

Indoor Positioning Technologien für mobile Endgeräte

- Analyse und prototypische Realisierung der Positionsbestimmung eines
mobilen Endgeräts im Raum -

Bachelorarbeit

im Studiengang
Audiovisuelle Medien

vorgelegt von

Jonathan Sommer

Matr.-Nr.: 25710

am 07.07.2015

an der Hochschule der Medien Stuttgart

Erstprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Uwe Schulz

Zweitprüferin: Dipl.-Inf. Özgün Bayramoglu

Kurzfassung

Während die Ortung unter freiem Himmel mit Hilfe von GPS heutzutage ein Standard für nahezu alle mobilen Endgeräte dargestellt, gewinnt die Lokalisierung in einem Gebäude zunehmend an Relevanz. Ortsabhängige Informationen können dadurch überall angezeigt beziehungsweise verarbeitet werden.

Diese Arbeit thematisiert die relevanten Grundlagen und Technologien eines Indoor-Positioning-Systems (IPS) für ein mobiles Endgerät.

Für eine Positionsermittlung in einem Raum zum Beispiel einer Werkhalle werden Estimote-Beacons (iBeacons Technologie) sowie die WLAN Fingerprint Methode näher untersucht.

Aufgrund erheblicher Störungen der Signale in einer Werkhalle ergeben sich verschiedene Probleme, die in dieser Arbeit identifiziert und gelöst werden.

Abstract

Outdoor localizations with the aid of GPS have become very popular in recent years and are now the standard for all mobile devices. The localization in a building, however, increasingly attracted the users' attention. Location-based information can thus be shown and processed at almost any place.

This paper provides an overview of the relevant principles and technologies of Indoor Positioning Systems (IPS) for mobile terminal devices.

Estimote-Beacons (iBeacons Technology) are used to analyze a position determination within a room or a factory building. Furthermore, location fingerprinting is being discussed since it is used in most current systems.

Due to considerable disturbances of signals in a factory building, several problems arise which are discussed in this work.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	8
1.1	ÜBERBLICK	9
1.2	ZIELE	9
2	EINFÜHRUNG IN DIE INDOOR-POSITIONING-TECHNOLOGIEN	10
2.1.1	<i>Anwendungsgebiete</i>	<i>10</i>
2.1.2	<i>Technologien im Überblick.....</i>	<i>11</i>
3	GRUNDLAGEN UND GRUNDBEGRIFFE	15
3.1	ANFORDERUNGEN AN EIN INDOOR-POSITIONING-SYSTEM (IPS)	15
3.2	BEGRIFFSERKLÄRUNGEN.....	17
3.2.1	<i>Techniken.....</i>	<i>17</i>
3.2.2	<i>Algorithmen (Al-Ammar et al., 2014).....</i>	<i>19</i>
4	SMARTPHONE-RELEVANTE TECHNOLOGIEN.....	21
4.1.1	<i>WLAN-Fingerprint-Methode</i>	<i>21</i>
4.1.2	<i>Bluetooth</i>	<i>22</i>
5	ESTIMOTE-BEACONS.....	23
5.1	AUFBAU.....	23
5.2	SIGNALREICHWEITE UND MESSUNG	24
6	VERSUCHSAUFBAU INDOOR-POSITIONING MIT ESTIMOTE-BEACONS	25
6.1	VERSUCHSAUFBAU	25
6.2	AUSWERTUNG DER ESTIMOTE-BEACONS	26
6.3	ESTIMOTE-INDOOR SDK	28
6.3.1	<i>Auswertung der Estimote-Indoor-Location SDK.....</i>	<i>28</i>
6.3.2	<i>Resümee der Indoor-SDK von Estimote.....</i>	<i>29</i>
7	USE CASE - HYBRIDE INDOOR-POSITIONING-LÖSUNG FÜR EINE PRODUKTIONSLINIE	30
7.1	ANWENDUNGSFALL.....	30
7.2	PROBLEMSTELLUNG	31
7.3	LÖSUNGSANSATZ.....	31
7.4	WLAN-FINGERPRINT-ALGORITHMUS	32
7.4.1	<i>Definitionen</i>	<i>32</i>
7.4.2	<i>Pseudo-Code</i>	<i>33</i>
7.5	PLATTFORM.....	34
7.6	LOKALE ODER SERVER-LÖSUNG	34

7.6.1	<i>Lokale Lösung</i>	34
7.6.2	<i>Server-Lösung</i>	35
7.7	VERSUCH 1	36
7.7.1	<i>Testaufbau</i>	37
7.7.2	<i>Auswertung</i>	38
7.7.3	<i>Zusammenfassung der Verbesserungsmaßnahmen</i>	40
7.8	EINSATZ VON ESTIMOTE-BEACONS	43
7.9	VERBESSERTER ALGORITHMUS	44
8	FAZIT	47
9	AUSBLICK	49
10	LITERATURVERZEICHNIS	51
11	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	53

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Proximity; Quelle: Gu et al., 2009</i>	19
<i>Abbildung 2: Aufbau eines Estimote-Beacons; Quelle: Estimote, 2014a</i>	23
<i>Abbildung 3: Zonen eines Estimote-Beacons; Quelle: Estimote, 2014b</i>	24
<i>Abbildung 4: Estimote Abstandsmessung</i>	25
<i>Abbildung 5: Offline Modus</i>	36
<i>Abbildung 6: Online Modus</i>	37
<i>Abbildung 7: IST - SOLL Messergebnis Diagramm</i>	38
<i>Abbildung 8: Wahrscheinlichkeit der Varianzen</i>	42
<i>Abbildung 9: Diagramm des ersten Viertels der geringsten Abweichung</i>	43

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Availability - Verfügbarkeit.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 2: Estimote-Beacons-Messung 0-2 Meter</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 3: Estimote-Beacons-Messung 3-10 Meter</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 4: Messung mit Beeinflussung eines Körpers</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 5: IST-SOLL-Messergebnisse</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 6: Auswertung MAC-Adressen I.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 7: Auswertung MAC-Adressen II.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 8: Berechnung des Anteils der Gesamtabweichung</i>	<i>42</i>
<i>Tabelle 9: Erste Viertel der geringsten Abweichungen</i>	<i>42</i>

Abkürzungsverzeichnis

AOA	Angle of arrival
AP	Access Point
API	Application Programming Interface
BLE	Bluetooth Low Energy
Etc	Et cetera
GPS	Global Positioning System
IPS	Indoor Positioning System
REST	Representational state transfer
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indication
SDK	Software Development Kit
TDOA	Time difference of arrival
TOA	Time of arrival
TOF	Time of flight
UUID	Universal unique identifier

1 Einleitung

Indoor-Location-Systems (IPS) erfreuen sich in den letzten Jahren einer wachsenden Popularität. Diese Systeme stellen eine neue Art der Automation von Objektlokalisierung dar. Reale Applikationen, die von dieser Automation profitieren, gibt es in großer Zahl. Angefangen von ortsabhängigen Angeboten in einem Warenhaus, aktuellen Positionen von Krankenhauspersonal bis hin zur Ortung von Polizeispürhunden beim Aufspüren von Sprengstoff (vgl. Liu, Darabi, Banerjee, & Liu, 2007).

Das Global-Positioning-System (GPS) wurde das erfolgreichste Lokalisierungssystem, das mobilen Geräten ermöglicht, den aktuellen Standort zu bestimmen. In gewissen Fällen können jedoch keine GPS Signale empfangen werden, beispielsweise in einem Haus oder in der Nähe von hohen Gebäuden (vgl. Fritsche & Klein, 2009).

Dies begründet die Relevanz von Indoor-Positioning-Systemen. Nicht nur bei der Indoor-Navigation in Flughäfen findet IPS seine Anwendung, auch für Werkhallen eröffnen sich neue Möglichkeiten. Für eine schnelle und ortsabhängige Information stellt eine Lokalisierung mit Hilfe des mobilen Geräts eine Unterstützung für jeden Produktionsleiter dar. Denn häufig sind wichtige Informationen auf unterschiedlichen Systemen verteilt, so dass das Zusammensuchen von gewünschten Daten an einem Standort zusätzliche Zeit erfordert, die durch IPS-Anwendungen eingespart werden kann.

Verschiedene Anforderungen an ein IPS erfordern unterschiedliche Lösungen. Die Entscheidung für eine passende Technologie kann anhand der Anforderungen ermittelt werden. Hierfür ist das Wissen über die grundlegende Technologien sowie beeinflussende Faktoren erforderlich. Eine gute, individuelle Software mit sehr hoher Qualität hat ihren Preis. Ebenso können nicht alle wichtige Faktoren eines IPS im höchsten Maße erfüllt werden. Hierbei gilt es einen guten Mittelweg zu finden. Aufgrund verschiedener Störfaktoren kann beispielsweise in einer Produktionshalle ein IPS nicht gleichzeitig günstig und sehr präzise sein.

Diese Bachelorarbeit gibt einen Überblick über derzeitige Indoor-Positioning-Systeme sowie deren Anforderungen und Anwendungsgebiete. Des Weiteren werden zwei Anwendungsfälle aufgezeigt.

Der erste Anwendungsfall bietet eine Lösung der Positionierung im Raum, die mit der iBeacon Technologie von Apple umgesetzt wurde. Estimote, eine Firma die iBeacons herstellt und vertreibt, bietet ein SDK für das iPhone an, das dieses Problem lösen soll.

Die Tauglichkeit und der Einsatz der Estimote-Beacons werden in dieser Thesis diskutiert.

Der zweite Anwendungsfall untersucht den Einsatz einer hybriden Lösung von WLAN und Estimote-Beacons in einer Werkhalle. Eine Testapplikation deutet auf die Problematiken hin, die sich aufgrund von verschiedenen Umständen ergeben.

1.1 Überblick

Im Anschluss an die Einleitung zeigt das zweite Kapitel diverse Anwendungsgebiete von Indoor-Positioning-Systemen auf. Außerdem werden verschiedene Technologien vorgestellt, die etliche Lösungswege einschlagen. Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit den Anforderungen, Grundbegriffen und den verschiedenen Algorithmen von Indoor-Positioning-Systemen. Diese werden für mobile Endgeräte noch näher beleuchtet und eine Auswahl von Technologien wird hierbei genauer beschrieben.

Während es in Kapitel fünf um den Aufbau der Estimote-Beacons und deren Einsatzgebiete geht, beschreibt das sechste Kapitel die Versuche und Auswertung dieser Technologie.

Das siebte Kapitel zeigt einen Versuchsaufbau einer Applikation und der Auswertung eines IPS in einer Werkhalle.

1.2 Ziele

Ziele dieser Arbeit sind zum einen das Kennenlernen der Grundlagen eines IPS, und zum anderen ein Verständnissgewinn zu einzelnen Technologien und den jeweiligen Einsatzgebieten. Des Weiteren wird es möglich sein Abwägungen für ein Design eines IPS treffen zu können.

Darüber hinaus wird in zwei Anwendungsfällen die theoretische Betrachtung praktisch umgesetzt und angewendet. Mit Hilfe der vorgestellten Algorithmen und Technologien kann ein individuelles System aufgebaut werden.

Durch eine Applikation mit Estimote-Beacons ist es möglich eine Aussage über Einsatzgebiete zu treffen. Zusätzlich wird die von Estimote bereitgestellte Indoor Location SDK angewandt und ausgewertet.

Um Probleme unter diffizilen Umständen kennen zu lernen, soll eine weitere Demo-Applikation in einer Werkhalle Hinweise liefern. Für eine möglichst genaue Lokalisierung wird der Algorithmus basierend auf den erkannten Probleme verbessert.

2 Einführung in die Indoor-Positioning-Technologien

Grundlage für jeden Entwurf eines IPS stellt die Analyse der Nutzeranforderung sowie eine dedizierte Anwendungsbeschreibung dar. Bevor die Recherche und Entwicklung einer Technologie gerechtfertigt ist, muss diese Analyse ausgewertet sein (vgl. Mautz, 2012).

Für eine optimale Analyse und Abwägung eines IPS bedarf es einem Verständnis von Grundlagenkenntnissen sowie Grundbegriffen der Indoor-Positioning-Technologien. Das folgende Kapitel zeigt die wichtigsten Grundlagen auf.

2.1.1 Anwendungsgebiete

Nach Gu (2009) ermöglicht ein Indoor-Positioning-System jedem mobilen Gerät eine genaue Lokalisierung seiner Position in einem Gebäude. Zusätzlich können positionsbasierte Dienste angeboten werden wie zum Beispiel Navigation, Tracking oder Überwachung.

Ein IPS findet in einem modernen, hochtechnisierten Leben allgegenwärtig Verwendung. Trotz der noch nicht ausgefeilten Technologie gibt es bereits verschiedene Einsatzgebiete. In Zukunft werden mehr und mehr Anwendungen, die heute noch nicht realisierbar sind, diese Technologie verwenden (vgl. Gu et al., 2009).

Ein kommerzielles, relevantes Produkt für den Massenmarkt ist ein Location-Based-Service, welches die geografische Lokalisierung eines mobilen Geräts in einem Gebäude ermöglicht und kontextabhängige Informationen bereitstellt. Verschiedenste Anwendungsfelder aus dem Alltag unterstreichen die Bedeutung von positionsbasierten Informationen: beispielsweise kann ein Nutzer Sicherheitsinformationen über den derzeitigen Standort in Erfahrung bringen. Aktuelle Informationen über Angebote wie beispielsweise Kino, Konzerte, Vorträge etc. können auch innerhalb eines großen Gebäudekomplexes angezeigt werden. Für Kunden sowie für den Eigentümer eines Warenhauses sind Informationen über die beliebtesten Produkte von hohem Wert. Über dies wird es möglich sein positionsbasierte Werbung zu schalten, und auch Zahlungsvorgänge und Suchkriterien positionsbasiert anzubieten. An Flughäfen kann eine Navigation angeboten werden, um den Reisenden einen schnellen Gate-Wechsel zu ermöglichen. In Zukunft kann ein IPS auch genutzt werden, um ein automatisches Profil-Matching durchzuführen und automatische Zeiterfassung in einer Firma anzubieten (vgl. Mautz, 2012, p. 11).

