη σύλληψη συγκεκριμένων παραμέτρων μιας λεπτομερούς μοντελοποίησης στάθμευσης. Οι Van der Waerden et al. (2002) ανέπτυξαν ένα μικροσκοπικό μοντέλο στάθμευσης για την πρόβλεψη των επιδράσεων σε τοπικό επίπεδο (ονομαζόμενο «PAMELA»), το οποίο μπορεί να διαμορφώνει τις επιλογές των οδηγών σε μια περιοχή, στην οποία δεν υπάρχει χώρος στάθμευσης, και περιλαμβάνει ένα υπομοντέλο για την εκτίμηση της διάρκειας στάθμευσης. Οι Caicedo et al. (2006) χρησιμοποίησαν επίσης ένα μικροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης για την βέλτιστη αναπαράσταση της κυκλοφορίας σε έναν υπόγειο χώρο στάθμευσης. Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε διαπιστώνεται ότι ενώ υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την προσομοίωση της στάθμευσης παρά την οδό ή σε ειδικές εγκαταστάσεις, οι περισσότερες μελέτες αναφέρονται σε «κανονικές» συνθήκες κυκλοφορίας. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες μελέτες που αναφέρονται σε ειδικά συμβάντα. Για παράδειγμα, οι Shao et al. (2008) μελέτησαν προβλήματα που συνδέονται με την εκκένωση του κύριου χώρου στάθμευσης στους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2008 στο Πεκίνο και ανέπτυξαν σχέδια εκκένωσης. Ομοίως, οι Sarasua et al. (2005) χρησιμοποίησαν ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών και ένα μικροσκοπικό προσομοιωτή κυκλοφορίας για τη μοντελοποίηση της διαχείρισης της κυκλοφορίας στην πανεπιστημιούπολη του Clemson (ΗΠΑ) κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης αθλητικής εκδήλωσης. Κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης οι επισκέπτες στην μικρή αυτή θα εξυπηρετούνταν από τέσσερις χώρους στάθμευσης υψηλής χωρητικότητας.

Η κυκλοφοριακή προσομοίωση είναι ένα ώριμο πεδίο με αρκετές δεκαετίες ανάπτυξης. Ενώ κάποιες πτυχές της μπορεί να είναι σε επίπεδο όπου οι περισσότερες προκλήσεις μπορούν να ξεπεραστούν, υπάρχουν ακόμα κάποια ζητήματα που παραμένουν άλυτα. Για παράδειγμα, η κυκλοφοριακή προσομοίωση μεικτών δικτύων σε συνθήκες κοντά σε υπερβαίνουσα χωρητικότητα αποτελεί ακόμα πρόκληση. Ομοίως, η μοντελοποίηση κυκλοφορίας χαμηλής ταχύτητας αποτελεί επίσης πρόκληση (συνήθως οδηγεί σε υποεκτίμηση της χωρητικότητας), ενώ οι ελιγμοί για στάθμευση και οι επιπτώσεις τους στα γύρω οχήματα είναι πτυχές, των οποίων η μοντελοποίηση μπορεί να βελτιωθεί. Σημειώνεται ότι και τα δύο φαινόμενα μελετώνται στο πλαίσιο της έρευνας αυτής.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η ανάπτυξη λύσεων για τη διαχείριση χώρων στάθμευσης (είτε επιβατικών οχημάτων είτε εμπορικών στόλων) μεγάλης κλίμακας, υπό

περιορισμούς, π.χ.: (i) ζήτηση κοντά στη χωρητικότητα, (ii) χρονικά συγκεντρωμένες αναχωρήσεις/αφίξεις, (iii) συνθήκες εκτάκτου ανάγκης/ εκκένωσης. Αναπτύσσεται ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο βασίζεται σε έναν αριθμό κατάλληλων τεχνολογιών αιχμής, όπως η μικροσκοπική κυκλοφοριακή προσομοίωση, η χρήση τεχνολογιών εντοπισμού σε κλειστούς χώρους (όπου το GPS δεν μπορεί να λειτουργήσει), η παροχή κυκλοφοριακής πληροφόρησης και οι τεχνικές ελέγχου κυκλοφορίας.

Η δημιουργία μια ενοποιημένης λύσης που θα περιλαμβάνει τα απαραίτητα συστήματα και λογισμικά θα συμβάλει στην ανάπτυξη νέων προοπτικών και καινοτόμων επιχειρηματικών σχεδίων. Η προτεινόμενη λύση θα μπορεί να εφαρμοστεί για την ενίσχυση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης σε εσωτερικούς χώρους, καθώς και την αύξηση αξιοπιστίας μοντέλων προσομοίωσης σε χώρους στάθμευσης μεγάλης κλίμακας. Επίσης, η χρήση διαδραστικών στρατηγικών ελέγχου για την καθοδήγηση των χρηστών σε συνδυασμό με τη βέλτιστη κυκλοφοριακή προσομοίωση θα συνεισφέρει σημαντικά στην αποτελεσματική αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων.

Στο υπόλοιπο άρθρο αναλύεται η ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τη διαχείριση της στάθμευσης υπό περιορισμούς, η οποία συνίσταται από επιμέρους μεθοδολογίες για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση, τον εντοπισμό των οχημάτων, τον έλεγχο και τη διάχυση της κυκλοφοριακής πληροφόρησης, καθώς και την ανάπτυξη σεναρίων και τη συνολική αξιολόγηση. Έπειτα, περιγράφονται δύο πειράματα τα οποία διεξήχθησαν στον πλαίσιο της έρευνας αυτής και παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα από την προ-ανάλυση των δεδομένων. Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα της έρευνας, οι προοπτικές για τη συνέχιση της και πρακτικές εφαρμογές που μπορούν να βασιστούν σε αυτήν.

## **2. Μεθοδολογία**

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε ανταποκρίνεται στις ακόλουθες μεθοδολογικές και τεχνολογικές προκλήσεις:

- Μικροσκοπική προσομοίωση υποδομών στάθμευσης με στόχο την υποστήριξη των απαραίτητων σεναρίων για την εκπλήρωση του έργου, τόσο από πλευράς ζήτησης όσο και προσφοράς.
- Καινοτόμες μεθοδολογίες και αλγόριθμοι για υποστήριξη εντοπισμού οχημάτων, με χρήση δεδομένων από πολλαπλές πηγές.
- Δημιουργία και διάχυση κυκλοφοριακής πληροφόρησης και έλεγχος κυκλοφορίας
- Δημιουργία στρατηγικών για βέλτιστες προσεγγίσεις διαχείρισης στάθμευσης.

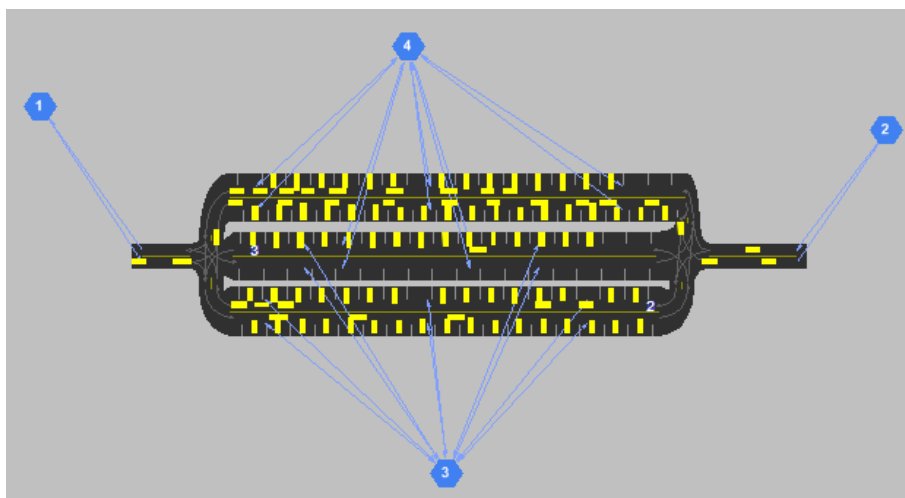
Στη συνέχεια του άρθρου αναλύονται τα θέματα αυτά αλλά δίνεται έμφαση στα δύο πρώτα, δηλαδή στην προσομοίωση και τον εντοπισμό οχημάτων. Η έρευνα βρίσκεται υπό εξέλιξη και αναμένονται άμεσα αποτελέσματα για ολόκληρο το μεθοδολογικό πλαίσιο.

