



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# **Ausarbeitung**

**Christian Hoff**

**Indoor Location-based Services**

*Fakultät Technik und Informatik  
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Computer Science*

Christian Hoff

**Indoor Location-based Services**

Ausarbeitung eingereicht im Rahmen der Vorlesung *Anwendungen I*

im Studiengang Master of Science Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Birgit Wendholt

Eingereicht am: 10. März 2014

**Christian Hoff**

**Thema der Arbeit**

Indoor Location-based Services

**Stichworte**

Indoor Location-based Services, Indoor Localization, Received Signal Strength (RSS), Time Difference of Arrival (TDoA), Inertial Measurement Unit (IMU), Point of Interest, GPS

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Indoor Location-based Services</b>	<b>3</b>
2.1	Anwendungen . . . . .	3
2.2	Probleme . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Indoor Localization</b>	<b>6</b>
3.1	Received Signal Strength . . . . .	6
3.2	Time Difference of Arrival . . . . .	7
3.3	Inertial Measurement Unit . . . . .	9
3.4	Weitere Verfahren . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Ausblick</b>	<b>12</b>

# 1 Motivation

Location-based Services (LBS) sind standortbezogene Dienste, welche die Position des Benutzers berücksichtigen, um somit kontext-bezogene Inhalte anbieten zu können. Aufgrund der schnellen Entwicklung von mobilen Endgeräten, der Verfügbarkeit von GPS, Kartenmaterial sowie mobilem Internet, gibt es mittlerweile zahlreiche LBS-Anwendungen, die den Benutzer im täglichen Leben unterstützen [1, S.107].

Ein klassisches Beispiel für Location-based Services sind Navigationssysteme für den Straßenverkehr. Zusätzlich zur eigentlichen Navigation kann sich der Benutzer nahegelegene Points of Interest (POI) wie Tankstellen, Raststätten, Restaurants oder Hotels auf der Karte anzeigen lassen. Diese Dienste sind mittlerweile auch auf mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablets nutzbar und nutzen das mobile Internet, um erweiterte Services anbieten zu können. So können diese beispielsweise aktuelle Stau- und Unfallmeldungen verarbeiten und dementsprechend effektivere Routen zum Ziel ermitteln.

Ein weiteres Beispiel für erfolgreiche Location-based Services sind die sogenannten car-sharing-Dienste von Anbietern wie Car2Go. Car2Go stellt in Großstädten Autos bereit, welche flexibel für kurze oder lange Zeit gemietet werden können. Jedes Fahrzeug ist dabei mit einem GPS Empfänger ausgestattet und teilt dem Car2Go System die jeweils aktuelle Position mit. Der Benutzer kann anschließend per Smartphone-App oder Browser ein nahegelegenes Fahrzeug lokalisieren, reservieren und mieten. Car-sharing ist somit eine interessante Alternative zum Taxi oder den öffentlichen Verkehrsmitteln.

Aufgrund des großen Erfolgs von Location-based Services im Außengebrauch, ist die Entwicklung von Indoor Location-based Services (ILBS) der nächst logische Schritt. Indoor Location-based Services sind standortbezogene Dienste innerhalb von Gebäuden und stellen neue Herausforderungen dar, weil auf die Erfolgsträger von bisherigen LBS nicht zurückgegriffen werden kann (GPS, Kartenmaterial, unabhängige Service-Provider, usw.).

Diese Ausarbeitung soll einen Überblick über die bisherige Situation von Indoor Location-based Services geben. In Kapitel 2 werden hierzu zunächst Anwendungsfälle vorgestellt und die besonderen Anforderungen von Indoor Location-based Services erörtert. Im Zuge dessen werden Vergleiche zu normalen Location-based Services gezogen und die damit eingehenden Probleme aufgezeigt. In Kapitel 3 werden anschließend unterschiedliche Verfahren für die Lokalisation von Benutzern innerhalb von Gebäuden vorgestellt. In Kapitel 4 erfolgt eine kurze Zusammenfassung dieser Ausarbeitung und Kapitel 5 gibt einen Überblick meiner weiteren Arbeit in diesem Forschungsbereich.