Für private Haushalte stellen die Ambient Assistant Living (AAL) Systeme eine Hilfe bereit. Besonders für ältere Menschen in ihren täglichen Aktivitäten bieten diese Systeme eine zusätzliche Sicherheit. Bei einem Sturz oder einer anormale Liegeposition, wie zum Beispiel im Flur, kann das Pflegepersonal beziehungsweise die betreuende Person verständigt werden.

In Krankenhäuser lässt sich durch ein IPS die Positionen von Patienten und Equipment ermitteln. Außerdem ermöglicht die Sturzüberwachungen eines Patienten eine schnelle Hilfe durch das Personal. Das Erfassen der Position von ärztlichem Personal in Notfallsituationen gewinnt zunehmend an Bedeutung (vgl. Mautz, 2012, p. 11).

Auch für Feuerwehreinsätze, Rettungseinsätze und Polizeieinsätze stellt ein IPS nützliche Informationen bereit, wie beispielsweise die Positionsermittlung eines Feuerwehrmannes in einem brennenden Gebäude, die Lokation von Spürhunden, die darauf trainiert sind explosives Material zu finden, Spurensicherung eines Tatorts, für die Abrufung relevanter Informationen für Statistiken und Training, aber auch im Falle von kriminellen Handlungen (vgl. Mautz, 2012, p. 12).

In der Industrie finden Indoor-Positioning-Systeme zunehmende Verwendung. Für eine automatisierte Herstellung sind die Positionsdaten von Robotern und Ähnlichem von Bedeutung, wie etwa bei Werkzeugassistenzsystemen an einem Fließband in der Autoindustrie, in automatisierten Überwachungen und Qualitätskontrollen. Kollisionsvermeidung in einer Werk- oder Lagerhalle können auch durch die Positionsdaten umgesetzt werden (vgl. Mautz, 2012, p. 12).

Indoor-Navigation-Systeme werden auch in großen öffentlichen Gebäuden benötigt, damit die Nutzer ihre Position ermitteln können. Zum Beispiel ermöglicht ein System in großen Museen dem Besucher bestimmte Kunstgegenstände in einer bestimmten Reihenfolge anzuschauen. Zusätzlich bietet standortbezogene Informationen dem Besucher mehr Wissen zu dem Exponat (vgl. Gu et al., 2009).

2.1.2 Technologien im Überblick

Kamera-basiertes System

Ein Kamera-basiertes System versucht Positions- und Bewegungsinformationen aus einer optischen Abtastung zu gewinnen - ähnlich der visuellen Wahrnehmung des Menschen durch das Auge. Es scheint eine vielversprechende Herangehensweise zu sein, da die Orientierung eines Menschen hauptsächlich auf visuellen Informationen basiert. Bisher erreicht ein Kamerasystem nicht die Genauigkeit einer menschlichen Orientierung (vgl. Werner, 2015, p. 93).

Nach Werner (2015, p. 94) gibt es zwei Entwicklungsansätze für eine Kamera-basierte Positionierung. Entweder die Kamera des mobilen Geräts wertet den Point of View (Blickpunkt) aus und ermittelt den Standort durch Scene Analysis, oder die Kameras sind im Gebäude fest installiert und die Bewegungsinformationen einer Person oder eines Objekts im Bild werden extrahiert. Das erstgenannte Verfahren steht vor der Herausforderung einen Standort anhand eines Kamerabilds zu ermitteln. Es erweist sich als einfachere Anforderung ein Objekt oder eine Person in einem Bild zu ermitteln.

Die Kamera-basierte Positionsermittlung enthält eine große Menge an Informationen, welche für die Ortung irrelevant sind. Darüber hinaus können diese Bildinformationen für Gesichtserkennung etc. missbraucht werden.

Audiobasiertes System (Ultrasonic)

Audiobasierte Systeme nutzen die Ausbreitung von Schallwellen für eine Lokalisierung der mobilen Geräte. Einfache Systeme nutzen zur Identifizierung der Position Ultraschallsignale, die der Mensch nicht hören kann. Die Ausbreitung von Schall in einem Gebäude ist sehr natürlich und deshalb meist besser als die Ausbreitung von Lichtsignalen. Der Grund hierfür ist, dass viele Materialien in einem Gebäude den Schall reflektieren und streuen, so dass ein Raum beziehungsweise ein Flur mit dem gleichen Schallsignal gefüllt werden kann. Ferner wird dadurch die Ausbreitung des Schalls in benachbarte Räume minimiert. Aufgrund der relativ langsamen Ausbreitung von Schall (ca. 343 m/s) ist es möglich mit wenigen Mikrofonen den Abstand eines bestimmten Audiosignals mit hoher Genauigkeit zu ermitteln (vgl. Werner, 2015, p. 97).

Werner (2015, p. 97) zeigt eine weitere Vorgehensweise auf. Hierbei werden typische Umgebungsgeräusche einer Räumlichkeit aufgenommen und verglichen. Jeder Raum eines Gebäudes hat in der Regel einen eigenen Raumklang. Dieses Vorgehen ähnelt der Fingerprintmethode eines WLAN-Indoor-Positioning-Systems. Das Signal wird in einem Raum für einen bestimmten Zeitraum aufgenommen und berechnet einen Fingerprint, der den Raum charakterisiert. Dieses Vorgehen ist jedoch ausschließlich anwendbar, sofern ein Raumklang existiert und zwischen den Räumen variiert. Ein vielversprechender Einsatzort wäre in einem industriellen Umfeld.

WLAN

Der midrange wireless local area network (WLAN) Standard, der mit einem 2,4GHz Industrial, Scientific und Medical (ISM) Band arbeitet, wurde in den letzten Jahren sehr populär und ist zurzeit der dominierende Standard im wireless-network-Bereich. Diesbezüglich ist es sehr empfehlenswert die meist schon existierende WLAN Infrastruktur eines Gebäudes für ein IPS zu nutzen (vgl. Liu et al., 2007).

Das auf Fingerprint basierte Verfahren für die Positionierung mit Hilfe von WLAN ist gegenwärtig das verbreitetste Vorgehen. Die Genauigkeit liegt je nach Dichte der Kalibrierungspunkte zwischen zwei und fünfzig Meter. Experimente von WLAN time-of-arrival Distanzmessungen ergaben eine schlechte Qualität aufgrund der asynchronen Uhrzeit von den verschiedenen Hotspots (vgl. Mautz, 2012, p. 64).

Ein Microsoft Research-Team entwickelte das Positionierungssystem *RADAR* mit Hilfe der WLAN-Technologie. *RADAR* verwendet die Signalstärke und das Signal-Stör-Verhältnis zur Bestimmung der Position. Das System wurde unter einem Experiment getestet und ergab eine Genauigkeit von ca. vier Metern mit einer Probabilität von 50%. Da der menschliche Körper mehr als 70% Wasser enthält und das Funksignal von 2,4GHz durch Wasser absorbiert wird, ist die Messgenauigkeit stark beeinflusst (vgl. Gu et al., 2009) (vgl. Lukaski, Johnson, Bolonchuk, & Lykken, 1985).

RFID

Radio Frequency Identification (RFID) speichert und überträgt Daten über elektromagnetische Wellen zu einem kompatiblen Gerät. Auf dem Markt werden aktive und passive Tags angeboten. Passive Tags werden hauptsächlich als Ersatz für die traditionelle Barcodetechnologie verwendet. Außerdem können diese ohne Batterie betrieben werden und sind im Vergleich zu den aktiven Tags kostengünstig, wenn auch die Lesereichweite sehr limitiert ist. Aktive Tags besitzen einen Sendeempfänger und eine Batterie, was zu einer höheren Reichweite führt (vgl. Ni & Patil, 2003).

Die RFID Technologie ist nicht nur für Positionierungsaufgaben geeignet sondern stellt zusätzliche Informationen für die Nutzer bereit. Die Vorteile des Systems liegen bei den leichten und kleinen Tags die als einzige Gerätschaft von dem zu beobachtenden Nutzer mitgeführt werden müssen. Equipment, Werkstücke oder Personen, die mit einem Tag ausgestattet sind, können eindeutig identifiziert und lokalisiert werden. Jedoch benötigt ein RFID Positionierungssystem eine Vielzahl von Komponenten die installiert und unterhalten werden müssen (vgl. Gu et al., 2009).

Bluetooth

Bluetooth arbeitet im 2,4-GHz ISM Band. Im Vergleich zu WLAN weist Bluetooth eine geringere Bitrate auf (1 Mbps). Zuzüglich beläuft sich die Reichweite auf ca. 10 bis 15 Meter (Bluetooth 4.0 Standard bis 100m). Allerdings ist Bluetooth ein allgegenwärtiger Standard, der in den meisten Smartphones, PDAs, Laptops etc. eingebaut ist. Bluetooth Tags sind kleine kombinierte Sende- und Empfangsgeräte, die alle eine eindeutige ID aufweisen, genau wie jedes einzelne Bluetooth Gerät. Diese ID kann zur Positionsbestimmung des Tags verwendet werden (vgl. Liu et al., 2007).

Gu (2009) beschreibt Bluetooth als eine „low-cost“ und „low-power“ Technologie, die von vielen bereits vorhandenen Geräten wiederverwendet werden kann. Deshalb ist es möglich ein effizientes IPS zu entwerfen. Eine Genauigkeit von zwei bis drei Metern sowie eine Verzögerungszeit von 20 Sekunden, stellt dieses System ernsthaft in Frage.

3 Grundlagen und Grundbegriffe

3.1 Anforderungen an ein Indoor-Positioning-System (IPS)

Accuracy – Genauigkeit

Die Bezeichnung „Genauigkeit - *accuracy*“ für ein IPS wurde von der Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM) definiert. *Accuracy* gibt die Ungenauigkeit eines Systems an. Hierbei werden die gemessenen und die erwarteten Werte miteinander verrechnet. Die Messungenauigkeiten umfassen mehrere Komponenten. Für den Vergleich der verschiedenen Systeme arbeiten Wissenschaftler, Entwickler und Anbieter derzeit an einer einheitlichen Messung für eine korrekte Angabe (Mautz, 2012).

Liu, et al (2007) stellen die Genauigkeit als die wichtigste Anforderung an ein IPS dar. Bei einer sehr hohen Genauigkeit eines Systems gibt es allerdings Einbußen in anderen Teilen. Für ein optimales IPS muss die Abwägung zwischen den Anforderungen individuell getroffen werden.

Nach wie vor stellt die Genauigkeit eines IPS die Wissenschaftler vor eine Herausforderung. (Al Nuaimi & Kamel, 2011)

Coverage – Reichweite

Jedes IPS weist eine bestimmte Reichweite auf. Je weiter die Reichweite eines Systems ist, desto effektiver ist das System. Die Reichweiten der derzeitigen IPS liegen zwischen fünf und 50 Meter. Systeme mit einer Reichweite von über 60 Meter stellen eine Herausforderung dar. (Al Nuaimi & Kamel, 2011)

Die Reichweite kann in drei Kategorien eingeteilt werden. Local Coverage, Scalable Coverage und Global Coverage. Während die Global Coverage sich auf die astronomische Navigation und das Globale Navigationssatellitensystem bezieht, begrenzen sich die anderen Kategorien auf einen klar definierten Bereich. Local Coverage bezeichnet einen limitierten Bereich welcher nicht erweiterbar ist. Scalable Coverage hingegen ist durch die Installation zusätzlicher Hardware erweiterbar. (Mautz, 2012)

Availability – Verfügbarkeit

Eine Definition für die Verfügbarkeit ergibt sich aus der prozentualen Zeit in der das System mit der erforderlichen Genauigkeit und der Integrität erreichbar ist. Verschiedene Faktoren wie zum Beispiel Ausfälle oder Überlastung der Datenübertragung sowie Instandhaltungsarbeiten limitieren die Verfügbarkeit (Mautz, 2012).

Für die Angabe der Verfügbarkeit teilt Mautz (2012) ein IPS in drei Level ein.

Low availability	Regular availability	High Availability
<95%	>99%	>99,9%

Tabelle 1: Availability - Verfügbarkeit

Cost

Ein weiteres wichtiges Kriterium ergibt sich aus den maximalen Kosten eines IPS. Die Quantifizierung sollte mit Sorgfalt durchgeführt werden (vgl. Mautz, 2012).

Die Faktoren sind unter anderem Geld, Zeit, Raum und Energie. Die Installation und Wartung eines Systems bezieht sich hauptsächlich auf die Zeit. Bei einem bestehendem *Wireless* Netzwerk muss keine zusätzliche Hardware gekauft werden, wodurch die WLAN-Technologie einen großen Vorteil erhält (Liu et al., 2007).

Privacy / Security

Die Sicherheit eines Systems hängt von dem Ausmaß des Schutzes gegen ungewollte Zugriffe auf private Daten sowie physikalische Eingriffe von Dritten ab. Ein User kann diese Einflüsse auf die Privatsphäre durch Genehmigungen steuern. Dabei stellen sich folgende Fragen: Wie großzügig gehen die User mit privaten Daten um? Gibt es Anforderungen an die Sicherheit eines Systems? Kann diese Entscheidung in die Hände des Users gegeben werden? Diese Fragen müssen geprüft und beantwortet werden (Mautz, 2012).

