

**ΠΡΟΣ**

- 1) **Όλα τα μέλη ΔΕΠ του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών**
- 2) **Τους εκπροσώπους των Μεταπτυχιακών φοιτητών του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών**
- 3) **Την Επταμελή Εξεταστική Επιτροπή**
- 4) **Όλα τα μέλη της Πανεπιστημιακής Κοινότητας**

**Πρόσκληση σε Δημόσια Παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής της  
κας. Νικητάκη Σοφίας**

Την Πέμπτη, 19 Ιουνίου 2014 και ώρα 14:00 στην αίθουσα Τηλεδιάσκεψης Κ206 του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Κρήτης στο Ηράκλειο, θα γίνει η δημόσια παρουσίαση και υποστήριξη της Διδακτορικής Διατριβής της υποψήφιας διδάκτορας του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών κας. Νικητάκη Σοφίας με θέμα:

**“Εκτίμηση θέσης με τεχνικές αραιών αναπαραστάσεων και μοντέλα  
σημάτων χαμηλής τάξης”**

**“Location Sensing via Sparse and Low Rank Signal Models”**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η εκτίμηση της θέσης ενός χρήστη και η διαχείριση της κινητικότητας του αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά για τη δημιουργία έξυπνων χώρων. Τα έξυπνα δίκτυα αισθητήρων με ικανότητα αυτό-οργάνωσης, η παρακολούθηση ασθενών και η περιήγηση σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους είναι ορισμένες από τις εφαρμογές που απαιτούν την ικανότητα για εύρεση θέσης. Τεχνικές εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούν την ένταση του λαμβανόμενου σήματος μιας κινητής συσκευής σε κάποιο δεδομένο χώρο έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι εκμεταλλεύονται τις ήδη υφιστάμενες υποδομές και αποφεύγουν το πρόσθετο κόστος εγκατάστασης νέου εξοπλισμού. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης με βάση μετρήσεις της έντασης σήματος υιοθετούν μια αρχική διαδικασία εκπαίδευσης προκειμένου να δημιουργήσουν χάρτες υπογραφών έντασης σήματος που

αντιπροσωπεύουν το φυσικό χώρο και καταγράφουν τις διακυμάνσεις του δυναμικού χαρακτήρα της διάδοσης σήματος. Στη συνέχεια, κατά τη φάση της εκτίμησης θέσης, οι χάρτες αυτοί χρησιμοποιούνται ως βάσεις σύγκρισης με τις τρέχουσες μετρήσεις έντασης σήματος ώστε να εντοπιστεί ο χρήστης.

Σε αυτή τη διατριβή, διερευνάται η έννοια της αραιότητας της θέσης του χρήστη στο χώρο ώστε το πρόβλημα εκτίμησης θέσης να μοντελοποιηθεί ως ένα πρόβλημα αραιής προσέγγισης. Οι προτεινόμενες τεχνικές εντοπισμού βασίζονται στα ίχνη του λαμβανόμενου σήματος κι υιοθετούν τεχνικές συμπιεσμένης δειγματοληψίας (compressed sensing). Οι τεχνικές συμπιεσμένης δειγματοληψίας παρέχουν ένα νέο πρότυπο για την ανάκτηση σημάτων που είναι αραιά σε κάποια βάση, μέσω ενός περιορισμένου πλήθους τυχαία λαμβανόμενων μετρήσεων. Συγκεκριμένα, αξιοποιώντας την παρατήρηση ότι οι σταθμοί βάσης λαμβάνουν συσχετισμένα σήματα από τις κινητές συσκευές, προτείνουμε δύο αλγόριθμους: έναν κεντρικό και έναν κατανεμημένο. Σύμφωνα με τον κεντρικό αλγόριθμο όλες οι τοπικές μετρήσεις που λαμβάνονται από την κινητή συσκευή αποστέλλονται σε μία κεντρική μονάδα ώστε να εκτιμηθεί η θέση του χρήστη. Αντίθετα, το κατανεμημένο σύστημα βασίζεται σε αλγόριθμους κοινής συναίνεσης για τη διανομή των εκτιμήσεων θέσης σε όλο το δίκτυο.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν χάρτες έντασης σήματος και υιοθετούν τεχνικές συμπιεσμένης δειγματοληψίας επιτυγχάνουν υψηλή ακρίβεια. Ωστόσο, παρουσιάζουν θέματα τα οποία μπορούν δυνητικά να περιορίσουν την ακρίβεια και την επεκτασιμότητα τους. Για να επιταχύνουμε την διαδικασία εκπαίδευσης, προτείνουμε την αυτοματοποίηση της μέσω ενός συστήματος που χρησιμοποιεί λέιζερ σαρωτή για τη λήψη ιχνών έντασης σήματος στο χώρο. Κατά τη διάρκεια της εκτίμησης θέσης, το σύστημα μας υλοποιεί μία Μπεϋζιανή τεχνική όπου η υπόθεση αραιού σήματος ανάγεται στη μοντελοποίηση της στατιστικής κατανομής του μέσω μιας εκ των προτέρων κατανομής πιθανότητας καθορίζοντας δυναμικά τον επαρκή αριθμό των μετρήσεων που απαιτούνται για την ακριβή εκτίμηση θέσης του χρήστη.