### **2.1 Μοντελοποίηση και προσομοίωση**

Για τη μικροσκοπική προσομοίωση της κυκλοφορίας σε ένα παρκινγκ μεγάλης κλίμακας πρέπει να ληφθούν υπόψη πτυχές της συμπεριφοράς των οδηγών που τελούν υπό διαφορετικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της συμπεριφοράς τους υπό αγχωτικές καταστάσεις και της συμμόρφωσης τους στις οδηγίες/ κατευθύνσεις που τους δίνονται. Επίσης, ο σχεδιασμός των χώρων στάθμευσης (π.χ. οι ράμπες, οι διάδρομοι, το μέγεθος, η

θέση και ο προσανατολισμός) είναι πιθανό να επηρεάζει τη χωρητικότητα. Η ακριβής εκτίμηση των παραμέτρων σχεδιασμού και συμπεριφοράς των οδηγών μπορεί να είναι δύσκολη ή αδύνατη. Ως εκ τούτου προτείνεται μια ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων αυτών.

Όσον αφορά στις απαιτήσεις μοντελοποίησης, η προσομοίωση της κυκλοφορίας σε μεγάλους χώρους στάθμευσης συμπεριλαμβάνει βασικά θέματα, όπως την πολυπλοκότητα της γεωμετρίας, περιορισμένο αριθμό εισόδων-εξόδων, την κίνηση σε μονής ή διπλής κατεύθυνσης διαδρόμους και ράμπες, την κυκλοφορία χαμηλής ταχύτητας και την ύπαρξη πολλών επιπέδων. Διαθέσιμο λογισμικό που ικανοποιεί τις απαιτήσεις αυτές είναι το Transmodeler (της Caliper Corporation). Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται ένα παράδειγμα προσομοίωσης ενός μικρού παρκινγκ στο λογισμικό αυτό. Τα κεντροειδή (1, 2, 3, 4) είναι σημεία από τα οποία παράγονται και έλκονται μετακινήσεις. Η τοποθέτηση κεντροειδών όπου υπάρχουν διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης συνεπάγεται την έλξη και παραγωγή μετακινήσεων προς και από αυτές τις νόμιμες θέσεις στάθμευσης. Μια υφιστάμενη μεθοδολογία για την μοντελοποίηση στάθμευσης παρά την οδό, συμπεριλαμβανομένης της παράνομης στάθμευσης και του διπλο-παρκαρίσματος μπορεί να ενσωματωθεί στην παρούσα έρευνα. Οι Kladefiras and Antonίου (2013) έχουν εκτιμήσει την επίδραση των παράνομων διπλο-παρκαρισμένων οχημάτων στην κυκλοφορία και στο περιβάλλον. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα διπλο-παρκαρισμένα οχήματα προκαλούν σοβαρή μείωση στη μέση ταχύτητα και σημαντική αύξηση της καθυστέρησης. Περιορίζοντας το φαινόμενο του διπλο-παρκαρίσματος μπορεί να εξοικονομηθεί χαμένος χρόνος και να μειωθούν οι εκπομπές των οχημάτων. Όταν ένα όχημα περιμένει ή προσπαθεί να παρκάρει, τα ακόλουθα οχήματα είναι πιθανό να θέλουν να το προσπεράσουν και κατά συνέπεια να βγουν στην αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας. Οι ελιγμοί στάθμευσης και η επίδραση στα οχήματα που ακολουθούν ή στα οχήματα της αντίθετης κατεύθυνσης μπορούν να μοντελοποιηθούν με τη χρήση ειδικών λωρίδων κυκλοφορίας, τις οποίες τα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο όταν το διπλο-παρκαρισμένο όχημα περιορίζει την κίνηση του. Επιπλέον, σε συνθήκες υπερβαίνουσας χωρητικότητας ή έκτακτης ανάγκης το διπλο-παρκάρισμα είναι πιθανό να συμβεί και το προσπέρασμα να είναι απαραίτητο.



**Σχήμα 1:** Παράδειγμα προσομοίωσης ενός μικρού παρκινγκ με το λογισμικό TransModeler



Τα περισσότερα μοντέλα και συστήματα που είναι διαθέσιμα κάνουν υποθέσεις για τη συμπεριφορά των οδηγών, οι οποίες βασίζονται σε δεδομένα που συλλέχθηκαν υπό κανονικές συνθήκες και δεν αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά των οδηγών υπό πίεση. Η συλλογή αντιπροσωπευτικών δεδομένων υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης είναι προβληματική για πολλούς λόγους. Αρχικά τα έκτακτα συμβάντα είναι σπάνια και απρόβλεπτα (τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο). Ωστόσο, ακόμη και αν η θέση και ο χρόνος ήταν γνωστά, τότε το πιθανότερο είναι ότι θα λαμβανόντουσαν μέτρα για την αντιμετώπιση του συμβάντος και όχι για τη συλλογή δεδομένων συμπεριφοράς. Επιπλέον, έκτακτα συμβάντα είναι πιθανό να έχουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά και επομένως είναι αμφισβητήσιμο αν για παράδειγμα δεδομένα που συλλέχθηκαν από μια πλημμύρα στην Ολλανδία θα είναι χρήσιμα και αντιπροσωπευτικά για μια πλημμύρα στο Bangladesh. Μια άλλη προσέγγιση (χρησιμοποιήθηκε από τους Prionisti και Antoniou, 2012, και προτείνεται για την παρούσα έρευνα) είναι η διερεύνηση των παραμέτρων συμπεριφοράς των οδηγών (που αναμένεται να επηρεάσουν περισσότερο την οδική συμπεριφορά τους υπό καθεστώς πίεσης) μέσω της προσομοίωσης έτσι ώστε να προκύψει ένα εύλογο εύρος των τιμών των παραμέτρων, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για να αναπτύξουν αποτελεσματικές στρατηγικές ανταπόκρισης. Σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης μπορούν να γίνουν κάποιες υποθέσεις σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων. Οι οδηγοί αναμένεται να οδηγούν πιο επιθετικά, καταλήγοντας να αφήνουν μικρότερα κενά τόσο στη συμπεριφορά ακολουθίας οχημάτων, όσο και στην αλλαγή λωρίδας. Επίσης, η μη συμμόρφωση και παραβίαση των οδικών σημάτων και φωτεινών σηματοδοτών θα παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό. Ωστόσο, αυτή η συμπεριφορά δε συνεπάγεται υψηλότερες ικανότητες και πληρότητες, καθώς μπορεί να προκύψουν μικρής σημασίας περιστατικά τα οποία οδηγούν σε τοπικές διαταραχές/ διακοπές της κυκλοφορίας. Οι επιπτώσεις αυτών των διαταραχών σε εσωτερικούς χώρους, όπως στους χώρους στάθμευσης, μπορεί να είναι καταστροφικές, καθώς οι δυνατότητες για αλλαγή πορείας μπορεί να είναι περιορισμένες ή ανύπαρκτες. Η συμπεριφορά των οδηγών μπορεί να επηρεαστεί από πολλές παραμέτρους, όπως τα χαρακτηριστικά των οδηγών (ηλικία, φύλο, κ.ά.) και την αντίληψη του οδηγού (ψυχολογική κατάσταση, άγχος, κ.ά.).