Letztlich entscheidet die Kontrolle des Zugangs zu den Positionsdaten der verschiedenen User über die Sicherheit eines Systems. Sobald ein System die Verlaufsdaten von vergangenen und derzeitigen Positionen abspeichert, sind hohe Anforderungen an den Schutz der Daten zu stellen (Gu et al., 2009).

Chung et. al. (2006) stellen zwei verschiedene Architekturen vor. Die passive Architektur beschreibt mehrere Sender und ein Zuhörer, was das Gerät eines Nutzers darstellt. Bei einer aktiven Architektur sendet das Gerät des Nutzers ein Signal an verschiedene Empfänger.

Bei einem selbst-lokalisierendem passiven Systems behält das Gerät des Nutzers die Information der aktuellen Position für sich und schickt diese nicht an einen Server weiter. Somit ist eine höhere Sicherheit des Users gewährleistet (Gu et al., 2009).

3.2 Begriffserklärungen

3.2.1 Techniken

Für die Umsetzung eines IPS werden verschiedene Techniken angewandt. Diese unterscheiden sich in vier Kategorien. Triangulation, Fingerprinting, Proximity und Vision of Analysis. Während Triangulation, Fingerprinting und Vision of analysis absolute und relative Positionen liefern können, stellt die proximity Technik nur Annäherungen bereit. Es ist möglich mehrere Techniken für ein IPS zu verwenden (Gu et al., 2009).

Triangulation

Die Positionsbestimmung mit Hilfe der Triangulation nutzt die geometrischen Eigenschaften von Dreiecken (Hightower & Borriello, 2001). Hightower & Borriello ordnen die Triangulation in zwei Bereiche ein. Lateration für die Messung der Distanzen und Angulation für die Berechnung des Zielobjekts mithilfe von Winkeln.

Lateration

Für die Berechnung der Position eines Objekts wird in der Lateration die Distanz von verschiedenen Referenzpunkten verwendet. Sind für zwei Dimensionen drei Referenzpunkte notwendig, werden für drei Dimensionen vier Referenzpunkte benötigt. Durch ortsabhängige Gegebenheiten zum Beispiel bei Installation der Referenzpunkte oberhalb des Objekts, ist es möglich eine Dreidimensionale Ortung mit nur drei Referenzpunkten durchzuführen. (Hightower & Borriello, 2001)

Hightower und Borriello (2001) beschreiben drei generelle Herangehensweisen für die Messung der Distanzen.

1. Direkt

Bei einer direkten Distanzmessung ist eine Physische Bewegung nötig, beispielsweise ein Roboter, der mit einem Maßband misst. Dieses Vorgehen ist leicht zu verstehen, aber sehr schwer umzusetzen (vgl. Hightower & Borriello, 2001).

2. Time-of-Flight (TOF)

TOF misst die Zeit die ein Signal zwischen einem Objekt und dem Referenzpunkt benötigt. Bei Schall sind das 344 Meter pro Sekunde (21°C Lufttemperatur). Das Problem bei hohen Frequenzen stellt die Ungenauigkeit der Uhren dar. GPS arbeitet mit synchronen Satelliten, durch die der Empfänger seine Position errechnen kann.

3. Attenuation

Wenn sich die Distanz zwischen einer Quelle und einem Empfänger vergrößert, sinkt die Intensität des Signals. Da die Signalstärke an der Quelle bekannt ist und die Abnahme des Signals berechnet werden kann, ist es möglich die Distanz zwischen Quelle und Empfänger zu ermitteln.

Letztendlich beeinflussen und bestimmen Übertragungsprobleme wie Reflektion, Brechung und Mehrwegausbreitung die Genauigkeit des Systems (vgl. Hightower & Borriello, 2001).

Angulation

Während Angulation viele Gemeinsamkeiten zur Lateration aufweist, nutzt die Angulation sowohl den Winkel als auch den Abstand zur Bestimmung der Position eines Objekts. Für eine zweidimensionale Ortsbestimmung werden zwei Winkel und einer Länge benötigt. Die Länge kann zum Beispiel der Abstand zwischen den Referenzpunkten sein. Bei einer dreidimensionalen Ortung ist zusätzlich ein Azimut-Winkel nötig (vgl. Al-Ammar et al., 2014).

Fingerprinting

Anstatt die Distanz zwischen Objekten und Referenzpunkten zu ermitteln, nutzt die Fingerprint-Technik charakteristische Übereinstimmungen von Signalen wie etwa der Signalstärke (RSS). Es gibt zwei Zustände, in dem sich das System befinden kann. Der Offline-Modus, auch Trainingszustand genannt, speichert laufend die Signalstärken der einzelnen Positionen für den späteren Vergleich und Übereinstimmungen ab. Der Aufbau dieser Signalstärkenkarte beginnt mit der Einteilung in verschiedene Bereiche, beispielsweise mit Hilfe eines Gebäudeplans. Befindet sich das Objekt im Offline-Modus in einem dieser Bereiche, werden über einen gewissen Zeitraum die Daten abgespeichert und diesem Bereich zugeordnet. Aufgrund dieser Daten ist eine Lokalisierung im Online-Modus des Objekts möglich. Durch das Senden der aktuellen Signalstärke vergleicht das System diese mit der im Offline-Modus aufgenommenen Signalstärke und sucht nach der passende Position. (vgl. Al-Ammar et al., 2014)

Al-Ammar et al. (2014) beschreiben verfälschte Signalstärken infolge von Reflektion, Beugung und Zerstreuung von Signalen als das Hauptproblem dieser Technologie.

Bei einem WLAN System, das auf 2,4GHz betrieben wird, weist ein menschlicher beziehungsweise tierischer Körper, der sich zwischen dem Objekt und der Quelle befindet, einen beachtlichen Störfaktor auf. Dies liegt an dem hohen Wasseranteil eines Körpers (über 70%) und der Resonanzfrequenz des Wassers, die bei ca. 2,4GHz liegt (vgl. Kaemarungsi & Krishnamurthy, 2004).

Proximity

In einem Bereich oder einer bekannten Position kann mit Hilfe dieser Technik ein Zielobjekt erfasst werden. Es wird eine bestimmte Anzahl an Detektoren benötigt, die durch die Anforderung eines IPS bestimmt werden. Abbildung 1 zeigt die gepunktete Linie den Bereich eines Detektors D. Das Zielobjekt E2 befindet sich im Bereich, während das andere Objekt außerhalb des Bereichs steht. Während diese Technik ein Objekt in einem Bereich erkennt, ist es nicht möglich eine genaue Positionsbestimmung des Objekts im Bereich durchzuführen. Es ist allerdings eine zuverlässige Messung, im Hinblick auf die Anwesenheit oder Nichtanwesenheit eines Zielobjekts im Raum (vgl. Gu et al., 2009).

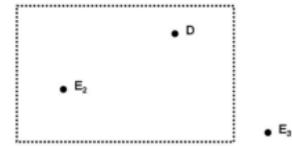


Abbildung 1: Proximity

Vision of Analysis

Diese Methode berechnet die Position durch Bilder, die von einer oder mehreren Quellen ausgewertet werden. Normalerweise werden von einer oder mehreren fest installierten Kameras Echtzeitbilder eines Bereichs ausgewertet und das Ziel identifiziert (vgl. Al-Ammar et al., 2014).

3.2.2 Algorithmen (Al-Ammar et al., 2014)

Al-Ammar et al. (2014) fassen vier Basisalgorithmen für ein Indoor-Positioning-System zusammen. Die verschiedenen Algorithmen weisen unterschiedliche Vor- und Nachteile auf. Der Einsatz eines Algorithmus sollte für jedes Indoor-Positioning-System individuell angepasst werden.

Time of Arrival (TOA)

Das mobile Gerät sendet ein Signal mit einem Zeitstempel an die Referenzpunkte. Sobald das Signal angekommen ist, wird die Distanz durch den Zeitunterschied und die Geschwindigkeit des Signals berechnet (vgl. Farid, Nordin, & Ismail, 2013).

TOA ist zwar die genaueste Berechnung das auch Streuungen und Reflexionen beheben kann, jedoch in der Implementierung sehr komplex (vgl. Gu et al., 2009). Aufgrund der exakten Synchronisation der Zeit aller beteiligten Geräte ist zusätzliche Hardware sowie ein weiterer Server notwendig (vgl. Farid et al., 2013).

Time Difference of Arrival (TDOA)

Der TDOA-Algorithmus misst die Zeitdifferenz zwischen dem Zielobjekt und den verschiedenen Referenzstationen. Hierbei multipliziert die Station den Zeitunterschied mit

der Geschwindigkeit des Signals und errechnet daraus die Entfernung (vgl. Zhang, Xia, Yang, Yao, & Zhao, 2010).

Durch TDOA kann der Startzeitpunkt des zu lokalisierenden Objekts unbekannt sein, lediglich die verschiedenen Empfänger des Signals müssen synchronisiert werden, damit eine exakte Berechnung durchgeführt werden kann (vgl. Al-Ammar et al., 2014).

Angle of Arrival (AOA)

Für eine Positionsbestimmung nutzt der AOA-Algorithmus die Winkel der eintreffenden Signale des Zielgeräts zu den Empfängern. Für eine 2D-Ortung genügen zwei Empfänger. Durch die Reflektionen des Signals an den Wänden ist diese Vorgehensweise für eine Indoor-Positionserkennung unbrauchbar (vgl. Farid et al., 2013).

Received Signal Strength (RSS)

Diese Methode ist nur relevant für die Positionierung mit Hilfe von Funksignalen. Um die Entfernung zu dem Objekt zu ermitteln, wird die Signalstärke gemessen und ausgewertet. Je näher sich das Objekt an dem Access Point (AP) befindet, desto höher die RSS Stärke/ Zahl. Zur Berechnung der Entfernung wird ein Algorithmus für ein Ausbreitungsmodell des Signals oder der Fingerprint-Algorithmus verwendet. Die Abschwächung der Signalstärke verhält sich im Freien umgekehrt proportional zum Abstand des AP. Folglich ist die Beeinflussung durch Möbel, Geräte, Fenster und Personen im Innenraum komplizierter und bedarf daher Korrekturen im Algorithmus (vgl. Al-Ammar et al., 2014).

4 Smartphone-relevante Technologien

In diesem Kapitel werden Smartphone-relevante Technologien näher erörtert, sodass die verschiedenen Ansätze für die späteren Anwendungsfälle verglichen und ausgewertet werden können. Hierzu gehört die WLAN- und Bluetooth-Technologie. Die Hardware ist in fast jedem Smartphone oder Tablet eingebaut und kann somit verwendet werden.

4.1.1 WLAN-Fingerprint-Methode

Wie bereits beschrieben ist WLAN eines der gängigsten Technologien zur Positionsbestimmung in Gebäuden. Hierbei wird zumeist die Fingerprint-Technik angewendet. Da in vielen Gebäuden schon ein bestehendes WLAN Netzwerk vorhanden ist, kann diese Infrastruktur ohne große Investitionen durch die neue Technologie verwendet werden.

Modi

Generell kann das Fingerprintverfahren in zwei Schritte eingeteilt werden, den Offline- und den Online-Modus (vgl. Zhang et al., 2010).

Farid et al (2013) beschreiben die zwei Modi wie folgt:

Offline-Modus

In dieser Phase wird die „Fingerprint-Abbildung“ entweder durch eine empirische Messung oder durch eine analytische Berechnung aufgenommen (RSSI-Referenzwerte (Fixpunkte) können durch ein Ausbreitungsmodell eines Signals berechnet werden). Im ersten Schritt muss für jede benötigte Position eine Standortanalyse durch Erstellen einer Abbildung der Signalstärken der verschiedenen Router oder APs aufgenommen werden. Diese stellen Punkte von vorher definierten Koordinaten dar und werden beispielsweise in einer Datenbank abgespeichert. Für eine eindeutige Positionierung werden Punkte von verschiedenen Access Points mit der gleichen Koordinate abgespeichert. Schritt für Schritt müssen nach diesem Verfahren die verschiedenen Fingerprints für die unterschiedlichen Positionen ermittelt werden.

Online-Modus

Sobald das System einsatzbereit ist, misst das mobile Gerät im Online-Modus die Signaleigenschaften der unbekanntenen Position. Mit Hilfe des aktuell gemessenen Wertes können durch einen Abgleich mit den Offline-Daten die Abweichungen der verschiedenen Punkte ausgewertet werden.

Des Weiteren beschreiben Farid et al. (2013), dass der Prozess der Datengenerierung im Offline-Modus viel Zeit einnimmt. Sobald eine neue Station hinzugefügt wird, muss dieser Prozess wiederholt werden. Eine weitere Problematik entsteht bei der Veränderung von Objekten im Gebäude (Personen, Möbel, etc.), was eine Beugung beziehungsweise Reflektion der Signale zur Folge hat und die Ausbreitung der Signale verändert. Um dieses Problem zu umgehen, ist eine periodische Anpassung des Systems notwendig.

4.1.2 Bluetooth

Bluetooth findet in der heutigen Zeit eine weite Verbreitung auf dem Markt. Sowohl in Smartphones als auch in Druckern, Computern, Kameras und Stereoanlagen findet Bluetooth Anwendung. Während WLAN-Positionierungssysteme schon ausführlich erforscht wurden, weist Bluetooth im Beispiel von iBeacons eine junge alternative Technologie für die Indoor-Positioning-Systeme auf, die noch Forschungslücken aufweist (Wang, Yang, Zhao, Liu, & Cuthbert, 2013).