## 2 Indoor Location-based Services

### 2.1 Anwendungen

Indoor Location-based Services können das Benutzererlebnis in Gebäuden deutlich steigern und haben großes Potenzial für neue Geschäftsfelder [2, S.235]. Mögliche Anwendungsfelder sind beispielsweise Flughäfen, Bahnhöfe, Konferenzen, Krankenhäuser, Museen oder Einkaufszentren [1, S.107].

Benutzer könnten demnach in Zukunft mit ihren mobilen Endgeräten in Gebäuden navigieren und sich aktuelle Informationen zu bestimmten Points of Interest anzeigen lassen. Geschäfte in Einkaufszentren könnten aktuelle Angebote per ILBS bewerben, um somit den Benutzer anzulocken. Virtuelle Museen-Führer in Form von Smartphone Apps könnten je nach Position des Benutzers erweiterte Informationen zu Ausstellungstücken bereitstellen oder das Benutzererlebnis mit Hilfe von Augmented Reality deutlich steigern. Bei Konferenzen würden ILBS eine dynamische Raumplanung erlauben, bei der die Räume anhand der Anzahl der teilnehmenden Benutzer eines Vortrags vergeben werden. Die Benutzer würden dementsprechend per Smartphone zum jeweiligen Raum geleitet werden [1, S.107].

Der Wunsch nach ILBS ist groß. Indikatoren hierfür sind, dass sowohl Google, Inc. als auch Apple, Inc. vorbereitende Maßnahmen ergreifen. Google Maps bietet seit November 2011 die Möglichkeit, Gebäudepläne in das Kartenmaterial von Google Maps zu integrieren, um somit eine Navigation in Gebäuden zu ermöglichen. Derzeit baut die indoor Google Maps Navigation auf GPS auf [3]. Apple wiederum entwickelt eine eigene auf Bluetooth Low Energy basierende Technologie namens iBeacons für standortbezogene Ereignisse in Gebäuden. iBeacons sind Bluetooth Signalstationen, welche Informationen für in der Nähe befindliche mobile Endgeräte bereitstellen.

Ein weiterer Indikator für das große Interesse an ILBS ist die im August 2012 gegründete In-Location Alliance. Die In-Location Alliance ist ein Verbund von Firmen und verfolgt das

Ziel, das Deployment von ILBS voranzutreiben. Hauptaufgaben sind dabei die Erörterung von möglichen Geschäftsfeldern, der Entwurf von Komponenten und Architekturen sowie die Durchführung von Pilotprojekten in repräsentativen Umgebungen wie Flughäfen, Einkaufszentren, etc. Im August 2013 umfasste die In-Location Alliance 95 Mitglieder, darunter Firmen wie AT&T, Broadcom, Nokia und Qualcomm [4].

### 2.2 Probleme

Die präzise und robuste Ortung mobiler Endgeräte wie Smartphones innerhalb von Gebäuden ist weiterhin ein offenes Problem [2, S.235], [5, S.197], [6, S.293], [7, S.207], [8, S.421]. Bisherige Ortungsverfahren wie die GPS- oder GSM-basierte Ortung sind im Kontext der ILBS zu ungenau. Die von GPS gewährte Genauigkeit von ca. 5 Metern ist für die Navigation im Straßenverkehr ausreichend. In einem Gebäude können 5 Meter jedoch den Unterschied zwischen zwei verschiedenen Räumen ausmachen [5, S.197]. Des Weiteren ist der Empfang von GPS-Signalen innerhalb von Gebäuden stark beeinträchtigt, wodurch die Genauigkeit zusätzlich reduziert wird. Für ILBS ist eine meter- bis zentimetergenaue Ortung wünschenswert.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Gebäudepläne, welche für ILBS Anwendungen benötigt werden, nicht zwangsläufig öffentlich zugänglich sind. Es liegt in der Hand der Betreiber selbst, diese Daten zu veröffentlichen und zu warten [1, S.107]. Diesen Paradigmenwechsel kann man beispielsweise an indoor Google Maps erkennen. Betreiber können dabei ihre Gebäudepläne hochladen, um diese in Google Maps zu integrieren. Die derzeitigen strikten Richtlinien schließen das Hochladen der Gebäudepläne von anderen Parteien nahezu aus:

„Sie müssen alle geltenden Gesetze und Rechtsvorschriften einhalten, einschließlich aller Anweisungen, Bescheide und Beschilderungen des Eigentümers, durch die das Hochladen von Grundrissen eingeschränkt wird und/oder die Ihre zulässigen Aktivitäten innerhalb des Gebäudes betreffen.“ [9]

Des Weiteren unterliegen Gebäude-relevante Daten deutlich häufiger Änderungen und führen deswegen zu einem höheren Wartungsaufwand, bspw. im Vergleich zu Straßentopologien von herkömmlichen LBS. Das Fehlen von Standards für Ortung, Soft- und Hardware-Architekturen sowie Daten führt zur Entwicklung vieler Insellösungen.

Darüber hinaus gibt es noch weitere Probleme wie die Sicherstellung der Anonymität bei Nutzung von ILBS. Die Industrie hat großes Interesse an Lokationsdaten der Nutzer, um beispielsweise Bewegungsmuster oder das Kaufverhalten in Kaufhäusern zu analysieren. Bisherige

Verfahren wie GPS sind in erster Linie anonym und der Benutzer entscheidet, ob und wann er seine Position einem Service-Anbieter mitteilen will. Wenn ein Benutzer nicht will, dass Google bei Verwendung von Google Maps die Standortdaten speichert, kann auf alternative Service-Anbieter ausgewichen werden. Wenn ILBS aufgrund des Standpunktes der Gebäude-Betreiber nicht von unabhängigen Parteien angeboten werden können, ist diese Möglichkeit eventuell nicht mehr gegeben.

# 3 Indoor Localization

Eine präzise und robuste Ortung innerhalb von Gebäuden ist die Grundvoraussetzung für Indoor Location-based Services. Trotz intensiver Forschung in den letzten zwei Jahrzehnten ist die Ortung mobiler Endgeräte in Gebäuden nach wie vor ein offenes Problem [2, S.235]. Im Folgenden werden unterschiedliche Verfahren zur Ortung erläutert.

## 3.1 Received Signal Strength

Bei Received Signal Strength (RSS) -basierten Verfahren werden empfangene Signalstärken ausgewertet, um eine Ortung innerhalb von Gebäuden zu gewährleisten. Eine Pionierarbeit ist das von *Bahl* und *Padmanabhan* entwickelte System *RADAR* [10].

In *RADAR* müssen zunächst die Signalstärken in Abhängigkeit zur Position und Ausrichtung eines mobilen Geräts ermittelt werden. Diese Informationen werden in diesem Kontext häufig *Fingerprints* genannt. Hierzu kommen WLAN-Basisstationen zum Einsatz, welche an unterschiedlichen Orten im Gebäude platziert werden (s. Abbildung 3.1, BS1, BS2, BS3). Zunächst werden die Uhrzeiten der Basisstationen und des mobilen Geräts synchronisiert. Der mobile Host sendet anschließend Broadcast-Pakete per WLAN, sogenannte *Beacons* und speichert Informationen über die aktuelle Zeit und Position in Form des Tupels  $(timestamp, x, y, direction)$ . Die Position muss in dieser Phase vom Benutzer bekannt gegeben werden. Die Basisstationen

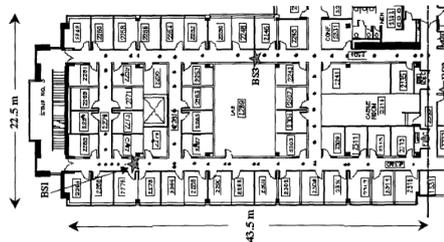


Abbildung 3.1: RADAR Beacons [10, S.777]

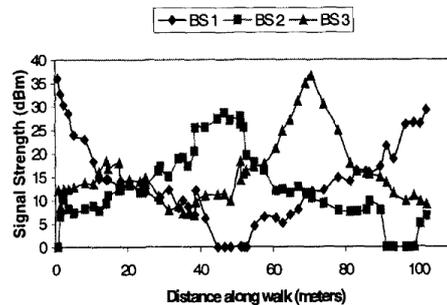


Abbildung 3.2: RADAR RSS [10, S.778]

ermitteln in diesem Zug die Signalstärken, während sie die Broadcast-Pakete des mobilen Hosts empfangen (s. Abbildung 3.2). Diese Informationen werden in Form des Tupels (*timestamp*, *basestation\_id*, *signal\_strength*, *signal\_to\_noise\_ratio*) gespeichert [10, S.777].