Κύρια συνιστώσα της μοντελοποίησης αποτελεί η βαθμονόμηση. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας προτείνεται να εστιάσουμε στην on-line βαθμονόμηση του συστήματος. Η προσέγγιση αυτή είναι εφικτή δεδομένου του σύγχρονου δικτύου αισθητήρων και επικοινωνίας. Έκτακτες συνθήκες και ανάγκες μπορούν να είναι πολύ διαφορετικές και να απαιτούν διαφορετικές τιμές των παραμέτρων. Ο σχεδιασμός για κάθε περίπτωση ξεχωριστά είναι πολύ δύσκολος. Για τον λόγο αυτό στην παρούσα έρευνα προτείνεται το σύστημα να διαλέγει το πιο κατάλληλο σχέδιο από ένα σύνολο στρατηγικών αποθηκευμένων σε μια βάση δεδομένων με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων. Η on-line βαθμονόμηση χρησιμοποιεί τη διαθέσιμη πληροφορία που συλλέγεται από το δίκτυο αισθητήρων για να ξεκινήσει τη διαδικασία αυτή. Η off-line βαθμονόμηση έχει στόχο την ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων που υποστηρίζει την ικανότητα του μοντέλου προσομοίωσης να ταιριάζει με το μέσο όρο ή τις αναμενόμενες συνθήκες κίνησης όπως έχουν καταγραφεί από τους αισθητήρες. Η δύναμη των μοντέλων προσομοίωσης μπορεί επομένως να ενισχυθεί σημαντικά από την επαναβαθμονόμηση των παραμέτρων της off-line βαθμονόμησης με τη χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων και αποθηκεύονται off-line μπορούν να ενσωματωθούν στην on-line διαδικασία ως a priori εκτιμήσεις. Η off-line βαθμονόμηση αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με στόχο να καθοριστούν οι μέσες τιμές των παραμέτρων και των εισροών, ενώ η on-line βαθμονόμηση

προσαρμόζει τις τιμές της off-line βαθμονόμησης ώστε να αντανakλούν τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν. Δεδομένα από προηγούμενες μέρες είναι διαθέσιμα για off-line βαθμονόμηση, ενώ για την on-line βαθμονόμηση χρησιμοποιούνται λιγότερα δεδομένα και τα πιο πρόσφατα. Επίσης, η off-line βαθμονόμηση δεν έχει ιδιαίτερους περιορισμούς χρόνου και υπολογισμών, ενώ η on-line βαθμονόμηση γίνεται σε πραγματικό χρόνο και πρέπει να είναι ταχύτερη. Τέλος, η off-line βαθμονόμηση λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους, ενώ η on-line βαθμονόμηση θα μπορούσε να επικεντρωθεί σε ένα υποσύνολο των κρίσιμων παραμέτρων.

## 2.2 Εντοπισμός οχημάτων

Η εμφάνιση νέων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου της τεχνολογίας GPS (Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού - Global Positioning System), συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης οχημάτων και άλλων συστημάτων (όπως περιγράφονται π.χ. από τους Antoniou et al., 2011) έχει συμβάλει στη δημιουργία πολλών εναλλακτικών λύσεων για τον εντοπισμό οχημάτων. Ωστόσο, λύσεις με GPS δεν είναι διαθέσιμες σε εσωτερικούς χώρους και τα γεωδαιτικά συστήματα είναι πολύ ακριβά για τη συλλογή δεδομένων τροχιάς οχημάτων. Συγκεκριμένα στον τομέα των μεταφορών πλέον υπάρχει ζήτηση για εφαρμογές εντοπισμού θέσης εστιάζοντας όχι τόσο στη μεγάλη ακρίβεια όσο στη διαθεσιμότητα και την ακεραιότητα των δεδομένων (Kealy et al., 2012). Επιπλέον, η αύξηση του όγκου των δυναμικά χρησιμοποιούμενων δεδομένων είναι άμεσα διαθέσιμη από αισθητήρες χαμηλού κόστους (Kealy et al., 2012; Danezis and Gikas, 2012).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για αναζήτηση μεθόδων διαρκούς εντοπισμού σε οποιοδήποτε περιβάλλον, είτε εσωτερικό είτε εξωτερικό. Ένας τρόπος για να γνωρίζουμε σε ένα παρκινγκ που ακριβώς βρίσκονται τα οχήματα είναι να τοποθετηθούν πολλοί αισθητήρες π.χ. ένας για κάθε θέση στάθμευσης. Ωστόσο, σε ένα περιορισμένο χώρο όπως είναι ένας μεγάλος χώρος στάθμευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι. Αναμφισβήτητα, προς την κατεύθυνση του συνεχούς εντοπισμού οι ολοένα αυξανόμενες ικανότητες των «smartphones» όσον αφορά τους διαθέσιμους αισθητήρες, σε συνδυασμό με τη ευρεία χρήση τους από τους καταναλωτές, έχει οδηγήσει σε μια νέα γενιά εξοπλισμού για πλοήγηση. Η χρήση των κινητών τηλεφώνων μπορεί να ενσωματωθεί στα συστήματα πληροφοριών για τις μεταφορές. Η Rose (2006) έχει προτείνει τη χρήση των κινητών τηλεφώνων ως ανιχνευτές της κίνησης για την καταγραφή πληροφοριών κυκλοφορίας υπό πραγματικές συνθήκες. Έτσι, από τα wifi των κινητών που έχουν οι οδηγοί και τη μέθοδο του τριγωνισμού μπορούμε να εντοπίσουμε ένα όχημα με μεγάλη ακρίβεια. Πιθανόν να μην γνωρίζουμε ακριβώς σε ποια θέση είναι σταθμευμένο αλλά σε ποιον διάδρομο. Τα προσωπικά δεδομένα αποτελούν σίγουρα μια κρίσιμη πτυχή. Οι Antoniou and Polydoropoulou (2014) εξέτασαν πόσο πιθανό είναι οι μετακινούμενοι να δεχτούν να δίνουν πληροφορίες για τις μετακινήσεις τους με αντάλλαγμα ένα καλύτερο σύστημα πληροφοροφύλαξης.

Επιπλέον, οι αισθητήρες εντοπισμού με τεχνολογία Bluetooth αποτελούν μια αξιόλογη λύση για ένα περιορισμένο οδικό δίκτυο όπως ένας μεγάλος χώρος στάθμευσης. Με τους αισθητήρες Bluetooth μπορούμε να γνωρίζουμε πόσα αυτοκίνητα κινούνται σε μια ακτίνα π.χ. μερικών δεκάδων μέτρων και πόσο χρόνο θέλουν να πάνε από ένα σημείο σε ένα άλλο (όπου υπάρχει κάλυψη από τους αισθητήρες Bluetooth). Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να προσεγγίσουμε πιθανολογικά την κατάσταση του παρκινγκ, παίρνοντας ένα δείγμα

οχημάτων. Επίσης σε συνδυασμό με τις επιταχύνσεις από αισθητήρες σε κινητά τηλέφωνα π.χ. αν παρατηρείται θετική ή αρνητική επιτάχυνση στο άξονα  $y$ , μπορούμε να συμπεράνουμε αν το όχημα έστριψε δεξιά ή αριστερά. Επομένως, μπορούμε πιθανολογικά να προσεγγίσουμε τη διαδρομή που επιλέγει το όχημα. Σε ένα αυτοκίνητο μπορούν να υπάρχουν περισσότερα από ένα Bluetooth ενεργοποιημένα. Ωστόσο, θα μπορεί να γίνεται κάποιος έλεγχος/ αναγωγή κατά την είσοδο των οχημάτων. Έχοντας, λοιπόν, μετρήσεις με διάφορες τεχνολογίες μπορούμε να εκτιμήσουμε για ένα σενάριο τι είναι πιο αποδοτικό, δηλαδή τι χάνουμε με τον πιθανολογικό εντοπισμό σε σχέση με το να γνωρίσουμε ακριβώς την αρχική μας κατάσταση.