Wang et al. (2013) beschreibt verschiedene Vorteile eines Bluetooth Positioning Systems:

Kosten

Die Kosten für einen Bluetooth-Chip sind um einiges niedriger als die Hardware für ein Wireless LAN. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass in vielen Gebäuden bereits eine WLAN-Infrastruktur vorhanden ist.

Stromverbrauch

Durch den geringen Stromverbrauch, der lediglich ein Fünftel eines WLAN Access Points aufweist, wird diese Technologie attraktiv - besonders in Umgebungen, in denen keine Stromversorgung installiert ist. Außerdem wird ein Mechanismus zur Regelung des Stromverbrauchs unterstützt.

Hierbei muss jedoch erwähnt werden, dass bei einer bestehenden Wifi-Infrastruktur diese Kosten nicht eingespart werden, sondern zusätzlich anfallen.

Eine Zeitsynchronisation unter Bluetooth-Beacons ist bisher nicht im Standard definiert. Somit ist laut Wang (2013) ein TOA-/TODA-Algorithmus nicht anwendbar. Außerdem wurde erst mit Bluetooth 2.1 ein Standard zur Auswertung des RSSI-Signals eingeführt. Zuvor konnte infolge unterschiedlicher Geräte keine einheitliche Messung durchgeführt werden.

Ergebnisse von Tests zeigen, dass die RSSI-basierte Algorithmen die besten Ergebnisse aufweisen (vgl. Wang et al., 2013).

5 Estimote-Beacons

Estimote-Beacons und Stickers sind kleine kabellose Sensoren, die an beliebigen Orten oder Objekten angebracht werden können. Sie senden periodische Funksignale die von mobilen Geräten empfangen und für eine ortsabhängige Information verwendet werden können. Mit Hilfe der Estimote-SDK ist es möglich den Abstand zu einem Beacons zu analysieren, den Typ zu bestimmen und die Temperatur beziehungsweise die Bewegung zu ermitteln.

Estimote-Beacon ist die bekannteste iBeacon-kompatible Hardware auf dem Markt. Die Beacons sind serienreif und offerieren kontextbezogene Intelligenz für jeden physikalischen Raum. Infolgedessen können Informationen abhängig vom aktuellen Standpunkt angezeigt beziehungsweise verarbeitet werden (vgl. Estimote, 2015) - beispielsweise ein Tagesangebot über ein Kleidungsstück, wenn sich der Nutzer in der Nähe befindet.

5.1 Aufbau

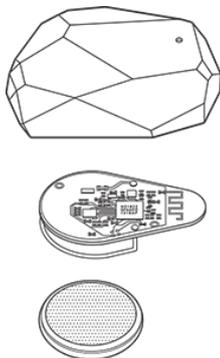


Abbildung 2: Aufbau eines Estimote-Beacons

Ein Estimote-Beacon ist ein kleiner Computer. Er besitzt einen 32-bit ARM Cortex M0 CPU mit 256kB Flashspeicher, einen Beschleunigungssensor, einen Temperatursensor und einen 2,4 GHz Bluetooth 4.0 Smart (Bluetooth low energy BLE) Sender und Empfänger. Die Batterie eines Estimote-Beacons kann bis zu zwei Jahren halten, je nach Signalstärke und Sendefrequenz des Funksignals (vgl. Estimote, 2015).

Jedes Beacons ist mit einer ID ausgestattet und somit einzigartig. Durch die Messung der Signalstärke (RSSI) kann der Abstand von einem bestimmten Beacons errechnet werden (vgl. Estimote, 2015).

Estimote-Beacons sind auf der Technologie von Apples iBeacons aufgebaut. Die iBeacon-Technologie und die Bluetooth-Beacons werden synonym verwendet. Ausgelegt ist diese Technologie für einen typischen Nahbereichs-basierten Service. Für das Empfangen von Daten muss sich der Nutzer lediglich in der Nähe eines Beacons aufhalten. Es ist natürlich nicht nur für Push-Notifikationen ausgelegt (vgl. Namiot, 2015).

Namiot (2015) beschreibt die Grundidee hinter den iBeacons als eine Konstante Broadcast-Datenquelle sowie eine bestimmte Anzahl an Empfängern. Da die Geräte nur eine Batterie beinhalten, wird Bluetooth Low Energy (BLE) verwendet. Der iBeacon

ist in einem auffindbaren Modus, damit die verschiedenen Geräte diesen empfangen und sehen können. Die MAC-Adresse als UUID wird beim Empfangen des Signals übertragen. Es ist sozusagen ein auffindbarer Knotenpunkt.

5.2 Signalreichweite und Messung

Estimote-Beacons haben eine Reichweite von 70 Metern. Allerdings kann ein Signal aus verschiedenen Gründen absorbiert oder abgelenkt werden, so dass in der realen Welt mit einer Entfernung von maximal 40 bis 50 Metern zu rechnen ist (Estimote, 2015).

Smartphones oder andere Geräte messen die Distanz zu einem Beacon anhand der RSSI. Je näher ein Beacon ist, desto stärker wird das Signal. Durch das Aussenden eines kontinuierlich Signals wird bei Erhöhung der Taktfrequenz ein besseres Ergebnis erzielt (Estimote, 2015).

Die Ausbreitung wird in drei Zonen eingeteilt (Estimote, 2014b):

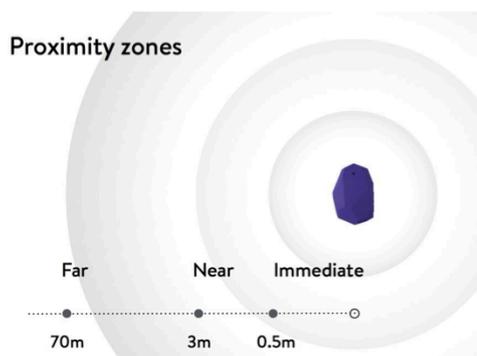


Abbildung 3: Zonen eines Estimote-Beacons

1. Immediate – Unmittelbare Zone

Wird ein Gerät direkt an ein Beacon gehalten, bedeutet das die unmittelbare Zone. Die Genauigkeit des Abstandes ist dabei sehr hoch.

2. Near – Nahe Zone

Innerhalb weniger Meter empfängt das Gerät die Nahe Zone. Hierbei lässt die Genauigkeit gegenüber der Unmittelbare Zone nach. Von diesem Bereich spricht man bei Entfernungen von 50 Zentimeter bis drei Meter.

3. Far – Ferne Zone

Sobald der Abstand mehr als ein paar Meter beträgt, befindet sich das Gerät in der fernen Zone. Da die Signalstärke durch verschiedene Ursachen stärker schwankt, wird die Genauigkeit beeinträchtigt.

6 Versuchsaufbau Indoor-Positioning mit Estimote-Beacons

6.1 Versuchsaufbau

Nach dem Kauf der Estimote-Beacons sind diese auf die Emailadresse des Käufers registriert. Durch das Anlegen eines Accounts bei Estimote können die Beacons verwaltet werden. Bei einem Wechsel des Halters erhält der bisherige Besitzer eine E-mail zur Bestätigung des Halterwechsels.

Der Versuchsaufbau besteht aus zwei Tests. Zum einen wird ein Estimote-Beacon analysiert und die Einstellungsmöglichkeiten sowie die wichtigen Punkte für ein IPS untersucht. Im zweiten Schritt wird das von Estimote bereitgestellte SDK zur Indoor-Location getestet und nach verschiedenen Kriterien untersucht.

Für die Analyse der Estimote-Beacons werden folgende Parameter ausgewertet:

Genauigkeit

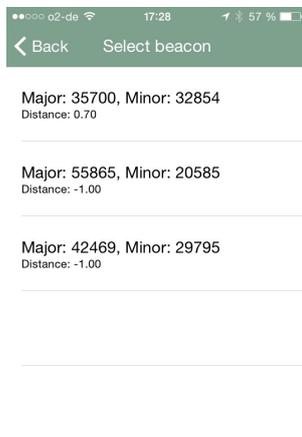


Abbildung 4: Estimote-Abstandsmessung

Für die Untersuchung der Genauigkeit werden Abstandsmessungen unter verschiedenen Voraussetzungen durchgeführt. In einem Raum wird zuerst der Abstand ohne Hindernisse gemessen, danach steht ein Körper in einem Abstand von einem Meter vor dem iPhone. Für den Vergleich werden die SOLL- und IST-Werte in einer Tabelle gegenübergestellt. Nach Angaben von Estimote und Apple werden Ungenauigkeiten von weniger als einem bis zwei Meter erwartet (Je nach Störung). Die Messung des jeweiligen Abstands des Smartphones wird mit Hilfe der SDK von Estimote ermittelt und auf dem Display angezeigt. Der SOLL Zustand wird durch ein Laserabstandsmessgerät ermittelt.

Latenz

Latenz beschreibt die Verzögerungszeit die ein Signal beispielsweise hat bis es verarbeitet werden kann. In diesem Fall wird der Abstand zwischen den Signalen beschrieben.

Hierfür werden die Einstellungsmöglichkeiten eines Estimote-Beacons angegeben.

Reichweite

Laut Estimote ist der Beacon in der Lage ein Signal in Abwesenheit von Hindernissen bis zu 50 Meter zu senden. In diesem Versuch wird die Reichweite eines Signals untersucht, wenn Störfaktoren im Weg sind. Da der menschliche Körper aus einem hohen Anteil an Wasser besteht und Bluetooth auf 2,4 GHz gesendet wird, was die Resonanzfrequenz von Wasser ist, stellt der Mensch einen großen Einflussfaktor dar. Diesbezüglich werden spezielle Messungen hierzu durchgeführt. Eine weitere Herausforderung in Bezug auf die Reichweite ist der Zusammenhang zwischen Batterielaufzeit eines Estimote-Beacons und seiner Reichweite. Je stärker das Signal ist, desto kürzer ist die Batterielaufzeit.

6.2 Auswertung der Estimote-Beacons

Parameter

Jedes Beacon lässt sich separat einstellen und verwalten. Durch eine App von Estimote kann ein Ortsname für jedes Beacon vergeben werden. Die Signalstärke von „stark“ (4db) bis „schwach“ (-30db) kann anhand der Anforderungen eingestellt werden. Abhängig von den verschiedenen Einstellungen gibt es unterschiedliche Batterielaufzeiten. Diese werden auch in der App angezeigt. Zusätzlich kann die Temperatur angezeigt, sowie ein Beschleunigungsmesser eingeschaltet werden.

Bestimmung der Genauigkeit

Die erste Messreihe bezieht sich auf den Abstand zwischen 0,5 und zwei Meter (i.e. Nahe Zone). Für jeden Abstand wurden einige Messungen durchgeführt und dessen Mittelwert berechnet. Bei geringem Abstand ist die Abweichung sehr klein, vgl. Tabelle 2.

SOLL in m	IST \emptyset in m	Abweichung
0,5	0,48	0,02
1	1,09	-0,09
1,5	1,55	-0,05
2	2,1	-0,1

Tabelle 2: Estimote-Beacons-Messung 0-2 Meter

Für einen Bereich zwischen drei und zehn Metern steigt die Abweichung merklich an und ist für eine genaue Positionsbestimmung problematisch vgl. Tabelle 3.

SOLL in m	IST \emptyset in m	Abweichung
3	3,2	-0,2
4	3,5	0,5

5	5,2	-0,2
6	5,5	0,5
7	7,4	-0,4
8	8,6	-0,6
9	9,9	-0,9
10	11,2	-1,2

Tabelle 3: Estimote-Beacons-Messung 3-10 Meter

Im letzten Versuch steht ein Körper zwischen Estimote-Beacon und einem iPhone und der Körper steht ein Meter vor dem zu messenden iPhone. Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, sind die Abweichungen enorm. Aufgrund der Ungenauigkeit kann in diesem Fall keine Abstandsbestimmung mit einem Beacon vorgenommen werden.

SOLL in m	IST \emptyset in m	Abweichung
2	5,4	-3,4
3	8,2	-5,2
4	7,7	-3,7
5	7,2	-2,2

Tabelle 4: Messung mit Beeinflussung eines Körpers

Latenz

Der Turnus von Signalen ist zwischen 100 Millisekunden und zwei Sekunden einstellbar. Je kürzer die Abstände, desto kürzer wird die Akkulaufzeit. Die richtige Einstellung ergibt sich aus den Anforderungen an das System. Bei einem Live-Tracking, das zuverlässig die Positionsänderung anzeigen soll, ist eine möglichst kleine Zeit einzustellen. Bei dem Anwendungsfall in einem Warenladen, indem nur Hinweise über Angebote beziehungsweise Aktionen gegeben werden, reicht ein Sendeturnus von zwei Sekunden aus.

Reichweite

Der Testraum hatte eine Länge von sechs Metern. Innerhalb des Raums gab es keine Probleme mit der Reichweite. Im benachbarten Raum mit der Länge von vier Metern betrug der maximale Abstand zum Beacon somit zehn Meter. Es wurde immer noch ein Signal empfangen, allerdings bezifferte das System den Abstand aufgrund des Störfaktors Wand auf 35 Meter. Auch wenn die Genauigkeit stark abnimmt, ist zumindest die Reichweite der Beacons für normale Büroräume und Räume in einer Wohnung vollkommen ausreichend. Bei diesem Test wurde die Reichweite in einer großen Halle nicht getestet.

6.3 Estimote-Indoor SDK

Estimote bietet auf ihrer Website eine Indoor-Location SDK an, mit den Entwicklern ein Tool gegeben wird, die eine Lokalisierung eines mobilen Geräts in einem gegebenen Raum durchführen zu können. Das SDK wird bisher ausschließlich für iOS angeboten, eine Android-Lösung soll bald erhältlich sein (vgl. Estimote, 2014a).