Nach Abschluss der Messung können die Informationen beider Parteien anhand des Zeitstempels zusammengeführt werden, sodass letztendlich Tupel der Form (*x,y,d,ss\_id,snt\_id*) in der Fingerprint-Datenbank vorliegen. Die Position eines mobilen Geräts kann im produktiven Szenario somit anhand der empfangenen Signalstärken abgeleitet werden [10, S.778]. Die Ortung mit RADAR erzielt dabei eine durchschnittliche Genauigkeit von 2-3 Metern.

Der Vorteil eines solchen System ist es, dass man bereits vorhandene WLAN Access Points verwenden und somit Kosten beim Deployment sparen kann[6, S.294]. Des weiteren sind die meisten Smartphones heutzutage WLAN-fähig.

Ein großer Nachteil solcher Systeme ist die Pflege der RSS Fingerprints, welche initial großflächig ermittelt werden müssen. Des weiteren können sich die Signalstärken über Zeit ändern, wenn sich beispielsweise Raumstrukturen ändern oder neue Objekte hinzukommen. Verfahren, um diesen Problemen entgegen zu wirken, sind beispielsweise Crowdsourcing von Fingerprints [6] sowie die Verwendung von Signal-Ausbreitungs-Modellen zur Reduzierung benötigter Messungen von Fingerprints [10, S.781]. Trotz der genannten Nachteile sind RSS-basierte Verfahren nach wie vor im Fokus aktueller Forschung [11, S.249]. Diese Verfahren lassen sich auch auf andere Typen von Radiosignalen übertragen, beispielsweise Bluetooth oder Funksignalen von Radiosendern.

## 3.2 Time Difference of Arrival

Bei Time Difference of Arrival (TDoA) -basierten Verfahren erfolgt die Ortung durch Messung zwei verschiedener Signaltypen und anschließender Triangulation. Eine Pionierarbeit auf diesem Gebiet ist das *Cricket Location-Support System* von *Priyantha, Chakraborty* und *Balakrishnan* [12].

Cricket nutzt die unterschiedlichen Eigenschaften von Audio- und Radiosignalen, um Aussagen über Distanzen treffen zu können. Dies wird durch Einsatz von *Beacons* und einem *Listener* erreicht. Ein Beacon ist dabei eine stationäre Sendeeinheit, welche regelmäßig Audio- und Radiosignale sendet. Die Radiosignale beinhalten Informationen über die Position des Beacons,

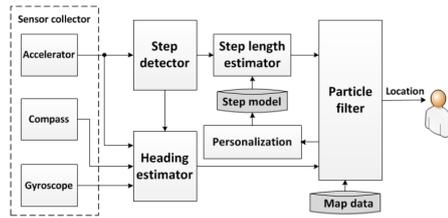


Figure 1. The overall system architecture.

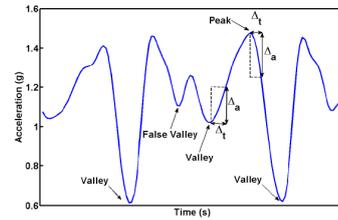


Figure 2. Peak detection on acceleration waveforms.

Abbildung 3.3: IMU Architektur [8, S.423]

Abbildung 3.4: IMU Ausrichtung [8, S.424]

wobei das Audiosignal ein einfacher Puls ist. Beide Signale werden gleichzeitig gesendet. Der Listener ist ein Gerät, welches die Signale der Beacons empfängt und verarbeitet [12, S.33].

Radiosignale breiten sich dabei mit Lichtgeschwindigkeit aus ( $\sim 300000 \frac{km}{s}$ ), wohingegen sich Audiosignale mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten ( $\sim 350 \frac{m}{s}$ ). Trifft das Radiosignal beim Listener ein, aktiviert dieser den Audiosignal-Empfänger und wartet auf den nachfolgenden Puls. Wurden beide Signale empfangen, kann der Listener mit Hilfe der Ankunftszeiten die Entfernung zum jeweiligen Beacon berechnen [12, S.34]. Kennt der Listener die Entfernung zu mindestens drei Beacons, kann die eigene Position trianguliert werden.