### **2.3 Έλεγχος και διάχυση κυκλοφοριακής πληροφόρησης**

Εκτός από τη μοντελοποίηση της λειτουργίας του χώρου στάθμευσης και την απόκτηση της θέσης του οχήματος, είναι σημαντικό να είναι δυνατή η παροχή πληροφοριών (εντολές-οδηγίες ή περιγραφική πληροφόρηση) στους οδηγούς. Το ελάχιστο δυο είδη καναλιών μπορούν να προβλεφθούν: (i) προσωπικό, μέσω νομαδικών ή εντός του οχήματος συσκευών, πιθανότατα εκείνων που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων από το όχημα, και (ii) ευρύτερο, χωρίς να γίνονται υποθέσεις σχετικά με το εάν οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε μια τέτοια συσκευή. Η πρώτη επιλογή επιτρέπει μια πιο πλούσια αλληλεπίδραση, αλλά η τελευταία είναι πιο ουσιαστική στην περίπτωση που η πληροφορία πρέπει να παρέχεται σε όλους τους χρήστες, γρήγορα και αποτελεσματικά. Η συμμόρφωση με την παρεχόμενη πληροφόρηση και καθοδήγηση είναι κύριο στοιχείο που πρέπει να μοντελοποιηθεί. Ο έλεγχος της κυκλοφορίας είναι ένα άλλο βασικό στοιχείο που πρέπει να μοντελοποιηθεί. Οι χώροι στάθμευσης κοινώς περιορίζουν την είσοδο και έξοδο των οχημάτων έως ότου τα στοιχεία του οχήματος/οδηγού επαληθευθούν ή μέχρι να γίνει η πληρωμή. Επιπλέον, μέσα στις εγκαταστάσεις υπάρχουν συχνά σήματα (π.χ. για τον έλεγχο της προτεραιότητας σε διασταυρούμενους διαδρόμους ή είσοδο σε ράμπες). Συσκευές ελέγχου μπορούν να συμπληρώσουν την καθοδήγηση και –ανάλογα με τον τύπο τους- να αυξήσουν ή βεβαιώσουν τη συμμόρφωση. Επομένως, χρειάζεται να θεσπιστεί μια στρατηγική ανταπόκρισης, που να περιλαμβάνει (σε γενικές γραμμές) (i) πληροφόρηση προς τους οδηγούς και (ii) στρατηγικές ελέγχου που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην καθοδήγηση και περιορισμό της μετακίνησης των ίδιων οδηγών. Η ανταπόκριση των οδηγών στις δύο από αυτές πτυχές (συμπεριλαμβανομένης και της συμμόρφωσης) είναι βασική πτυχή της εφαρμοσιμότητας και αποτελεσματικότητας αυτού του πλαισίου.

Η παροχή καθοδήγησης σε πανικόβλητους οδηγούς που προσπαθούν να βγουν από μία εγκατάσταση/χώρο όσο το δυνατόν ταχύτερα, απαιτεί γνώση της υπάρχουσας κατάστασης του χώρου στάθμευσης (αριθμός οχημάτων στις εγκαταστάσεις, τοποθεσία/κατανομή των οχημάτων, περιορισμοί, καθώς επίσης και την χρονική και χωρική εξέλιξη, π.χ. εάν υπάρχει χημική διαρροή, θα ήταν χρήσιμο να γνωρίζουμε εάν και πως εξαπλώνεται). Ένα γενικό αρχικό κυκλοφοριακό σχέδιο το οποίο προσαρμόζεται καλύτερα στην κατάσταση, μπορεί να επιλεγεί από μια προκαθορισμένη βιβλιοθήκη σχεδίων εκκένωσης. Οι αντιδράσεις των οδηγών στις αλλαγές στις προτεινόμενες οδούς/εξόδους καθώς επίσης και στο γεγονός που τις προκάλεσε, θα προκαλέσει τελικά σημαντική απόκλιση από τη συμπεριφορά του οδηγού που λειτουργεί υπό φυσιολογικές συνθήκες.

Οι Thompson et al. (2001) επεδίωξαν τη βέλτιστη προβολή μεταβλητών μηνυμάτων σε μεγάλους χώρους στάθμευσης με σκοπό να ελαχιστοποιήσουν το μήκος των ουρών και το χρόνο ταξιδιού. Οι πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την

παροχή πληροφόρησης σε πραγματικό χρόνο (Kolisetty et al. 2006). Οι Mei et al. (2012) έχοντας τον ίδιο στόχο χρησιμοποίησαν ένα γενετικό αλγόριθμο. Στην παρούσα έρευνα θα μπορούσε να εξεταστεί η χρήση των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων για την ταχύτερη εκκένωση ενός παρκινγκ σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Για τη διάδοση της παραγόμενης πληροφορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων (VMS) για την παροχή πληροφόρησης στην οποία πρέπει να έχουν πρόσβαση όλοι οι χρήστες.
- Ραδιοφωνικές μεταδόσεις μπορούν να είναι προσβάσιμες από όσους είναι συντονισμένοι στο κατάλληλο κανάλι(α).
- Οι οδηγοί με έξυπνα-τηλέφωνα και παρόμοιες συσκευές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες διαθέσιμες σε ιστοσελίδες, ενώ οι χρήστες σχετικών εφαρμογών μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες αυτόματα.

Όμοια με την καθοδήγηση, ο έλεγχος αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Οι φωτεινοί σηματοδότες αποτελούν ένα βασικό μέτρο ελέγχου της κυκλοφορίας. Οι Tubaishat et al. (2007) πρότειναν τη χρήση ενός συστήματος ελέγχου στο οποίο οι φωτεινοί σηματοδότες ρυθμίζονται αυτόματα με τη χρήση ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων. Με αυτόν τον τρόπο βελτίωσαν την κυκλοφοριακή ροή του μοντέλου τους στις διασταυρώσεις. Για αναλυτική περιγραφή των μέτρων ελέγχου κυκλοφορίας μπορεί κανείς να ανατρέξει στο Hegyi (2004).

Οι φωτεινοί σηματοδότες, τα σήματα χρήσης λωρίδων και οι περιορισμοί πρόσβασης, είναι κάποια από τα εργαλεία που μπορούν να ληφθούν υπόψη σε αυτό το πλαίσιο. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη συμμόρφωση των οδηγών σε αυτές τις συσκευές, καθώς φυσιολογικά, οι οδηγοί είναι πιθανό να παρουσιάζουν λιγότερο αυστηρή συμπεριφορά υπό συνθήκες πανικού. Εάν χρειαστεί, θα παρακαμφθούν τα μοντέλα ελέγχου στο λογισμικό προσομοίωσης κυκλοφορίας.

## 2.4 Διαμόρφωση σεναρίων και αξιολόγηση

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προτείνεται να γίνει με τη χρήση καταλλήλων σεναρίων. Έχουν προβλεφθεί τα παρακάτω τρία επίπεδα αξιολόγησης:

- Βασικό σενάριο, χωρίς καμία πληροφόρηση ή «ευφυΐα». Το σενάριο αυτό είναι ένα βασικό σενάριο αναφοράς, έναντι του οποίου θα αξιολογηθούν τα επόμενα.
- Αριθμός πρακτικών σεναρίων, που μπορεί να περιλαμβάνουν διαφορετικές τιμές κρίσιμων παραμέτρων, όπως ο βαθμός εντοπισμού οχημάτων, το ποσοστό των οδηγών που λαμβάνουν πληροφόρηση, και ο βαθμός συμμόρφωσης των οδηγών.
- "Μελλοντικά" σενάρια, όπου οι οδηγοί έχουν στη διάθεση τους πλήρη και ακριβή πληροφορία, η οποία μπορεί να μεταδίδεται άμεσα. Το σενάριο αυτό θα μπορούσε να αποτελεί ένα δεύτερο σενάριο αναφοράς, το οποίο περιγράφει την ιδεατή κατάσταση, και τη μέγιστη απόδοση του συστήματος, δείχνοντας πόσο απέχουν οι πρακτικές λύσεις από την κατάσταση αυτή.