Diese SDK bedient sich nicht nur der iBeacon-Technologie, sondern verwendet zusätzlich eingebaute Sensoren. Besonders deutlich wird dies mit der Richtungsanzeige der dargestellten Person in der App. Hierfür wird ein eingebautes Magnetometer verwendet.

Derzeit können ausschließlich einzelne Räume ausgemessen werden. Bei einem quadratischen oder rechteckigen Raum sind die besten Resultate zu erwarten. Glas oder Metall erhöhen die Messungen, welche wiederum durch den Einsatz zusätzlicher Beacons minimiert werden können (vgl. Estimote, 2014a).

6.3.1 Auswertung der Estimote-Indoor-Location SDK

Das Verwenden des SDK in einer eigenen App stellt sich als sehr komfortabel heraus. Eine API kann schnellstmöglich die nötige Funktionalität in einer App integrieren. Standard-Features wie das Vermessen eines Raums können direkt übernommen werden. Estimote stellt eine App zum Testen von verschiedenen Funktionen kostenlos bereit.

Um einen Raum zu vermessen, wird das erste Beacon neben der Tür platziert. Für die anderen Wände wird jeweils ein Beacon in der Mitte angebracht. Eine App-interne Anleitung führt den Nutzer durch den Kalibrierungsprozess. Zu Beginn wird das iPhone an das Beacon neben der Tür gehalten. Nun wird der Raum von Beacon zu Beacon abgelaufen.

Auch nach mehreren Wiederholungen dieses Vorgangs betragen die Abweichungen von den tatsächlichen Wandlängen zwischen 0,5 und zwei Meter. Da diese Messung die Grundlage für die Lokalisierung der Position darstellt, kommt es zu Folgefehlern.

Die Tests zeigen, dass die Ausmessung des Raums durch das SDK nicht nur Zeitintensiv, sondern auch sehr ungenau ist. Aus diesem Grund wurde eine eigene Testapplikation geschrieben, in der der Nutzer die Raumdaten angeben kann und daraus der Raum generiert wird. Mit Hilfe eines Meterstabs oder eines Laser-basiertes Entfernungsmessgerät können Abstände ausgemessen werden. Damit sind die Maße der Wände um einiges genauer als bei der Vermessung durch das Estimote-SDK.

Nach Versuchen in unterschiedlichen Räumen wurde ersichtlich, dass die Genauigkeit der Lokalisierung im Raum sehr schwankt. In manchen Fällen gab es Abweichungen von bis zu drei Metern. Besonders bei schnellem Durchschreiten des Raums sind die Verzögerungen ersichtlich – selbst bei dem höchsten Signaltturnus.

6.3.2 Resümee der Indoor-SDK von Estimote

Für die Positionsermittlung im Raum stellt Estimote ein gutes Werkzeug bereit. Durch das Indoor-Location SDK ist es möglich mit wenig Aufwand ein System für einen Raum aufzusetzen. Die Genauigkeit ist für viele Anwendungsgebiete ausreichend, muss allerdings für jedes System separat betrachtet werden. Zwei Gründe sprechen gegen ein System, das ausschließlich mit Estimote-Beacons aufgebaut ist: Zum einen ist die Anschaffung der Beacons für eine größere Halle beziehungsweise ein Bürogebäude aufgrund der Anzahl der Beacons sehr teuer. Bei der WLAN-basierten Positionsermittlung kann auf die bestehende Infrastruktur zurückgegriffen werden. Zum anderen werden die Estimote-Beacons nur mit einer Batterie versorgt, was einen höheren Wartungsaufwand bedeutet. Zudem ist das wechseln der Batterien nicht trivial.

In einem System, das lediglich die Ortung einzelner Räume abdeckt, erweist sich die Indoor SDK mit Estimote-Beacons als sehr gute Alternative. Die Installation benötigt weniger Zeit als eine WLAN-Fingerprint-Alternative und die Kosten sind überschaubarer. Sobald sich die Ortung über ein Stockwerk oder ein Gebäude ausweitet, steigt der Aufwand. Auch die Kosten steigen dementsprechend. Gerade bei einer möglichst genauen Lokalisierung ergeben die Einstellungen an einem Estimote-Beacon eine sehr geringe Akkulaufzeit. Mit den benötigten Einstellungen ergab sich aus dem Versuch eine Laufzeit von sechs Monaten. Wird der Wartungsaufwand für das Wechseln der Beacons beziehungsweise der Batterien mit eingerechnet, ist das System nicht mehr lukrativ.

7 Use Case - Hybride Indoor-Positioning-Lösung für eine Produktionslinie

In diesem Kapitel wird die Anwendung eines Indoor-Positioning-Systems in einem realen Umfeld untersucht. Für die erste Version wird vorerst eine Positionierung mit Hilfe von WLAN durchgeführt. Zur Verbesserung einzelner wichtiger Punkte im Raum kommen Estimote-Beacons zum Einsatz. Das Projekt wurde mit Java in Android implementiert, da iOS 8 die nötigen Anforderungen nicht erfüllen kann.

7.1 Anwendungsfall

An einer Produktionslinie ist es wichtig Informationen schnell bereitstellen zu können. Häufig sind Informationen für eine Maschine oder einen Bereich nötig, die aus verschiedenen Quellen stammen. Es kostet sehr viel Zeit alle relevanten Daten aus verschiedenen Systemen zusammensuchen. Die Bereitstellung der Daten kann durch eine Softwarelösung erreicht werden. Hierbei muss der Anwender die Maschine beziehungsweise den Bereich, in dem er sich befindet, auswählen. Ein nächster Schritt stellt zusätzliche Lösungen mit einer Positionserkennung dar. Ein Mehrwert wird durch das sofortige, automatisierte Abrufen von Informationen am derzeitigen Standort erreicht. Bei einer genauen Ortung sind keine zusätzlichen Klicks mehr notwendig.

Die Informationsbereitstellung stellt einen großen Vorteil eines Indoor-Positioning-Systems in einer Werkhalle dar. Es gilt stets Ausfälle in einer Produktionslinie zu vermeiden. Sobald eine Maschine stillsteht, bedeutet dies Gewinneinbußen und schlechte Zahlen für die Tagesproduktion. Zur Vermeidung von längeren Stillständen ist eine sofortige Meldung an die verantwortliche Person von Nöten. Durch die Lokalisierung der unterschiedlichen Verantwortungspersonen kann die Person, die sich am nächsten bei der Maschine befindet, den Hinweis bekommen sich umgehend zur Maschine zu begeben.

Auch im Falle eines Brandes können die betroffenen Personen über eine App informiert und angeleitet werden. Somit stehe einem intelligenten Rettungssystem nichts mehr im Wege, das größere Menschenmassen über unterschiedliche Rettungswege leiten kann. Überfüllungen einzelner Wege wird somit vorgebeugt.

7.2 Problemstellung

Produktionshalle

Die Industrie weist eine deutlich rauere Umgebung verglichen zu einem Heimoffice auf. Metallische Geräte und Konstruktionen sowie ein hohes Level an elektromagnetischen Interferenzen von Maschinen und Prozessen beeinflussen das WLAN-Signal stark. Auch die physikalischen Eigenschaften von Produktionshallen beeinflussen die Ausbreitung des Signals (vgl. Stenumgaard, Ferrer-Coll, Ängskog, & Chilo, 2012).

Die Zielproduktionshalle besitzt viele metallene Gegenstände. Nicht nur die hergestellte Ware ist aus Metall, sondern auch die Maschinen und Förderbänder. Einige Bereiche bestehen aus hohen Konstruktionen, die ein Signal deutlich beeinflussen können.

Anforderungen

Eine Ermittlung der Position im Meter-Bereich ist für das System ausreichend. Das Erkennen der Position eines Tablets in bestimmten Bereichen von einzelnen Maschinen soll mit Hilfe der bestehenden Infrastruktur umgesetzt werden. Gegeben sind ca. 80 Access Points, die an der Decke angebracht sind. Der Einsatz von Endgeräten, die keine Sensoren aufweisen, erfordert eine Umsetzung, das lediglich über WLAN und Bluetooth funktioniert.

Die sichere Erkennung einzelner Maschinen, an denen sich das Tablet befindet, ist zu gewährleisten.

7.3 Lösungsansatz

Aufgrund der Anforderungen wird für die Umsetzung sowohl WLAN als auch die Bluetooth-Technologie verwendet. Für die Ermittlung der Position des aktuellen Bereichs und der Maschinen wendet man die Fingerprint-Methode von WLAN-Routern / Access Points an. Damit bestimmte Punkte mit Sicherheit erkannt werden, kommen Estimote-Beacons zum Einsatz.

Ein einfacher Lösungsweg bietet die Umsetzung ausschließlich mit Estimote-Beacons. Jeder relevante Bereich beziehungsweise jede relevante Maschine wird mit einem Beacon ausgestattet. Dazu ist lediglich die Konfiguration der einzelnen Beacons notwendig. Problematisch gestaltet sich die Wartung dieses Lösungsansatzes. Angenommen es gibt 50 Maschinen, die lokalisiert werden sollen, dann sind 50 Beacons alle sechs bis zwölf Monate zu warten. Sobald eine Batterie leer ist, kann kein Signal mehr gesendet werden und der betroffene Beacon muss gesucht werden. Eine Lö-

sung ausschließlich mit Estimote-Beacons ist durch den hohen Aufwand nicht vertretbar.

7.4 WLAN-Fingerprint-Algorithmus

Der Grundalgorithmus wurde nach (Xu, Kusber, & David, 2013) folgend umgesetzt und angepasst.

7.4.1 Definitionen

Section

Die Werkhalle ist in bestimmte Bereiche beziehungsweise Maschinen eingeteilt, wobei jeder Bereich eine Section (S_i) darstellt. Eine Section enthält eine eindeutige ID (SID), einen Namen (NAME). Es können beliebig viele Sections angelegt werden. Der Index s gibt die aktuelle Section an.

$$S_s = \{SID_s, NAME_s\} (s \in \mathbb{N}^*)$$

Fingerprint

Der Fingerprint (F_{fs}) beschreibt einen definierten Punkt in einer Section (S_s). Gespeichert wird ein Identifier (FID) für den Fingerprint und die gewünschte Section (SID). Einer Section können beliebig viele Fingerprints zugewiesen werden. Ein Index mit f definiert den jeweiligen Fingerprint.

$$F_{fs} = \{SID_s, FID_f\} (f, s \in \mathbb{N}^*)$$

ScanResult

Der ScanResult (SR_t) beschreibt die Messung eines Tablets bei einem WLAN-Scan. Hierbei ist für jedes Objekt in der Liste die MAC-Adresse sowie die Signalstärke hinterlegt. Diese Liste wird von Android nach einem WLAN-Scan bereitgestellt wobei t den aktuellen Scan in der Liste beschreibt.

$$SR_t = \{MAC_t, RSSI_t\} (t \in \mathbb{N}^*)$$

Record

Ein Record (R) beschreibt ein Element eines ScanResult. Es umfasst eine MAC-Adresse mit der dazugehörigen Signalstärke (RSSI).

$$R = \{MAC, RSSI\}$$

Cluster

Damit viele Messergebnisse zusammengefasst werden können, stellt das Cluster (C_{cf}) eine Sammlung von Daten dar. Dazu gehört eine MAC-Adresse, der zugehörige Fingerprint, der Durchschnitt der RSSILIST, sowie dessen Standardabweichung. Die RSSILIST speichert verschiedene Signalstärken, die von derselben MAC-Adresse bei verschiedenen WLAN-Scans an demselben Fingerprint gesammelt wurden. Der Index c beschreibt das aktuelle Cluster.

$$C_{cf} = \{FINGERPRINT_f, MAC_c, RSSIMEAN_c, RSSIDEVIATION_c, RSSILIST_c\} (c, f \in \mathbb{N}^*)$$

Minimum Cluster Count

Für eine eindeutige Identifizierung einer Position sind mindestens drei Cluster, dementsprechend drei verschiedene Signale, notwendig. Aufgrund der Vielzahl an Störquellen in der Werkhalle wird diese Zahl erhöht. Diese Mindestanzahl von Cluster wird durch den Minimum Cluster Count definiert.

7.4.2 Pseudo-Code

Offline Mode

Damit das Tablet geortet werden kann, müssen zunächst Referenzpunkte für einen Bereich gesammelt werden. Dieser „Lernvorgang“ wird als Offline-Modus bezeichnet. Für das Speichern eines Fingerprint wird folgender Code implementiert.

```
Input: scanResult, SID
Output: Neuer Fingerprint und dazugehörige Cluster

WLAN Scan
for each scanResult, do
  for each Record in scanResult do
    if MAC exists in Cluster HashMap
      add rssi value to cluster RSSILIST
    else
      add new Cluster with (MAC, RSSI)
  if cluster.size > Minimum Cluster Count
    create new Fingerprint with SID
    save Fingerprint in Database
    calculate RSSIMEAN and RSSIDEVIATION for each cluster
    save cluster with Fingerprint id in Database
```

Online-Modus

Für eine Lokalisierung der aktuellen Position wird ein Abgleich der bestehenden Daten mit dem aktuellen Scan durchgeführt.

```

Input: scanResult
Output: aktuelle Section

WLAN Scan
For each Fingerprint do
  For each Cluster in Fingerprint
    If ScanResult has cluster MAC
      Add deviation of signal (cluster RSSI, ScanResult RSSI)
For five Fingerprints with smallest variance
Merge sections
Calculate smallest variance of sections
Return section with smallest variance

```

7.5 Plattform

Laut Anforderung muss die Zielplattform einen WLAN-Scan mit den aktuellen Routern und deren Signalstärken bereitstellen können. Außerdem ist es notwendig Bluetooth 4.0 kompatibel zu sein, damit Estimote-Beacons erkannt werden können.