Ein Vorteil von TDoA-basierten Verfahren ist die hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit [2, S.235]. Verglichen mit RSS-basierten Verfahren ermöglichen TDoA-basierte Verfahren ein schnelles und wartungsarmes Deployment.

Nachteile bei Cricket entstehen durch eine nicht vorhandene Koordination der einzelnen Beacons. Senden zwei nahegelegene Beacons nahezu gleichzeitig, können die akustischen Signale nicht voneinander unterschieden werden, wodurch eventuell falsche Distanzen berechnet werden. Die Tatsache, dass Signale aufgrund von Reflektionen auf mehreren Wegen zum Empfänger gelangen, verstärkt dieses Problem (Multipath Propagation). Cricket versucht dieses Problem mit randomisierten Sendezeiten zu lösen, was wiederum zu langsameren Aktualisierungen führt [12, S.34]. Die Arbeit von Liu *et al.* versucht diese Probleme zu lösen [2]. Die Arbeit von Uddin *et al.* baut ebenfalls auf den Ideen von Cricket auf und betrachtet das Problem im Kontext heutiger Fähigkeiten von Smartphones [13].

### 3.3 Inertial Measurement Unit

Inertial Measurement Unit (IMU) -basierte Verfahren nutzen verschiedene Sensoren von mobilen Geräten um Rückschlüsse auf Bewegungsabläufe zu ziehen. Die Arbeit von *Lit et al.* zeigt wie die gängige Sensoren eines Smartphones zur Positionsbestimmung verwendet werden können [8]. Hierbei wird auf den Beschleunigungssensor, das Gyroskop sowie das Magnetometer zurückgegriffen.

Abbildung 3.3 zeigt die Architektur des vorgestellten Systems. Der *Step detector* wertet Messdaten des Accelerometers aus. Mit Hilfe von Filtern wird ein mögliches Rauschen der Messdaten entfernt. Abbildung 3.4 zeigt einen möglichen Verlauf des Accelerometers während des Gehens. Diese Daten werden analysiert, um getätigte Schritte zu identifizieren [8, S.423]. Aufgrund unterschiedlicher Gehweisen von Menschen wird ein dynamisches Schrittmodell für die Berechnung verwendet, welches zur Laufzeit personalisiert wird [8, S.425]. Der *Heading estimator* wertet die Messdaten aller Sensoren aus und berechnet somit die aktuelle Ausrichtung der Person. Der Partikelfilter vereint die Daten beider Komponenten mit den Kartendaten und ermittelt letztendlich die Position des Benutzers [8, S.423].

Ein Vorteil solcher Verfahren ist die theoretisch vollständige Unabhängigkeit von infrastrukturellen Voraussetzungen wie WLAN Access Points oder sonstigen Signalgebern.

Das Problem bei solchen Verfahren sind sogenannte *Sensor-Drifts*. Die Messwerte von Sensoren heutiger Smartphones sind häufig fehlerbehaftet und nie ganz korrekt. Bei längerem Gebrauch ohne Rekalibrierung akkumulieren sich diese Fehler und sorgen für eine starke Abweichung von der Realität. Des Weiteren benötigt ein solches Verfahren immer einen Ausgangspunkt, welcher entweder manuell vom Benutzer, oder durch ein anderes positionsbestimmendes Verfahren festgelegt werden muss. Aufgrund der fehlenden Robustheit werden IMU-basierte Techniken oft nur im Zusammenspiel mit anderen Verfahren verwendet [14], [6], [13].

### 3.4 Weitere Verfahren

Die zuvor vorgestellten Verfahren zielen besonders auf die Fähigkeiten aktueller mobiler Endgeräte ab. Darüber hinaus gibt es noch zahlreiche andere Techniken zur Lokalisation von Benutzern oder Objekten innerhalb von Gebäuden. Das *Active Badge* System ermöglicht eine Ortung anhand von Infrarot-Armbändern und fest installierten Infrarot-Empfängern [15]. *Nakazato et al.* verwenden retroreflektive Marker in Kombination mit Infrarotbeleuchtung zur

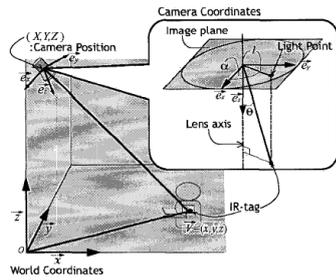


Figure 5. Camera coordinates and World coordinates.