## 3. Μελέτη περίπτωσης

### 3.1 Πειραματική διάταξη



Δύο πειράματα διεξήχθησαν στην Πολυτεχνειούπολη (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο), υλοποιώντας δύο σενάρια οδήγησης σε μεικτό περιβάλλον (εσωτερικό / εξωτερικό). Η Πολυτεχνειούπολη επιλέχθηκε ως τόπος διεξαγωγής των πειραμάτων καθώς το περιβάλλον είναι παρόμοιο με μεγάλους χώρους στάθμευσης, εφόσον περιλαμβάνει πολλές θέσεις στάθμευσης. Επίσης, οι επιτρεπόμενες ταχύτητες είναι χαμηλές, καθώς η ταχύτητα περιορίζεται από τα σαμαράκια που υπάρχουν. Στα στάδια της προ-ανάλυσης, οι κύριοι στόχοι των πειραμάτων ήταν οι εξής: (α) να αξιολογηθεί η ποιότητα των πρώτων δεδομένων που καταγράφονται από όλους τους αισθητήρες, τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, και (β) να αξιολογηθεί η ικανότητα των smartphones για την ανίχνευση ειδικών συνθηκών οδήγησης που συναντώνται σε μεγάλους χώρους στάθμευσης. Ενώ ο κεντρικός στόχος αυτής της έρευνας σχετίζεται με εσωτερικούς χώρους, σε αυτά τα πειράματα επιλέγεται ένα μεικτό περιβάλλον (εσωτερικό-εξωτερικό). Ο κύριος λόγος για αυτό είναι να εκμεταλλευτούμε την κάλυψη GNSS για την οπτικοποίηση των δεδομένων (π.χ. τροχιές) και την επαλήθευση της ακρίβειας των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται (π.χ. αισθητήρες smartphone) σε σχέση με τον εξοπλισμό υψηλής ακρίβειας. Ένας άλλος λόγος είναι ότι μερικές φορές προσφέρεται μερική κάλυψη του GNSS (π.χ. προσβάσεις σε χώρους στάθμευσης ή αποθήκες, ή ανοιχτούς χώρους σε ένα κατά κύριο λόγο εσωτερικό περιβάλλον). Σε κάθε περίπτωση, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν πληροφορίες που δεν θα ήταν διαθέσιμες σε ένα εσωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον, τα δεδομένα πλοήγησης που λαμβάνονται από όλους τους αισθητήρες ομαδοποιήθηκαν ξεχωριστά για την κατά μήκος τροχιά (άξονας x) καθώς και τις πλευρικές (άξονας y) και κατακόρυφες κατευθύνσεις (άξονας z) με σκοπό να μελετηθούν μεμονωμένα φαινόμενα που σχετίζονται με οδήγηση σε κατάσταση άγχους (που σχετίζονται με απότομες μεταβολές της x, y-επιτάχυνσης) και η παρακολούθηση της κίνησης όταν το όχημα διέρχεται από ράμπες/σαμαράκια (που συνδέεται με τις αλλαγές στην z-επιτάχυνση). Τέλος, σε μια προσπάθεια να εντοπιστούν και να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του προφίλ του οδηγού (π.χ. επιθετικότητα) κάθε πείραμα διεξάγεται χρησιμοποιώντας διαφορετικούς οδηγούς.

Ο στόχος του πρώτου πειράματος (NTUA-1) ήταν η αξιολόγηση της ποιότητας των επιταχύνσεων που λαμβάνονται από τα smartphones, έτσι ώστε να κριθεί αν είναι δυνατή η χρήση τους σε μοντέλα προσομοίωσης της κυκλοφορίας. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε στις 27 Μαρτίου 2014 για μια συνολική απόσταση περίπου 2,5 χιλιομέτρων σε χρονικό διάστημα 12 λεπτών. Η διανυόμενη διαδρομή περιλάμβανε μια μικρή εσωτερική εγκατάσταση παρκινγκ και τμήματα με ανοιχτούς χώρους (Σχήμα 2 (α)). Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δύο σύγχρονων smartphones: ένα Apple iPhone 5 και ένα HTC One S. Επίσης, ένα σύστημα NovAtel Span®, αποτελούμενο από ένα GNSS δέκτη (NovAtel PROPAK-V3™) και μια αδρανειακή μονάδα IMU (iMAR IMU- FSAS™), χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς για την τροχιά του οχήματος. Το σύστημα αυτό προσφέρει μια ονομαστική ακρίβεια επιτάχυνση RMS της τάξης του  $\pm 0.03\text{m/s}^2$ . Το εύρος των ταχυτήτων ήταν αντίστοιχο με αυτό που παρατηρείται στον αστικό ιστό υπό φυσιολογικές συνθήκες, ενώ υψηλότερες τιμές επιτάχυνσης/ επιβράδυνσης σημειώθηκαν σε ευθύγραμμα τμήματα. Όλοι οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν, ευθυγραμμίστηκαν με το πλαίσιο του αμαξώματος του οχήματος και σταθεροποιήθηκαν σε μια ειδικά κατασκευασμένη πλατφόρμα στην οροφή του οχήματος. Η τοποθέτηση των αισθητήρων απεικονίζεται στο Σχήμα 2 (γ). Σημειώνεται ότι το σύστημα XSENS (που βρίσκεται στο πάνω αριστερό μέρος) χρησιμοποιήθηκε μόνο στο δεύτερο πείραμα. Στην περίπτωση των smartphones, η απόκτηση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού «third-party» (εφαρμογές κινητών τηλεφώνων). Συγκεκριμένα με τις

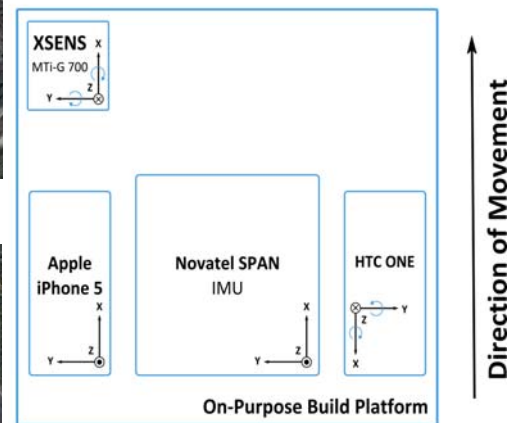
εφαρμογές SensorLog και IMU + GPS-stream ενεργοποιήθηκαν το iPhone 5 (iOS7) και το HTC One S (Android 4.4.1) να καταγράφουν τις τιμές μέτρησης επιτάχυνσης ανά 10Hz και 65Hz αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι το σύστημα XSENS δεν χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο πείραμα.