Ein iPhone mit einem iOS8 Betriebssystem kann den Anforderungen nicht gerecht werden. Das Ermitteln der WLAN-Signale und deren Signalstärken in der Umgebung ist durch Apples neues Betriebssystem iOS 8 nicht mehr möglich und nicht vorgesehen. Die Public API ist schon seit längerem nicht mehr zugänglich.

Damit die Funktionsweise einer hybriden Lösung trotzdem gefunden werden kann, wird diese Applikation mit einem Android Tablet umgesetzt. Als Testhardware wird ein Samsung Galaxy Tab4 verwendet.

7.6 Lokale oder Server-Lösung

Für den Test der Applikation und des dazu entwickelten Algorithmus bietet sich eine lokale Lösung an. Zum einen braucht das Einrichten eines Servers Zeit und zum anderen sind schnelle Änderungen am System für unterschiedliche Tests nicht so zügig durchführbar wie bei einem lokalen System.

Für die Umsetzung eines neuen Systems stellt sich jedoch die Frage, welcher Ansatz gewählt werden sollte.

7.6.1 Lokale Lösung

Die Sicherheit der Daten beziehungsweise die Information über den aktuellen Standort einer Person sind bei einer lokalen Lösung gegeben. Bei einer lokalen Berechnung der

Position liegt die Verantwortung für die Veröffentlichung dieser Information beim Nutzer.

Mit einer solchen Lösung kann jedoch keine ortsabhängige Nachricht, die beispielsweise von einer Maschine gesendet wird, verarbeitet werden. Über dies hinaus ist es notwendig für jedes Gerät die gewünschten Positionen zu ermitteln und abzuspeichern. Dies bedeutet einen hohen Mehraufwand und ist für diesen Anwendungsfall nicht praktikabel. Nur für das Testen des Systems bietet sich die lokale Lösung an.

7.6.2 Server-Lösung

Für eine Serverlösung bieten sich drei verschiedene Lösungen an. Die Auswahl ist unter Berücksichtigung der Sicherheit und des Aufwandes zu treffen.

Speicherung der Fingerprints

Die einfachste Lösung bietet die Speicherung und Bereitstellung der gemessenen Fingerprints für die verschiedenen Geräte. Sobald ein Gerät einen neuen Fingerprint aufnimmt, wird dieser auf dem Server abgelegt.

Ein Client bezieht in regelmäßigen Abständen die aktuellen Fingerprints. Die Berechnung der aktuellen Position wird weiterhin auf dem lokalen Gerät durchgeführt. Diese Lösung bietet eine hohe Sicherheit, da nur das lokale System den aktuellen Standort kennt. Allerdings dient der Server nur als Datenhalter und das lokale System ist gezwungen viele Berechnungen und Auswertungen durchzuführen, die zu einer kürzeren Akkulaufzeit führen.

Speicherung der Fingerprints und Auswertung der Position

Mit dieser Lösung werden alle Berechnungen von einem Server erledigt. Es werden lediglich die WLAN-Informationen von einem mobilen Gerät auf den Server übertragen. Der Server berechnet die aktuelle Position und stellt diese dem mobilen Gerät beziehungsweise der Applikation bereit. Zusätzlich kann der Server die aktuelle Position des jeweiligen Geräts abspeichern und somit den aktuellen Standort eines mobilen Geräts erkennen.

Diese Lösung erfordert die Sammlung der WLAN-Daten im gewünschten Programm. Der Vorteil an dieser Lösung ist, dass jedes beliebige Gerät, welches die Applikation besitzt, die Position bestimmen kann. Da der Server die Berechnung der aktuellen Position übernimmt, muss dies nicht auf den Endgeräten implementiert werden.

Speicherung der Fingerprints, Auswertung und Bereitstellung der aktuellen Position

Dieser Vorgang ist dem Zweiten sehr ähnlich. Es wird jedoch eine Applikation implementiert, die im Hintergrund in bestimmten Abständen dem Server die aktuelle WLAN Daten schickt. Der Server verarbeitet diese und speichert die aktuelle Position ab. Im gewünschten Programm muss somit nur ein REST-Aufruf des gewünschten Geräts an den Server gesendet werden. Der Server kann direkt mit der aktuellen Position antworten. Der große Vorteil hierbei ist, dass keine große Implementierung beziehungsweise Anpassung an das Zielprogramm umgesetzt werden muss. Es bedarf einer bloßen Anfrage an den Server. Für diese Lösung ist es erforderlich, dass die Geräte sich einmalig beim Server registrieren.

7.7 Versuch 1

Für eine Auswertung des Fingerprint-Algorithmus werden Tests in der Werkhalle durchgeführt. Danach werden die Vorgänge des Offline- und Online-Modus beschrieben.

Offline Modus (Lernmodus)

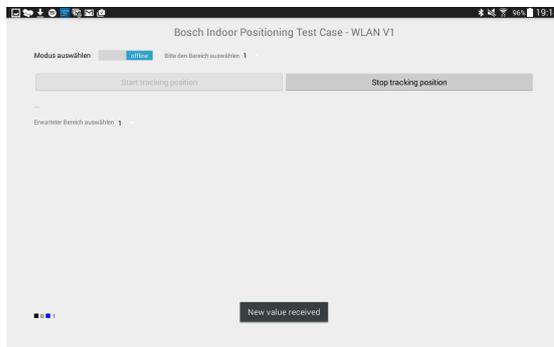


Abbildung 5: Offline Modus

Das Lernen einer Position wird durch das Sammeln von WLAN-Signalen an einem Ort definiert. Eine einzelne Messung kann den aktuellen Ort nicht repräsentieren, da Signale zu diesem Zeitpunkt verfälscht sein konnten. Aus diesem Grund werden mindestens fünf Messungen (Scans) durchgeführt. Eine Messung enthält Werte von unterschiedlichen Routern. Für eine

Messreihe werden jeweils die Daten mit den gleichen MAC-Adressen zusammengefasst. Die Werte werden abgespeichert und am Ende der Messreihe werden der Durchschnitt und die Standardabweichung der RSSI-Werte berechnet. Dieses Ergebnis ergibt zusammen mit einer MAC-Adresse ein Cluster. Ein Fingerprint entsteht aus dieser Messreihe, indem verschiedene Cluster einem Fingerprint zugeordnet werden. Wenn ein Fingerprint, eine Messreihe, nicht genügend Cluster in sich vereint, kann kein Fingerprint erzeugt werden, da eine eindeutige Positionierung nicht möglich ist. Ein Fingerprint wird einer Section zugeordnet. Der Versuch enthält viele verschiedene Sections und somit viele verschiedene Bereiche beziehungsweise Maschinen.

Online-Modus

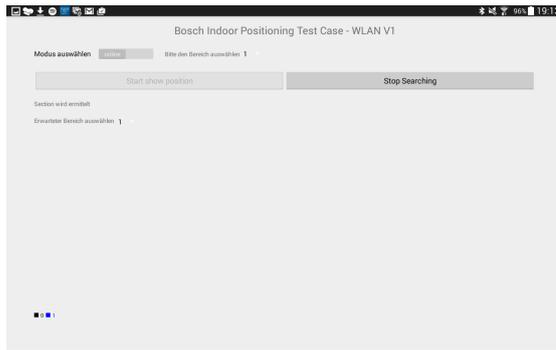


Abbildung 6: Online Modus

Die Lokalisierung der aktuellen Position wird über den Online-Modus realisiert. Zuerst wird ein WLAN-Scan durchgeführt. Durch die MAC-Adressen und die dazugehörigen RSSI-Werte kann ein Abgleich gegen die gesammelten Daten durchgeführt werden. Alle Fingerprints mit ihren zugehörigen Clustern werden dabei durchlaufen. Hieraus wird die Abweichung er-

rechnet. Die kleinsten fünf Abweichungen werden abgespeichert. Zur eindeutigen Ermittlung einer Section, werden die fünf besten Fingerprints untersucht. Sobald mehrere dieser fünf Fingerprints zu derselben Section gehören, fasst der Algorithmus diese Werte zusammen und errechnet das Mittel. Am Schluss ergibt sich die Section mit der kleinsten Abweichung. Diese Section wird dann als aktuelle Position angegeben

7.7.1 Testaufbau

Für den Test werden zehn verschiedene Bereiche definiert. Ein Bereich (Section) steht für eine Maschine beziehungsweise ein begrenztes Gebiet einer Maschine. Einige dieser Sections liegen direkt nebeneinander, damit die Genauigkeit untersucht werden kann. Zusätzlich werden Bereiche, die eine hohe Störanfälligkeit aufweisen (zum Beispiel viele Maschinen nebeneinander, viel Metall etc.), besonders betrachtet.

Damit eine Auswertung stattfinden und Rückschlüsse auf mögliche Probleme gezogen werden können, erstellt die App für jeden Fingerprint, der angelegt wird, eine CSV-Datei mit den gespeicherten Werten. Außerdem werden bei jeder Ermittlung der Position die Daten des Scans, die tatsächliche Section und die Section die der Algorithmus errechnet gespeichert.

Bevor ein Testlauf startet, werden alle bisherigen Fingerprints gelöscht. Die zehn Sections werden abgelaufen und je vier Fingerprints erstellt (immer um 90 Grad gedreht). Die Drehung ermöglicht die Korrektur von Signale die durch den Körper verfälscht werden.

Nun folgt das Testen des Online-Modus. Bevor die Lokalisierung der derzeitigen Position erfolgt, ist auf der Benutzeroberfläche die tatsächliche Position einzugeben. Ein Vorgang der ausschließlich für Auswertungszwecke dient. Nach ca. zwei Sekunden wird das Ergebnis anhand der Nummer der Section angezeigt. Diese Zeit ist bedingt durch den WLAN-Scan-Vorgang. Damit nicht für jede Lokalisierung die Taste gedrückt

werden muss, wird dieser Prozess automatisch wiederholt bis dieser Vorgang durch eine Stopp Taste beendet wird. Dadurch können mehrere Daten, in kürzerer Zeit, für die spätere Auswertung gesammelt werden.

7.7.2 Auswertung

Infolge verschiedener Gründe ergab das Testergebnis nicht das zu erwartende Resultat. Die Lokalisierung an einer bestimmten Section ergab häufig einen anderen Bereich, teilweise auch Sections die sehr weit entfernt liegen. Tabelle 5 belegt diese Abweichungen. Abbildung 7 zeigt dass 60% der Lokalisierungsversuche den erwartenden Bereich richtig errechnet. Bei einem Fehlerwert von 40% kann die Anwendung den Anforderungen nicht genügen.

IST Section	SOLL Section
7	7
9	7
7	7
7	7
4	7
4	7
6	7
7	7
7	7
7	7
Messungen	10

Tabelle 5: IST-SOLL-Messergebnisse

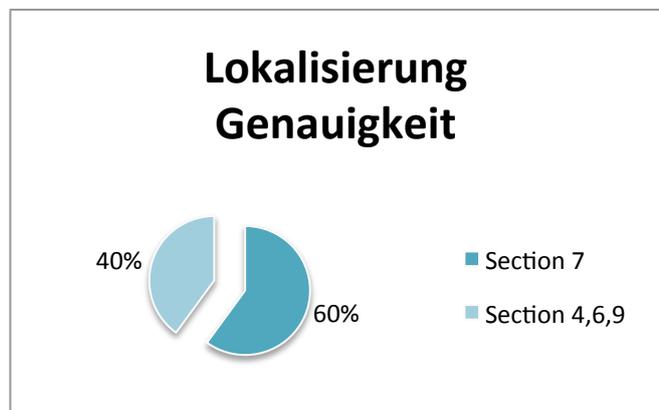


Abbildung 7: Diagramm zu den IST – SOLL-Messergebnis

Anzahl der Cluster eines Fingerprints

Ein Fehler in der Implementierung für Versuch 1 liegt in der Behandlung der Cluster. Zwar wurden alle Cluster, die sich für einen Fingerprint ergaben, abgespeichert, allerdings wurden Fingerprints nicht auf eine Mindestanzahl von Clustern überprüft. Wenn die Daten eines Fingerprints nur ein Cluster enthielt, ist dieser Einfluss auf das Ergebnis sehr groß, da die Lokalisierung dieses Fingerprint und seiner Section mit höherer Wahrscheinlichkeit vorschlug. Durch eine Einführung der Mindestanzahl kann dieser Fehler behoben werden.

Bei der Berechnung der Abstände von den gemessenen Daten zu den einzelnen Fingerprints wurde die Anzahl der Cluster je Fingerprint nicht berücksichtigt. Somit hatte ein Fingerprint mit vielen Clustern einen Nachteil, da die Abweichung anstieg. Mit der

Behebung der genannten Fehler konnte ein besseres Ergebnis im folgenden Durchlauf erzielt werden.

Die Überprüfung auf eine Maximalanzahl der Cluster reduziert die Datenmenge auf eine gewisse Anzahl an Clustern, die ausreichend sind, um eine genaue Position zu ermitteln. In diesem Test wurde die Maximalanzahl auf zehn gesetzt. In einem perfekten Raum reichen, wie bereits erwähnt, drei Signale für eine eindeutige Positionierung aus. Allerdings ergeben sich in der Werkhalle viele Störungen wodurch drei Signale zu wagen sind.