Abbildung 3.5: ALTAIR Prinzip [19, S.301]

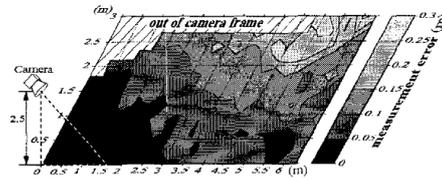


Figure 8. Positioning error distribution for one camera measurement.

Abbildung 3.6: ALTAIR Fehler [19, S.302]

kamerabasierten Ortung [16]. *Azizyan et al.* versuchen anhand von Umgebungseigenschaften wie Geräuschen oder Lichtverhältnissen die Position des Benutzers zu ermitteln [17]. Weiterhin gibt es noch passive kamerabasierte Verfahren zur Lokalisation von Personen oder Objekten, welche besonders im Bereich intelligenter Umgebungen verwendet werden. Ein Beispiel hierfür ist das *EasyLiving* Projekt von Microsoft und dessen Verfahren zum Tracking von Benutzern [18].

Einen weiteren kamerabasierter Ansatz ist *ALTAIR* [19]. In *ALTAIR* werden mobile Geräte mit aktiven Infrarot-Tags ausgestattet und können somit Signale aussenden. Die Signale werden von im Raum installierten Kameras erfasst, wodurch die mobilen Geräte identifiziert und geortet werden können (s. Abbildung 3.5). *ALTAIR* erreicht dabei eine Lokalisation mit einer maximalen Abweichung von  $30\text{cm}$  in einem  $6\text{m}^2$  großen Raum mit nur einer Kamera (s. Abbildung 3.6) [19, S.302]. Eine ähnliche Arbeit nutzt diese Technik für die gegenseitige Positionsermittlung von Kameras in einem Kameranetzwerk [20].

## 4 Fazit

Indoor Location-based Services haben ein enormes Potenzial, das Benutzererlebnis innerhalb von Gebäuden zu steigern und bieten diverse neue Geschäftsfelder für Betreiber. Dieses Potenzial wird derzeit jedoch nicht ausgereizt. Grund hierfür ist primär der Mangel von Standards in Hinsicht auf Architekturen, Daten und vor allem Techniken zur Lokalisation von Benutzern innerhalb von Gebäuden. Wie in dieser Ausarbeitung deutlich geworden ist, gibt es hierfür zahlreiche unterschiedliche Verfahren mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen. Es ist weitere Forschung notwendig, um bisherige Ansätze zu optimieren oder neue sich abhebende Verfahren zu entwickeln, um somit den großflächigen Ausbau von ILBS voranzutreiben.

## 5 Ausblick

Das in Abschnitt 3.4 vorgestellte Verfahren *ALTAIR* finde ich sehr interessant, weil es zum einen sehr genau ist, wenig Kalibrierung und Wartung benötigt und zum anderen nicht stark von äußeren Bedingungen betroffen ist (z.B. durch Multipath Propagation).

Ein großes Problem dieses Verfahrens entsteht durch etwaige Verdeckung des Infrarot-Tags, wodurch eine Lokalisation nicht mehr gewährleistet werden kann. Hier wäre es interessant, diese Schwäche mit den Fähigkeiten moderner Smartphones zu minimieren und durch Einbeziehung der Sensoren eine robustere Lokalisation zu ermöglichen. Eine Verdeckte Sicht könnte demnach mit IMU-basierten Verfahren überbrückt werden, bis das Gerät wieder von einer Kamera erfasst werden kann. Des Weiteren bieten die Lagesensoren die Möglichkeit, neue Dimensionen zu nutzen, um das Benutzererlebnis weiter zu steigern (Einbeziehung der Ausrichtung des Geräts). Hier wäre die Entwicklung neuer Konzepte für Benutzeroberflächen im Kontext von ILBS interessant.