(α) NTUA-1



(β) NTUA-2



(γ) Σχήμα παράθεσης αισθητήρων

**Σχήμα 2:** Δοκιμή καταγραφής τροχιάς στο πεδίο (με NovAtel SPAN®: (α) NTUA-1, (β) NTUA-2) και (γ) σχήμα παράθεσης αισθητήρων (αισθητήρας XSENS, τοποθετημένος πάνω αριστερά, χρησιμοποιήθηκε μονό στο πείραμα NTUA-2)

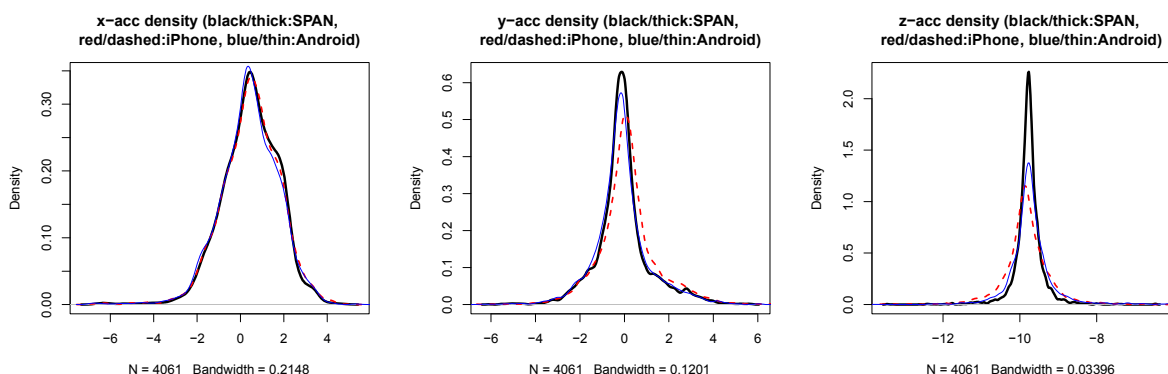
Το δεύτερο πείραμα (NTUA -2) πραγματοποιήθηκε στις 12 Ιουνίου 2014. Αυτό το πείραμα είχε ως στόχο τόσο τη συλλογή ενός σχετικά μεγαλύτερου συνόλου δεδομένων, όσο και στην καταγραφή πρόσθετων τύπων δεδομένων, όπως γωνιακές ταχύτητες του οχήματος (μετρήσεις γυροσκοπίου). Η διανύομενη τροχιά περιλάμβανε διακριτά σενάρια, όπως είναι η διενέργεια περιορισμένου αριθμού ελιγμών στάθμευσης σε εξωτερικούς χώρους και εσωτερικούς χώρους, επιθετική οδήγηση σε κατάσταση άγχους και οδήγηση σε ράμπα από και προς ένα χώρο στάθμευσης. Επιπλέον, δόθηκε προσοχή έτσι ώστε το όχημα να διανύσει σε σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα σε κλειστούς χώρους για την αξιοποίηση του περιβάλλοντος των εσωτερικών χώρων. Τα δεδομένα αποκτήθηκαν κατόπιν οδήγησης σε συνολική απόσταση περίπου 4.4 χιλιομέτρων σε ένα χρονικό διάστημα 20 λεπτών (Σχήμα 2 (β)). Εκτός από το

σύστημα NovAtel Span®, ένα υψηλής ποιότητας GPS / IMU σύστημα (Xsens MTI-G-700) χρησιμοποιήθηκε για να παρέχει συνδυασμένη παραγωγή της επιτάχυνσης, γωνιακής ταχύτητας, θέσης και πορείας καταγραφές σε ρυθμό δειγματοληψίας 400 Hz. Το σύστημα MTI-G-700 ήταν τοποθετημένο επί του οχήματος, στην ίδια πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο πείραμα, όπως φαίνεται στο πάνω αριστερό μέρος του Σχήματος 2 (γ). Όσον αφορά στη συλλογή των δεδομένων από τα smartphones, τόσο το iPhone 5 όσο και το HTC One S ρυθμίστηκαν να καταγράφουν επιτάχυνση, γωνιακή ταχύτητα, θέση και πορεία του οχήματος, χρησιμοποιώντας το λογισμικό SensorLog που λειτουργεί στα 10 Hz.

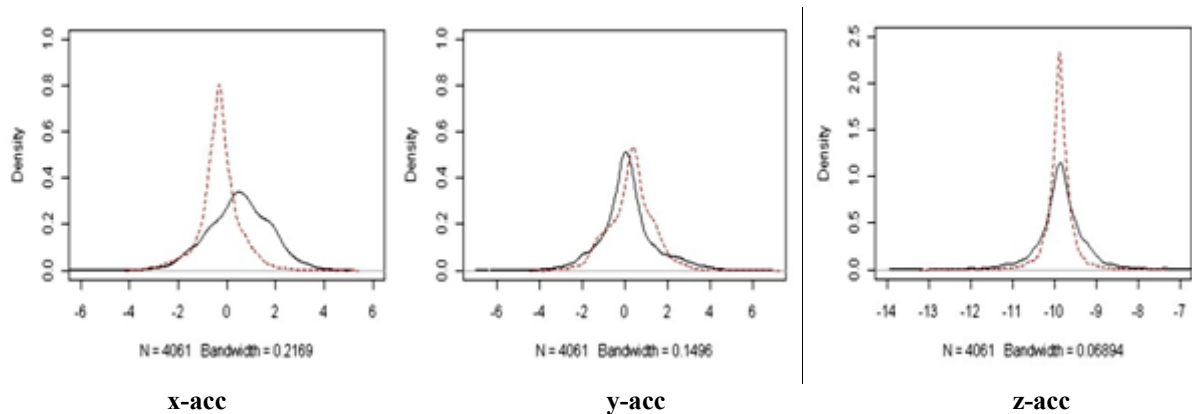
### 3.2 Ανάλυση δεδομένων

Αναλύοντας τα δεδομένα του πρώτου πειράματος, στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι κατανομές πυκνότητας των επιταχύνσεων στους άξονες x,y,z. Όπως παρατηρείται δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις και τα smartphones παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια, κυρίως για τον άξονα x. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στους άλλους δύο άξονες είναι πιθανό να οφείλονται σε κακή ευθυγράμμιση κατά την τοποθέτηση του iPhone σε σχέση με το Android και το σύστημα SPAN (Antoniou et al., 2014).

Στη συνέχεια στο Σχήμα 4 γίνεται σύγκριση ανάμεσα στις κατανομές των επιταχύνσεων που προέκυψαν από τα δύο πειράματα. Όπως ήταν αναμενόμενο η κατανομή των επιταχύνσεων στον άξονα x φαίνεται να διαφοροποιείται περισσότερο ανάμεσα στους δύο οδηγούς ή στα δύο οχήματα. Ο δεύτερος οδηγός φαίνεται να διατηρεί περισσότερο σταθερή την ταχύτητα του αποφεύγοντας έντονες επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις. Όσον αφορά στις επιταχύνσεις στον άξονα y τα προφίλ των δύο οδηγών είναι παρόμοια. Στον άξονα z, όμως, υπάρχει απόκλιση η οποία υποδεικνύει ότι οι επιταχύνσεις κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα ήταν υψηλότερες κατά το πρώτο πείραμα, υποδηλώνοντας ενδεχομένως ότι ο πρώτος οδηγός κινείται πιο απότομα σε οδικά τμήματα με κλίση (όπως ράμπες).