Analogien von MAC-Adressen und Signalstärken

Eine Analyse der CSV-Datei eines WLAN-Scans im Online-Modus zeigt ein Problem auf, das zu verfälschten Ergebnissen führen kann. In Tabelle 6 und Tabelle 7 wird deutlich, dass viele Signale empfangen wurden. Die MAC-Adressen wurden aufgrund der Sicherheit modifiziert, die Konformität der Werte jedoch beibehalten. Jedes Signal enthält eine eindeutige MAC-Adresse und die Signalstärke. Die Analogie von MAC-Adressen mit identischen Signalstärken ist offensichtlich. Beispielsweise ändert sich lediglich ein Hexadezimalwert in der MAC-Adresse bei einer Signalstärke von -71db. Diese Erkenntnis führt zu einer weiteren Verifizierung der Daten. Wurden fünf Cluster für einen Fingerprint gespeichert, die zufälligerweise die gleiche Signalstärke haben und nahezu die gleiche MAC-Adresse besitzen, wird bei dem Abgleichen und Auswerten der ScanResults kein eindeutiges Ergebnis erzielt werden können. Da auch an anderen Positionen die verschiedenen MAC-Adressen eine gleiche Signalstärke aufweisen, existiert effektiv nur ein Referenzpunkt.

Unter der Annahme dass diese Analogien an Signalstärke und MAC-Adressen zu einem Router gehören, müssen diese zusammengefasst werden. Um die Datenmenge auf die für die Auswertung relevante Daten zu reduzieren, ist ein Zusammenschluss von Analogien notwendig. In den bereits genannten Tabellen zeigen die farblich hervorgehobenen Bereiche in der untersten Zeile zusätzliche Zusammenhänge. Bei einer Spanne von -70db bis -73db ist der Abstand des Senders so gering, dass von einem Sender ausgegangen werden kann.

Um diese Vermutungen zu bestätigen, sind weitere Tests notwendig, die nicht im Rahmen dieser Bachelorarbeit behandelt werden. Bevor diese Analogie nicht eindeutig beschrieben werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass lediglich ähnliche MAC-Adressen mit gleicher Signalstärke einen Zusammenhang haben. Sobald eine Abhängigkeit gefunden wurde, ist es möglich Signalübergreifende MAC-Adressen zusammenzufügen.

MAC Addr. -61db	MAC Addr. -68db	MAC Addr. -70db	MAC Addr. -71db	MAC Addr. -72db	MAC Addr. -73db
52:83:8e:ef:8d:2b	22:2f:a7:fa:1c:71	22:2f:a7:fa:1c:7b	22:2f:a7:fa:1c:7f	7a:3a:d2:b6:86:32	7a:3a:d2:b6:86:33
	22:2f:a7:fa:1c:72		22:2f:a7:fa:1c:7c	7a:3a:d2:b6:86:30	7a:3a:d2:b6:86:31
	22:2f:a7:fa:1c:70		22:2f:a7:fa:1c:7e		7a:3a:d2:b6:86:34
			22:2f:a7:fa:1c:74		
			22:2f:a7:fa:1c:7d		

Tabelle 6: Auswertung MAC-Adressen I

MAC Addr. -76db	MAC Addr. -79db	MAC Addr. -86db	MAC Addr. -88db	MAC Addr. -90db
7a:3a:d2:b6:c2:3f	7a:3a:d2:b6:86:3b	7a:22:56:2f:f2:63	7a:22:56:7f:f2:64	6d:1f:02:ab:59:fa
7a:3a:d2:b6:c2:3b	7a:3a:d2:b6:86:3c	7a:22:56:7f:f2:60		
7a:3a:d2:b6:c2:3d	7a:3a:d2:b6:86:3e			
7a:3a:d2:b6:c2:3e	7a:3a:d2:b6:86:3f			
7a:3a:d2:b6:c2:3c	7a:3a:d2:b6:86:3d			

Tabelle 7: Auswertung MAC-Adressen II

Das System berechnet bekanntlich den passenden Fingerprint basierend auf der kleinsten Abweichung. Somit wird auf jeden Fall eine Section angegeben, auch wenn diese in Bezug auf Signalstärken und damit Abweichung mit einer weiteren Section übereinstimmt. Bislang existiert keine Beurteilung welche Section eher zutrifft beziehungsweise eine Ausgabe über einen nicht definierten Bereich. Hinsichtlich der sehr hohen Schwankungen von RSSI-Signalen zwischen mehreren Maschinen ist diese Option zu berücksichtigen.

7.7.3 Zusammenfassung der Verbesserungsmaßnahmen

Offline-Modus - Sammeln der Daten

Um nicht Fingerprints mit vielen Clustern zu diskriminieren, wird die berechnete Abweichung innerhalb eines Fingerprints gemäß der Cluster-Anzahl korrigiert. Die berechnete Abweichung innerhalb eines Fingerprints wird durch die Anzahl der Cluster geteilt, die zu diesem Fingerprint gehören. Diese mittlere Abweichung ist dadurch mit anderen Fingerprints mit wenigen Clustern zu vergleichen.

Jedoch ist eine minimale Anzahl an Clustern zu berücksichtigen. Aufgrund der stark schwankenden Werte werden mindestens fünf Cluster benötigt. Diese Zahl muss eventuell nach unten korrigiert werden, sobald nicht genügend Signale zur Verfügung stehen. Dessen ungeachtet werden selbst im theoretischen Optimalfall ohne störende

Einflüsse mindestens drei Cluster pro Fingerprint zur eindeutigen Lokalisierung benötigt.

Bei gleicher Signalstärke wird die Ähnlichkeit der MAC-Adresse überprüft. Wenn nur die ersten beiden Zeichen oder die letzten beiden Zeichen nicht übereinstimmen, entsteht aus diesen Werten ein Zusammenschluss.

Offline Modus - Nachbearbeitung

Nachdem alle relevanten Fingerprints gespeichert wurden, soll das System dazu angehalten werden irrelevante Daten auszusortieren.

Ein irrelevanter Datensatz wird wie folgt definiert. Sobald ein Cluster mit einer bestimmten MAC-Adresse in allen Fingerprints, die in der Werkhalle aufgenommen wurden, gefunden wird und der RSSI Wert sehr geringe Abweichungen aufweist (kleiner 10dB), ist dieser Wert für die Auswertung nicht relevant. Denn beim Vergleichen der Abweichung des derzeit gemessenen Signals und der gespeicherten Daten erzielt dieser Faktor keinen Ergebnis-verändernden Einfluss.

Online-Modus – Vergleich der Daten

Die Summe der Abweichungen von allen Clustern eines Fingerprints geteilt durch die Anzahl der Cluster dieses Fingerprints ergibt die mittlere Abweichung, mit der andere Fingerprints anschließend vergleichbar sind.

Für die Auswertung des aktuellen Bereichs werden nicht mehr die besten fünf Ergebnisse berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit des aktuellen Standpunkts wird folgendermaßen berechnet:

1. Für alle Fingerprints wird die Abweichung zur derzeitigen Messung berechnet. Für jeden Fingerprint wird der Anteil der gesamten Abweichung errechnet (siehe Tabelle 8). Der geringste Anteil der Gesamtabweichung bedeutet das beste Resultat.

Fingerprint ID	Section	Abweichung	Anteil der Gesamtabweichung
4	2	1	0,002457002
2	1	2	0,004914005
3	1	5	0,012285012
1	1	7	0,017199017
7	3	10	0,024570025
6	2	10	0,024570025
5	2	10	0,024570025
12	4	15	0,036855037
13	4	16	0,039312039

9	3	18	0,044226044
10	3	20	0,049140049
11	3	22	0,054054054
8	3	25	0,061425061
15	4	26	0,063882064
18	5	28	0,068796069
14	4	30	0,073710074
19	6	35	0,085995086
20	6	38	0,093366093
17	5	39	0,095823096
16	5	50	0,122850123
		Summe	Summe:
		407	1

Tabelle 8: Berechnung des Anteils der Gesamtabweichung

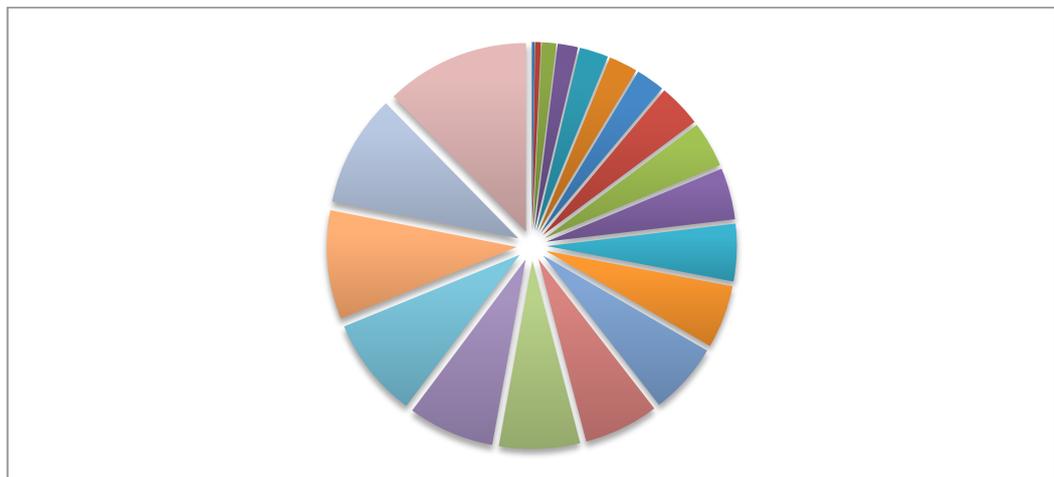


Abbildung 8: Anteile der Gesamtabweichung

2. Es wird nun das erste Viertel mit der geringsten Abweichung in Betracht gezogen. Von diesen Werten werden die gemeinsamen Sections zusammengefasst und wiederum der Anteil der Gesamtabweichung ermittelt. Auch hier gilt je kleiner der Anteil, desto eher ist diese Section der tatsächliche Standort.

Section	Wahrscheinlichkeit in %
2	16
1	11
3	37
4	36

Tabelle 9: Erste Viertel der geringsten Abweichungen

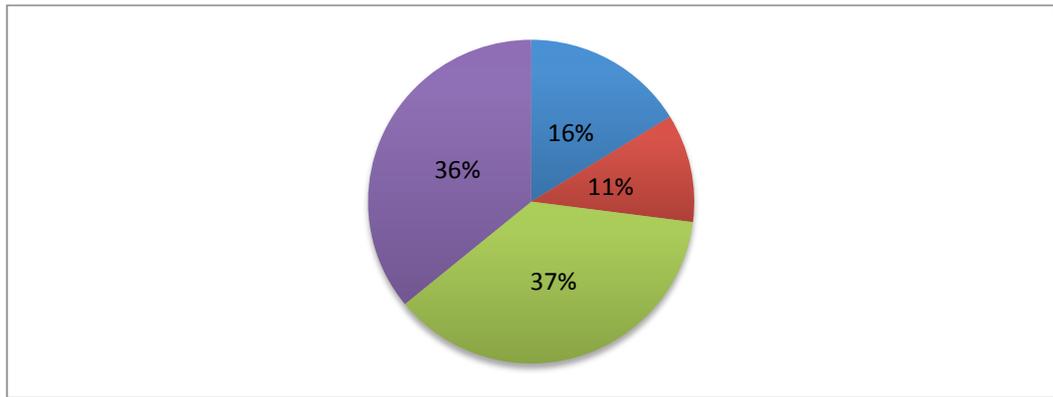


Abbildung 9: Diagramm des ersten Viertels der geringsten Abweichung

3. Damit eine Section eindeutig bestimmt werden kann, sind zwei Faktoren zu berücksichtigen. Zum einen muss die Prozentzahl möglichst gering sein. Zum anderen ist ein Mindestabstand in Prozent zur nächsten Section erforderlich. Genaue Werte müssen durch Tests im Anschluss ermittelt werden.

7.8 Einsatz von Estimote-Beacons

Nach Versuch 1 wurde deutlich, dass nicht alle Anforderungen an das System erfüllt werden können. Bei einer Vielzahl von äußeren Einflüssen von zum Beispiel Maschinen, Waschstraßen in der Werkhalle und Personen, erweist sich das System als unzuverlässig bei nahe aneinander liegenden Fingerprints. Wichtige Punkte, die unter allen Umständen erkannt werden müssen, brauchen eine zusätzliche Lösungsstrategie. Hierbei wird der Einsatz von Estimote-Beacons empfohlen.

Anwendung

Zunächst wird ein Estimote-Beacon an die zu identifizierende Maschine beziehungsweise die Section befestigt. Im Offline-Modus kann nun ein Beacon aufgenommen werden, indem das mobile Gerät direkt an das Beacon gehalten wird. Außerdem wird angegeben in welchem Radius dieses Beacon eingesetzt werden soll. Mit diesen Werten kann das Gerät im Online-Modus beim Empfangen eines Beacon-Signals den abgespeicherten Bereich anzeigen. Mit diesem Vorgang können mehrere Stationen ausgestattet werden, für die eine genaue Messung besonders relevant sind.

Da Estimote-Beacons wie eingangs erwähnt auf der iBeacon-Technologie aufbaut sind und diese ein Signal auf 2,4 GHz sendet, sind die Einflüsse durch Maschinen, deren elektrische Felder und durch das Personal zu berücksichtigen (vgl. Apple Inc., 2014b).

7.9 Verbesserter Algorithmus

Zusätzliche Definitionen

Beacon

Beacon ist eine Klasse des Estimote SDK, die alle Eigenschaften eines Estimote-Beacons besitzt.

BeaconManager

Diese Klasse ermöglicht das Scannen und Empfangen der Estimote-Beacons. Nach einem Scan wird eine Liste von Beacons zurückgegeben (aufsteigend geordnet nach Abstand). Wenn kein Beacon in der Nähe ist, wird eine leere Liste wiedergegeben.