Υπάρχοντα συστήματα που βασίζονται σε ίχνη σήματος υποθέτουν ότι η κινητή συσκευή επικοινωνεί στο ίδιο κανάλι συχνότητας κατά τη διάρκεια των φάσεων εκπαίδευσης και εκτίμησης. Όταν αυτή η υπόθεση παραβιάζεται, οι αναντιστοιχίες μεταξύ των χαρτών έντασης σήματος των φάσεων εκπαίδευσης και εκτίμησης μπορεί να επιδεινώσει σημαντικά την απόδοση. Επιπρόσθετα, σε δυναμικά περιβάλλοντα απαιτείται μία εξαντλητική διαδικασία βαθμονόμησης κατά τη διάρκεια της φάσης εκπαίδευσης γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή αυτών των μεθόδων, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου δεν χρησιμοποιείται επιπρόσθετος εξοπλισμός.

Για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών, προτείνουμε μια νέα τεχνική συλλογής ιχνών έντασης σήματος που βασίζεται στη ψευδοτυχαία δειγματοληψία καναλιού η οποία μειώνει σημαντικά το χρόνο εκπαίδευσης. Σε αυτή τη περίπτωση, ο λαμβανόμενος υπό-δειγματοληπτημένος χάρτης ιχνών σήματος αναδομείται μέσω τεχνικών συμπλήρωσης πίνακα (matrix completion) χαμηλής τάξης. Η προτεινόμενη μέθοδος αξιοποιεί τα δυναμικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και θεωρεί ότι πρόσφατες μετρήσεις συσχετίζονται άμεσα με παρελθοντικές μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, βελτιστοποιούμε τη διαδικασία δειγματοληψίας υιοθετώντας ψευδοτυχαία υποδειγματοληψία στο χώρο. Η προτεινόμενη τεχνική εκμεταλλεύεται τη συσχέτιση των λαμβανόμενων σημάτων στο χώρο εξετάζοντας παράλληλα προηγούμενες πληροφορίες που παρέχονται από παρελθοντικές μετρήσεις ώστε να ανακατασκευάσει τον υπό-δειγματοληπτημένο χάρτη ιχνών.

Επόπτης Διδακτορικής Διατριβής: Καθηγητής, Παναγιώτης  
Τσακαλίδης

## ABSTRACT

The location and the mobility management are major functions and essential features for seamless and ubiquitous environments. Self-organizing sensor networks, health care monitoring, personal tracking and context dependent information services are some of the potential applications. Received signal strength (RSS) fingerprinting is a highly accurate location technique that has the major advantage of exploiting already existing infrastructure to avoid additional deployment costs. Fingerprint based localization systems adopt a calibration phase in order to create signature maps that represent the physical space by capturing the variations of the dynamic nature of indoor propagation. These maps, or fingerprints, are compared to the RSS at the runtime phase in order to perform localization.

This thesis explores the notion of sparsity and reformulates the problem of user localization as a sparse approximation problem. The proposed fingerprint-based localization techniques adopt the Compressed Sensing (CS) framework, which provides a new paradigm for recovering signals being sparse in some basis by means of a limited amount of randomly received measurements. Specifically, exploiting the observation that the base stations receive correlated signals from the mobile devices, we propose two CS-based algorithms: a centralized and a decentralized one. According to the centralized Jointly CS scheme all local runtime measurements received from the mobile device are sent to a central unit to perform location estimation. On the contrary, the decentralized scheme builds upon gossip consensus based approaches to distribute decision estimations in the network. Although fingerprint CS-based systems achieve high accuracy, issues that concern both the calibration and the location estimation phases can potentially limit the accuracy and scalability of these systems. Concerning the automation of the calibration phase required by fingerprint based systems, we propose a Wireless localization and Laser-scanner assisted Fingerprinting system that provides autonomous signature map generation. During the location estimation phase, the system mitigates the existing problems adopting a Bayesian formalism that incorporates a sparsity prior and dynamically determines the sufficient number of runtime measurements required for accurate positioning.

Further issues related to typical fingerprint-based schemes arise since it is implicitly assumed that communication occurs over the same frequency channel during the training and the runtime phases. When this assumption is violated, the mismatches between training and runtime fingerprints can significantly deteriorate the localization performance. Additionally, the exhaustive calibration procedure required

during training limits the scalability of this class of methods, especially in the case where no additional hardware is utilized. To address these limitations, we propose a novel fingerprint collection technique without the need of additional hardware that significantly reduces the calibration time by pseudo-random channel sampling. The sub-sampled signature map is reconstructed as an instance of the Matrix Completion problem.

Finally, we propose a reduced effort recalibration technique for fingerprint-based indoor positioning systems. The proposed method exploits the dynamic characteristics of an indoor environment and considers that a sub-set of measurements may explicitly depend on past measurements. Particularly, we minimize the number of RSS fingerprints by performing pseudo-random sub-sampling in space. The proposed framework exploits the spatial correlation structure of the RSS fingerprints while considering prior information provided from previously observed measurements, to reconstruct the signature map.

Supervisor: Professor Panagiotis Tsakalidis