**Σχήμα 3:** Κατανομές πυκνότητας των επιταχύνσεων x / y / z άξονα από iPhone (κόκκινη γραμμή), Android (μπλε γραμμή) και SPAN (μαύρη γραμμή)

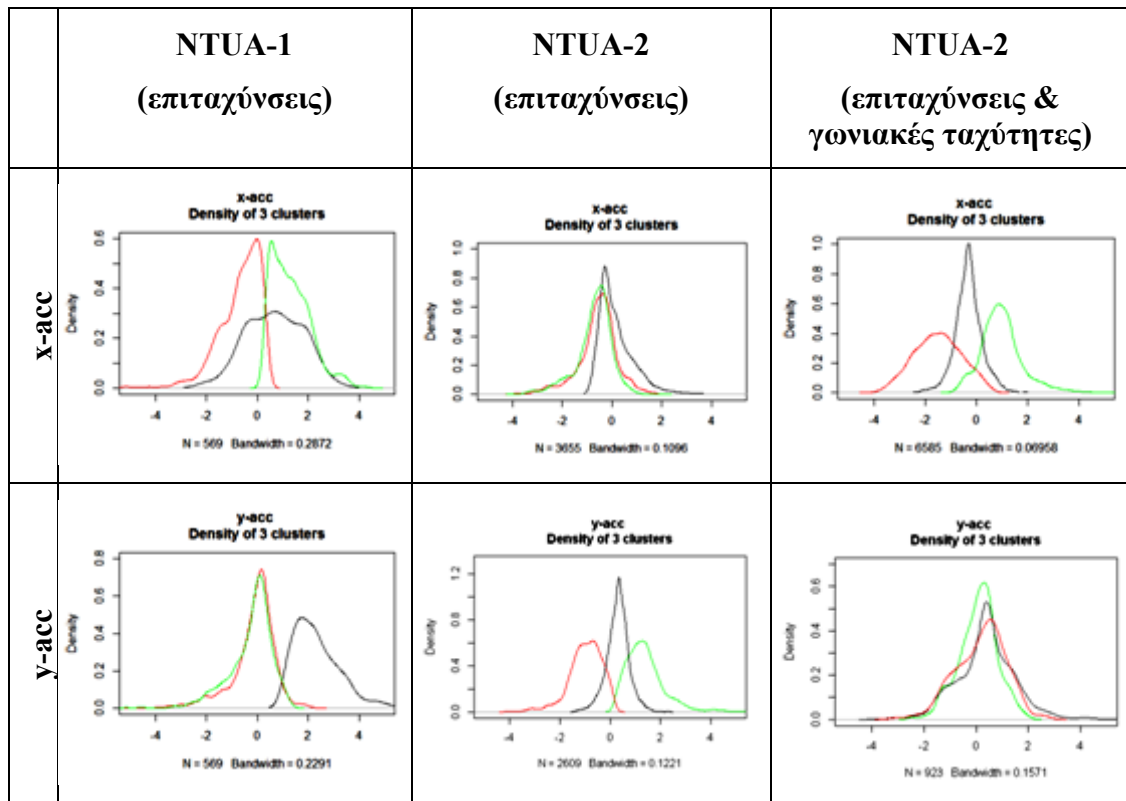


**Σχήμα 4:** Κατανομές πυκνότητας των επιταχύνσεων  $x$  /  $y$  /  $z$  άξονα από iPhone για το πρώτο (μαύρη γραμμή) και το δεύτερο πείραμα (κόκκινη γραμμή)

Επειτα, τα διαθέσιμα δεδομένα από τις μετρήσεις στην Πολυτεχνειούπολη μας παρακίνησαν να ασχοληθούμε με τους περιορισμούς που προκύπτουν από την ετερογένεια των δεδομένων. Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης είναι ευέλικτες μέθοδοι που επιτρέπουν την παρατήρηση των δεδομένων από διαφορετική οπτική γωνία. Με τη βοήθεια αυτών των αλγορίθμων τα δεδομένα εξετάζονται σε βάθος και διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα. Επομένως, διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς μπορούν να διακριθούν με την ομαδοποίηση των δεδομένων σε ομοιογενείς ομάδες. Με αυτόν τον τρόπο αντικανονικές συμπεριφορές σε καταστάσεις έκτακτων αναγκών μπορούν να αναγνωριστούν σε επόμενο στάδιο της έρευνας. Μετατόπιση της καμπύλης που δείχνει τη συμπεριφορά των οδηγών θα μπορούσε να παρατηρηθεί ανάμεσα στις διάφορες ομάδες που προκύπτουν, με κριτήριο την επιθετικότητα των διάφορων οδηγών.

Για την ομαδοποίηση των δεδομένων (επιταχύνσεων στους άξονες  $x$  και  $y$ ) χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος  $k$ -means (MacQueen, 1967 και Hartigan and Wong, 1979). και λήφθηκαν υπόψη οι επιταχύνσεις σε όλους τους άξονες και οι γωνιακές ταχύτητες για το δεύτερο πείραμα. Οι ομαδοποιήσεις που προέκυψαν για την περίπτωση των τριών κλάσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5. Η επιλογή των τριών κλάσεων επιλέχθηκε για τα δεδομένα αυτά από τους Antoniou et al. (2015). Οι επιταχύνσεις στον άξονα  $z$  δεν διαφοροποιήθηκαν σημαντικά και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται στο Σχήμα 5. Παρατηρώντας το Σχήμα 5 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στις ομάδες δεδομένων που υπάρχει αλληλοεπικάλυψη στις επιταχύνσεις  $x$ -acc, υπάρχει διαφοροποίηση στις επιταχύνσεις  $y$ -acc (και αντίστροφα).
- Οι γωνιακές ταχύτητες συμβάλλουν στην καλύτερη ομαδοποίηση των επιταχύνσεων στον άξονα  $x$  αλλά σε μεγαλύτερη αλληλοεπικάλυψη για την ομαδοποίηση των επιταχύνσεων στον άξονα  $y$ .
- Η ομαδοποίηση των επιταχύνσεων στον άξονα  $y$  του δεύτερου πειράματος (NTUA-2) είναι καλύτερη σε σχέση με το πρώτο πείραμα (NTUA-1). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο πρώτο πείραμα υπήρχαν μόνο αριστερές στροφές.



**Σχήμα 5:** Ομαδοποίηση αποτελεσμάτων σε 3 κλάσεις για τις επιταχύνσεις στους άξονες x και y

#### 4. Συμπεράσματα και Προοπτικές

Στο άρθρο αυτό παρουσιάστηκε μια ενιαία μεθοδολογία για τη διαχείριση στάθμευσης υπό περιορισμούς σε εσωτερικούς χώρους, όπου η τεχνολογία GPS δεν είναι διαθέσιμη. Η μεθοδολογία αυτή συνίσταται από τέσσερις βασικούς άξονες και συγκεκριμένα την μοντελοποίηση και προσομοίωση της κυκλοφορίας σε χώρους στάθμευσης, τον εντοπισμό των οχημάτων σε κλειστούς χώρους, τον έλεγχο και την καθοδήγηση των οδηγών για την αντιμετώπιση συμβάντων και τέλος την αξιολόγηση με τη δημιουργία διάφορων σεναρίων. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στα θέματα της μοντελοποίησης και του εντοπισμού οχημάτων, καθώς η έρευνα δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα. Επιπλέον, εντοπίστηκαν οι ανάγκες σε δεδομένα, συστήματα, τεχνολογίες και λογισμικά για την υλοποίηση της συνολικής μεθοδολογίας. Εναλλακτικοί τρόποι εντοπισμού των οχημάτων προτάθηκαν, όπως η χρήση αισθητήρων από κινητά τηλέφωνα νέας γενιάς (smartphones) και αισθητήρες τεχνολογίας bluetooth. Επίσης, τονίστηκαν οι βασικές πτυχές της μοντελοποίησης σε χώρους στάθμευσης, καθώς επίσης και η ανάγκη για έλεγχο και καθοδήγηση μέσω της διάχυσης της πληροφορίας. Έπειτα, από την πρώτη ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων προκύπτουν κάποια συμπεράσματα σχετικά με το εύρος των επιταχύνσεων που συναντώνται σε χώρους στάθμευσης, τη δυνατότητα χρήσης smartphones για καταγραφή δεδομένων, τον εμπλουτισμό με διαφορετικούς τύπους δεδομένων (π.χ. γωνιακές ταχύτητες), την ετερογένεια των δεδομένων και το διαφορετικό προφίλ κάθε οδηγού. Μελλοντικά, σε επόμενη φάση της

έρευνας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και να προσομοιωθεί ένα υφιστάμενο παρκινγκ με πολλούς χώρους στάθμευσης και να χρησιμοποιηθούν πραγματικά δεδομένα.

