

# Robust Indoor Positioning through Adaptive Collaborative Labeling of Location Fingerprints

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Bolliger, Philipp L.

**Publication date:**

2011

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007052434>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 20109

# **Robust Indoor Positioning through Adaptive Collaborative Labeling of Location Fingerprints**

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

**Philipp Lukas Bolliger**

Dipl. Informatik-Ing. ETH  
born March 27, 1978  
citizen of Küttigen (AG), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Friedemann Mattern, examiner  
Prof. Dr. Marc Langheinrich, co-examiner  
Prof. Dr. Kurt Rothermel, co-examiner

2011

# Abstract

Location-aware computing has become one of the most publicly visible results of ubiquitous computing research, with small, low-power GPS modules being incorporated in an ever increasing number of consumer devices. While GPS systems work well in outdoor environments, the limited propagation characteristics of GPS satellite signals require alternative solutions for positioning and navigating inside buildings. Radio location fingerprinting is one of the most promising indoor positioning mechanisms as it allows positioning using signal characteristics of existing wireless communication networks (e.g., a WiFi installation) and thus requires no dedicated localization infrastructure to be installed. However, location fingerprinting typically requires a costly setup phase, in which signal fingerprints are manually mapped to individual locations. Moreover, since radio signals change and fluctuate over time, map maintenance requires continuous recalibration.

In this thesis, we introduce the concept of user-contributed, collaborative fingerprint labeling to address the problems of radio map setup and map maintenance in location fingerprinting systems. Instead of manually creating an initial map prior to deployment, we propose a method to harness the inputs of all users to collaboratively create and subsequently maintain an accurate map of indoor radio fingerprints. We offer a novel user interface approach to simplify the solicitation of user-generated labels that rely on labeling long-term measurements, not just second-long snapshots, and provide algorithms that are able to accurately position a device based on such user-generated labels.

To alleviate accuracy degradation caused by signal variation, we introduce a new concept called “asynchronous interval labeling” that addresses these problems in the context of user-generated labels. By using an accelerometer to detect whether a device is moving or stationary, the system can continuously and unobtrusively learn from all radio measurements during a stationary period, thus greatly increasing the number of available samples. Movement information also allows the system to improve the user experience by deferring labeling to a later, more suitable moment. Experiments with our system show considerable increases in data collected and improvements to inferred location likelihood, with negligible overhead reported by users.

# Zusammenfassung

Durch den immer weiter verbreiteten Einsatz von kleinen, energiesparenden GPS-Modulen in einer Vielzahl von mobilen Geräten sind ortsbezogene Anwendungen, die von der aktuellen Position eines Benutzers Gebrauch machen, immer mehr in den Fokus der wissenschaftlichen Forschung gerückt und wurden so zu einem der meistbeachteten Themen im Bereich Ubiquitous Computing. GPS-Module haben allerdings den inhärenten Nachteil, eine direkte Sichtverbindung zu Satelliten zu benötigen und funktionieren daher nicht, oder nur sehr schlecht, innerhalb von Gebäuden. Für den Einsatz innerhalb von Gebäuden ist also eine andere Lokalisierungsmethode nötig. Um dieses Problem zu lösen, gilt vor allem die Methode der Funkortung mittels “Fingerprinting” als sehr vielversprechend, da diese Methode Funksignale von bereits vorhandenen, drahtlosen Kommunikationsnetzen wie z.B. WiFi nutzen kann. Solche Systeme haben allerdings den Nachteil, dass sie typischerweise eine manuelle Erfassung der “Fingerprints”, also der an einem Standort charakteristischen Funksignale, benötigen. Diese Arbeit ist zeitaufwendig und teuer. Erschwerend kommt hinzu, dass sich Funksignale über die Zeit ändern, was ein erneutes Erfassen nach sich zieht.

In der vorliegenden Arbeit stellen wir ein neuartiges Konzept des Fingerprinting vor, welches auf dem Prinzip der benutzergestützten, kollaborativen Erfassung von Funksignalen basiert. Anstatt die Abbildung von Funksignal-Charakteristik zu Ort manuell zu erfassen, schlagen wir vor, die Eingabe den Benutzern zu überlassen. Ohne zusätzlichen Aufwand für den Benutzer kann dieser damit während der Benutzung des Sys-

tems fortlaufend neue Messungen zur Abbildung beitragen. Um diese Eingabe für die Benutzer so einfach und unaufdringlich wie möglich zu gestalten, schlagen wir vor, die Funksignalmessungen, statt wie bisher während wenigen Sekunden, im Hintergrund und über mehrere Minuten zu machen.

Um das Problem der durch Signalschwankungen verursachten Abnahme der Genauigkeit zu schmälern, stellen wir ein neues Konzept vor, das wir “asynchronous interval labeling” nennen. Dieses Konzept erlaubt es, den Benutzer erst dann um die Zuweisung eines Funksignals zu einem Ort zu bitten, wenn die Wahrscheinlichkeit, ihn nicht bei einer aktiven Arbeit zu stören, am grössten ist. Hierzu verwenden wir den in vielen mobilen Geräten vorhandenen Beschleunigungssensor um festzustellen ob der Benutzer sich fortbewegt oder stationär an einem Ort bleibt. Dadurch weiss das System, wann der Benutzer an ein und demselben Ort bleibt und kann so im Hintergrund weitere Funksignalmessungen machen. Das Resultat ist eine Abbildung, welche eine um Grössenordnungen höhere Anzahl an Messungen enthält. Dies wiederum führt, in Kombination mit den von uns entwickelten Algorithmen, zu einer gesteigerten Genauigkeit und Präzision.