## Literaturverzeichnis

- [1] B. Gressmann, H. Klimek, and V. Turau. Towards ubiquitous indoor location based services and indoor navigation. In *Positioning Navigation and Communication (WPNC), 2010 7th Workshop on*, pages 107–112, 2010.
- [2] Kaikai Liu, Xinxin Liu, and Xiaolin Li. Guoguo: enabling fine-grained indoor localization via smartphone. In *Proceeding of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and services*, MobiSys '13, pages 235–248, New York, NY, USA, 2013. ACM. Basiert auf Hochfrequenz-Tönen.
- [3] Inc. Google. indoor google maps, 2014. [Online; accessed 01-March-2014].
- [4] In-Location Alliance. In-location alliance introduction august 2013, 2014. [Online; accessed 01-March-2014].
- [5] He Wang, Souvik Sen, Ahmed Elgohary, Moustafa Farid, Moustafa Youssef, and Romit Roy Choudhury. No need to war-drive: unsupervised indoor localization. In *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services*, MobiSys '12, pages 197–210, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [6] Anshul Rai, Krishna Kant Chintalapudi, Venkata N. Padmanabhan, and Rijurekha Sen. Zee: zero-effort crowdsourcing for indoor localization. In *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*, Mobicom '12, pages 293–304, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [7] Sungro Yoon, Kyunghan Lee, and Injong Rhee. Fm-based indoor localization via automatic fingerprint db construction and matching. In *Proceeding of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and services*, MobiSys '13, pages 207–220, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [8] Fan Li, Chunshui Zhao, Guanzhong Ding, Jian Gong, Chenxing Liu, and Feng Zhao. A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors. In

- Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp '12*, pages 421–430, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [9] Inc. Google. indoor google maps inhaltsrichtlinien, 2014. [Online; accessed 01-March-2014].
- [10] P. Bahl and V.N. Padmanabhan. Radar: an in-building rf-based user location and tracking system. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volume 2, pages 775–784 vol.2, 2000.
- [11] Souvik Sen, Jeongkeun Lee, Kyu-Han Kim, and Paul Congdon. Avoiding multipath to revive inbuilding wifi localization. In *Proceeding of the 11th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '13*, pages 249–262, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [12] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan. The cricket location-support system. In *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, MobiCom '00*, pages 32–43, New York, NY, USA, 2000. ACM. King of Kotlett, Ultrasound Localization.
- [13] Mostafa Uddin and Tamer Nadeem. Spyloc: a light weight localization system for smart-phones. In *Proceedings of the 19th annual international conference on Mobile computing & networking, MobiCom '13*, pages 223–226, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [14] Cheng Bo, Xiang-Yang Li, Taeho Jung, Xufei Mao, Yue Tao, and Lan Yao. Smartloc: Push the limit of the inertial sensor based metropolitan localization using smartphone. In *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Mobile Computing & Networking, MobiCom '13*, pages 195–198, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [15] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcão, and Jonathan Gibbons. The active badge location system. *ACM Trans. Inf. Syst.*, 10(1):91–102, January 1992.
- [16] Yusuke Nakazato, Masayuki Kanbara, and Naokazu Yokoya. Localization system for large indoor environments using invisible markers. In *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology, VRST '08*, pages 295–296, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [17] Martin Azizyan, Ionut Constandache, and Romit Roy Choudhury. Surroundsense: mobile phone localization via ambience fingerprinting. In *Proceedings of the 15th annual inter-*

- national conference on Mobile computing and networking*, MobiCom '09, pages 261–272, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [18] John Krumm, Steve Harris, Brian Meyers, Barry Brumitt, Michael Hale, and Steve Shafer. Multi-camera multi-person tracking for easyliving. In *Proceedings of the Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance (VS'2000)*, VS '00, pages 3–, Washington, DC, USA, 2000. IEEE Computer Society.
- [19] M. Sakata, Y. Yasumuro, M. Imura, Y. Manabe, and K. Chihara. Altair: automatic location tracking system using active ir-tag. In *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, MFI2003. Proceedings of IEEE International Conference on*, pages 299–304, 2003. ähnliche Arbeit.
- [20] Babak Shirmohammadi and Camillo J. Taylor. Self-localizing smart camera networks. *ACM Trans. Sen. Netw.*, 8(2):11:1–11:24, March 2012.