Υπάρχουν πολλές πρακτικές προκλήσεις που προκύπτουν από την έρευνα αυτήν και πρέπει να αντιμετωπιστούν από τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό κόσμο. Επειδή ο εντοπισμός των οχημάτων βρίσκεται σε πιο ώριμο στάδιο έρευνας, εδώ παρουσιάζονται συνοπτικά μερικές πρακτικές προκλήσεις σχετικά με αυτόν:

- Μετρήσεις από κινητό τηλέφωνο: υπάρχει ετερογένεια στις ασύρματες κάρτες των κινητών και, κατά συνέπεια, υπάρχουν διαφορές στις εκτιμώμενες τιμές των RSS και μεροληψία σε όλη τη διαδικασία του εντοπισμού σε εσωτερικούς χώρους.
- Μετρήσεις μέσω ασύρματης σύνδεσης: υπάρχει χρονικά μεταβαλλόμενη φύση του ασύρματου καναλιού που εισάγεται ως αποτέλεσμα της κίνησης των οχημάτων, των ανθρώπων, κ.λπ. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η διασπορά του σήματος του καναλιού που προκαλείται από διάφορες επιδράσεις της διάδοσης, ιδίως στο χρόνο και τη συχνότητα.
- Διαφορετικές ζώνες συχνότητας ασύρματων τεχνολογιών: οι διάφορες τεχνολογίες λειτουργούν σε πολλές ζώνες συχνοτήτων (2.4GHz, 5.2GHz, 5.8GHz, 28GHz, 60GHz, κλπ) με διαφορετικά φαινόμενα διάδοσης.
- Βέλτιστη τοποθέτηση των σημείων πρόσβασης: αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον των εσωτερικών χώρων, τα δομικά υλικά, τον αριθμό των οχημάτων, τους τοίχους, τα πατώματα, κλπ. Είναι σημαντικό, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η κάλυψη και η συνδεσιμότητα των σημείων πρόσβασης.
- Χρήση πολλαπλών κεραιών και τεχνολογιών πολλαπλών κόμβων: μεγάλης κλίμακας MIMO (πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου) τεχνικών θα αυξήσουν την ακρίβεια του συστήματος εντοπισμού θέσης σε εσωτερικό χώρο. Εντούτοις, η εγκατάστασή τους σε ήδη υφιστάμενα συστήματα θα αυξήσει την πολυπλοκότητα.

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα έρευνα υποστηρίζεται από τη Δράση: ΑΡΙΣΤΕΙΑ-II (Δικαιούχος Δράσης: Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας), συγχρηματοδοτούμενη από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

## **5. Αναφορές-Βιβλιογραφία**

Antoniou, C., R. Balakrishna, H.N. Koutsopoulos and M. Ben- Akiva (2011). Calibration methods for simulation-based dynamic traffic assignment systems. *International Journal of Modeling and Simulation*, Vol. 31, No. 3, pp. 227-233

Antoniou, C. and A. Polydoropoulou (2014). How likely are travelers to give up information in exchange for better user information services? *Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, January 2014, Washington, D.C.

Antoniou, C., V. Gikas, V. Papathanasopoulou, T. Mpimis, I. Markou and H. Perakis (2014). Towards distribution-based calibration for traffic simulation. *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Qingdao, China, October 8-11, 2014.

Antoniou, C., V. Gikas, V. Papathanasopoulou, C. Danezis, A. Panagopoulos, I. Markou, H. Perakis, D. Efthymiou and G. Yannis (2015). Localization and driving behavior classification using smartphone sensors in

the direct absence of GNSS. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (accepted for publication).

Arnott R. and Inci E. (2006), "An integrated model of downtown parking and traffic congestion", Journal of Urban Economics, Vol. 60, pp. 418- 442. Martens et al. (2007)

Caicedo F., Robuste F. and Lopez-Pita A. (2006), "Parking management and modeling of car park patron behavior in underground facilities", presented at the Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Danezis, C. and Gikas, V. (2012). An Iterative LiDAR DEM-aided Algorithm for GNSS Positioning in Obstructed/Rapidly Undulating Environments. Advances in Space Research, Vol. 52, pp. 865-878.

Rose, G. (2006). Mobile phones as traffic probes: practices, prospects and issues. Transport Reviews, 26(3), 275-291.

Gallo M., D'Acerno L. and Montella B. (2011), "A multilayer model to simulate cruising for parking in urban areas", Transport Policy, Vol. 18, pp. 735-744.

Hartigan, J. A., and M. A. Wong (1979). A K-Means Clustering Algorithm. Applied Statistics, Vol. 28, pp. 100–108.

Hegyí, A. (2004). Model predictive control for integrating traffic control measures. Netherlands TRAIL Research School.

Kealy, A., Retscher, G., Alam, N., Hasnur-Rabiain, A., Toth, C., Grejner-Brzezinska, D. A., Moore, T., Hill, C., Gikas, V., Danezis, C., Bonenberg, L. and Roberts, G. W. (2012). Collaborative Navigation with Ground Vehicles and Personal Navigators. IEEE Xplore, Proceedings of the 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Sydney, Australia, Nov. 13-15

Kladefiras, M. and C. Antoniou (2013). Simulation-based assessment of double-parking impacts on traffic and environmental conditions. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2390, pp.121-130.

Kolisetty, V., Iryo, T., Asakura, Y., & Kuroda, K. (2006). Effect of variable message signs on driver speed behavior on a section of expressway under adverse fog conditions—a driving simulator approach. (W. O. Library, Επμ.) Journal of advanced transportation, 40(1), 47-74.

MacQueen, J. (1967). Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. Proc., 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Vol. 1 (L. M. Le Cam and J. Neuman, eds.), University of California Press, Berkeley, pp. 281–297.

Martens, K., Benenson, I., & Levy, N. (2010). The dilemma of on-street parking policy: exploring cruising for parking using an agent-based model. In Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics (pp. 121-138). Springer Netherlands.

Mei, Z., Tian, Y., & Li, D. (2012). Analysis of parking reliability guidance of urban parking variable message sign system. (H. P. Corporation, Επμ.) Mathematical Problems in Engineering.

Prionisti, E. and C. Antoniou (2012). Sensitivity Analysis of Driver Behavior under Emergency Conditions. Proceedings of the 15th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, September 16-19, Anchorage, Alaska, USA

Sarasua W.A., Malisetty P., and Chowdhury M.A. (2005), "Optimal parking reallocation for special events- A geographic information system analysis", Submitted on Transportation Research Board Annual Meeting

Shao, C., Y. Zhao, L. Yu and J. Xu (2008). Case Analysis on Vehicle Parking and Departure Plans for the National Stadium. Journal of Transportation Systems Engineering & IT, 2008, 8(6), 52-55.



Thompson, R. G., Takada, K., & Kobayakawa, S. (2001). Optimisation of parking guidance and information systems display configurations. (Elsevier, Επμ.) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 9(1), 69-85.

Tubaishat, M., Shang, Y., & Shi, H. (2007). Adaptive traffic light control with wireless sensor networks. *Proceedings of IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, 187-191.

van der Waerden, P., Timmermans H. and Borgers A. (2002), “PAMELA, a Parking Analysis Model for predicting Effects in Local Areas”, *Proceedings of the Transportation Research Board Annual Meeting*.

Zorn L., Sall E. and Bent Z. (2011), “Exploring parking pricing for congestion management using secta activity-based regional pricing model”, *Proceedings of the Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.