BeaconPrint

Ein BeaconPrint (BF_{bs}) steht für einen aufgenommenen Punkt eines Estimote-Beacons. Eine Section kann einen BeaconPrint besitzen. Der Radius definiert einen Bereich indem diese Position angezeigt werden soll.

$$BF_{bs} = \{BFID_b, SID_s, UUID_b, RADIUS_b\} (b, s \in \mathbb{N}^*)$$

Offline-Mode

Das Erlernen des derzeitigen Standortes kann über zwei Tasten gestartet werden.

Für den ersten Button erfolgt die Positionierung durch ein Estimote-Beacon. Für diese Funktion wird der Benutzer aufgefordert die Section sowie den Radius auszuwählen.

```
Input: Section ID, radius
Output: Neuer Estimote BeaconPrint

BeaconManager: scan for Estimote-Beacons
If list of Beacons size > 0
  If first Beacon.accuracy in list <= immediate
    Add Beacon to BeaconPrint with Section id and radius
  Else
    Hint to user - Beacon to far away
Else
  Hint to user - No Beacons found
```

Durch Betätigen des zweiten Buttons wird ein Fingerprint per WLAN gespeichert. Der Algorithmus ähnelt dem vorangegangenen. Die Verbesserungen wurden eingebaut.

```
Input: scanResult, Section ID
Given: scan: boolean, scanCount : int
Output: Neuer Fingerprint und dazugehörige Cluster
```

```
BeaconManager scan for Beacons
If (list of Beacons size <= 0 OR
    first Beacon is not in database OR
    first Beacon.accuracy > Beacon fingerprint radius)
while scan = true
    Get scanResults
    for each RSSI-Point in scanResults do
        if MAC exists in Cluster hashMap
            add rssi value to cluster
        else
            add new Cluster with (MAC, rssi value)
            if (Cluster hashMap < Minimum records AND
                (Cluster hashMap > Maximum deviation OR
                 current timestamp - start timestamp <=
                 Maximum of fingerprint duration))
                scanCount ++;
                scan = true
            else
                finishScan()
```

```
finishScan()

Foreach Cluster in HashMap
    If (RSSIMEAN exists in any cluster)
        If (MAC without last two Hex characters OR
            MAC without first two HEX characters exists in Cluster HashMap)
            Delete Cluster
        If (Cluster HashMap > Minimum Cluster Count)
            Add Fingerprint to Database with Section ID
            Add Clusters to Database with Fingerprint ID
        Else
            Hint to user: too less clusters
```

Mit diesem Algorithmus wird ein gesammelter Datensatz erst abgespeichert sobald eine Mindestanzahl an Scans erfolgt ist und der *Mean* unter einen Maximalwert fällt oder die eine festgelegte Zeit von 30 Sekunden für eine Aufnahme des Fingerprints überschreitet. Dieses Vorgehen sichert gute Werte für einen Fingerprint.

Online-Mode

Für das Lokalisieren der richtigen Position wird zuerst nach Estimote-Beacons gesucht. Bei einem positiven Treffer kann die aktuelle Section zurückgegeben werden. Ansons-

ten wird die Section aus den WLAN-Fingerprints ermittelt mit einem optimierten Verfahren. In diesem Algorithmus werden nach Analogien der Signalstärke und MAC-Adressen gesucht.

```
Input: scanResult
Given: varianceOfAllCluster: int, countOfClusters: int
Output: current Section

WLAN Scan
BeaconManager scan for Beacons
If (list of Beacons size > 0 AND
    first Beacon is in database AND
    first Beacon.accuracy <= BeaconPrint.radius)
    return BeaconPrint.section
For each Fingerprint do
    For each ScanRecords
        If (Cluster MAC contains ScanRecords MAC)
            Add to varianceOfAllCluster: calculate variance of cluster
            Increase countOfClusters;
            Calculate total variance of Fingerprint and save

For the first quarter of the fingerprints
    Compare and match same Sections
    Calculate variance of each Section
    If (section with lowest <
        section with second lowest - Minimum of Difference)
        Return section with lowest
    Else
        Hint to user: Section too unaccurate
```

8 Fazit

In dieser Bachelorarbeit wurden verschiedene Aspekte von Indoor-Positioning-System für mobile Endgeräte ausgeführt. Die verschiedenen Technologien bieten in unterschiedlichen Einsatzgebieten bessere beziehungsweise nachteilige Ergebnisse. Bei einem Einsatz mit ausschließlich Estimote-Beacons entstehen bei einem großen Gebäude mit vielen Räumen hohe Kosten sowie ein großer Wartungsaufwand. Wird hingegen WLAN eingesetzt, kann in den meisten Fällen bestehende Infrastruktur verwendet werden und der Wartungsaufwand hält sich hierbei in Grenzen. Besonders verschiedene Eigenschaften wie Genauigkeit, Kosten, Verfügbarkeit und Sicherheit müssen für jedes System individuell bewertet werden. Durch technische Limitierung können nicht alle Anforderungen im höchsten Maße bedient werden.

Eine sehr präzise Messung kann durch Ultrasonic erreicht werden. Allerdings ist für ein mobiles Endgerät ein zusätzlicher Empfänger notwendig. Interessant gestaltet sich ein Lösungsansatz im 21-22 KHz Bereich. Das menschliche Gehört nimmt diese hohe Frequenzen kaum wahr, allerdings können die meisten Mikrofone von mobilen Endgeräten diese Frequenz empfangen. Zu berücksichtigen wären Auswirkungen im Unterbewusstsein beziehungsweise auf tierische Lebewesen.

In der WLAN-Technologie wurde die Fingerprint-Methode als die gängigste Vorgehensweise beschrieben. Die Genauigkeit dieser Technologie hängt stark von der Umgebung ab. Während in Bürogebäuden eine hohe Genauigkeit von ca. zwei Metern erreicht wird, nimmt diese in einer Werkhalle deutlich ab. Im beschriebenen Versuch wird das deutlich. Seit dem Jahr 2000, mit Veröffentlichung der Ausarbeitung des RADAR-Systems von Microsoft, vervielfältigt sich die Forschungsgebiete enorm. Durch die Vorteile, welche WLAN bietet, spielt es nach wie vor die bedeutendste Rolle in den Indoor-Positioning-Systemen. Der Große Nachteil liegt in der 2,4GHz Frequenz. Da Wasser die gleiche Resonanzfrequenz besitzt, stellt ein menschlicher beziehungsweise tierischer Körper einen beträchtlichen Störfaktor dar.

Bluetooth verwendet dieselbe Frequenz, was diese Technologie ebenfalls anfällig werden lässt. Da der Radius des maximalen Signals kleiner als bei WLAN ist, werden Bluetooth Beacons nur für ein nahes Umfeld verwendet.

Estimote bietet eine gute Indoor-Positioning-Lösung mit ihren Beacons an. Das SDK ist einfach zu handhaben und die Ergebnisse stellen für einfache Räume ohne Störungen eine Alternative dar. Die Berechnung der Position wird auch über die Signalstärke

(RSSI) realisiert. Sobald sich mehrere Personen im Raum befinden, kommt es zu größeren Störungen und ungenauen Ergebnissen.

Für einen Einsatz in Warenhäusern zur Information über Angebote in der aktuellen Abteilung bietet Estimote eine sehr gute Lösung.

Der Ansatz über die Signalstärke eine Position zu ermitteln wird durch die Störungen im Raum immer ein Problem darstellen. Es empfiehlt sich hierbei einen anderen Ansatz anzugehen.

iBeacons, auf denen Estimote-Beacons aufbauen, senden nach einer selbst wählbaren Zeit ein Signal, durch das ortsabhängige Informationen auf dem mobilen Endgerät angezeigt werden können. Ein Ansatz zur Verbesserung der Positionsbestimmung im Raum könnte ein Algorithmus sein, der die Reihenfolge der Beacons die ein Signal senden, feststellt und daraus mit Hilfe der Geometrie die aktuelle Position ermittelt.

Durch den beschriebenen Versuch wird deutlich, dass in einer Werkhalle viele Einflüsse zu beachten sind. Die WLAN-Fingerprint-Methode bietet sich, auch durch die bestehende Infrastruktur, am besten an. Ein unerwartetes Problem stellen die gleichen Signalstärken für beinahe identische MAC-Adresse dar. Anstatt vieler Signale sind nur wenige auswertbar, da die Unterscheidung der Signale nicht gegeben ist. Für eine Umgehung des Problems sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

In der Werkhalle bietet sich zusätzlich der Einsatz von 5 GHz WLAN an. Unter Berücksichtigung des Signals, das in der Auswertung am besten abschneidet, kann der Einfluss von Störfaktoren minimiert werden.

Die Indoor-Positioning-Technologien bieten viele Ansätze zur Lokalisierung in Gebäuden. Ein überragendes System, das einen Großteil der Anwendungsfälle abdecken kann, wurde bisher nicht entwickelt. Da jeder Raum, jede Halle und jedes Gebäude andere Störungsfaktoren aufweisen, ist eine generelle Lösung für die Lokalisation bislang eine große Herausforderung. Die Technologien ermöglichen für einen bestimmten Anwendungsfall ein Optimales System zu Planen und Umzusetzen, was hohe Entwicklungskosten mit sich bringt.

Die Tatsache dass große Firmen wie Google und Apple an einer Indoor-Positioning-Lösung arbeiten und bereits auch anbieten, zeigt die Relevanz dieser Technologie (vgl. Apple Inc., 2014a)(vgl. Google, 2014). Diese Lösungen bieten sich für öffentliche Gebäude an. Aufgrund der Datensicherheit kann bei einer Werkhalle nicht auf diese Systeme zurückgegriffen werden.

9 Ausblick

Werkhalle Applikation Version 2

Im nächsten Schritt sollen die angeführten Verbesserungen eingebaut werden. Die Estimote-Beacons werden dabei mit berücksichtigt. Ein erneutes Sammeln der Testdaten bringt Aufschluss über eine eventuelle Verbesserung der Applikation. Das installieren der Beacons in der Werkhalle bringt Aufschlüsse über die Einsatzfähigkeit unter schwierigen Umständen. Anhand der gesammelten Daten kann die Genauigkeit der Version 2 bestimmt werden.

Aufgrund der Analogien von Signalstärken und MAC-Adressen ist eine Untersuchung des Problems notwendig. Da diese Analogien nicht nur in der Werkhalle auftreten, sondern auch in Büroräumen, kann nach Ergründung der Ursache, dieses Problem generell programmatisch gelöst werden.

Bekanntlich weist ein WLAN Signal mit 2,4 GHz hohe Störfanfälligkeit auf. Mit einem 5 GHz Signal könnten verschiedene Störungen umgangen werden. Eine Untersuchung auf Störanfälligkeiten in der Werkhalle könnte Klarheit geben. Zum einen würde eine Lösung mit ausschließlich 5 GHz Signalen einige Probleme umgehen, jedoch andere neu aufwerfen. Damit auf unterschiedliche Probleme reagiert werden kann, ist eine Kombination aus beiden Signalen vorstellbar. Die Ergebnisse der Positionsermittlung werden zeigen, welches Signal oder ob eine Kombination der beiden Signale die besten Resultate liefert.

Ortung unter Apples iOS

Apple bietet keine öffentliche API an, die die verschiedenen WLAN-Netze in der Umgebung scannen kann. Daher können auch keine Signalstärken (RSSI) der verschiedenen WLAN-Netze gemessen werden und keine Fingerprint-Tabelle zur Ortung angelegt werden. Bis zur iOS Version 8 war es möglich durch eine private API von Apple an die Daten zu gelangen. Das hatte allerdings zur Folge, dass die App nicht im App Store angeboten werden kann.

Seit der iOS Version 8 ist auch dies nicht mehr möglich. Apple hat die API gelöscht und diese auf anderem Weg eingebaut. Somit ist es um ein Vielfaches komplizierter an die Daten zu gelangen. Es wird vermutet, dass Sicherheitsgründe eine Rolle gespielt haben (vgl. Levin, 2015).

Es gibt keinen einsichtigen Grund, weshalb Apple aus sicherheitstechnischen Gründen die Informationen über WLAN nicht mehr zugänglich machen sollte. Ich vermute, dass Apple einen Schritt in die Indoor-Positioning geht und Konkurrenten dadurch zumindest für iOS Geräte ausschaltet. Ein deutlicher Hinweis dafür ist der Kauf von „WifiSlam“, einer Indoor-Location-Mapping Firma im Jahr 2003. The Guardian berichtete hierüber (vgl. Arthur, 2013).

Mit iOS 8 veröffentlichte Apple eine API zum Anzeigen der Position in einem Gebäude anhand eines Gebäudeplans (vgl. Apple Inc., 2014a).

10 Literaturverzeichnis

- Al Nuaimi, K., & Kamel, H. (2011). A survey of indoor positioning systems and algorithms. *2011 International Conference on Innovations in Information Technology, IIT 2011*, 185–190. <http://doi.org/10.1109/INNOVATIONS.2011.5893813>
- Al-Ammar, M. a., Alhadhrami, S., Al-Salman, A., Alarifi, A., Al-Khalifa, H. S., Alnafessah, A., & Alsaleh, M. (2014). Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms. *2014 International Conference on Cyberworlds*, 245–252. <http://doi.org/10.1109/CW.2014.41>
- Apple Inc. (2014a). Footprint: Indoor Positioning with Core Location. Retrieved June 30, 2015, from https://developer.apple.com/library/ios/samplecode/footprint/Introduction/Intro.html#//apple_ref/doc/uid/TP40014457-Intro-DontLinkElementID_2
- Apple Inc. (2014b). *Getting Started with iBeacon*.
- Arthur, C. (2013). Apple buys indoor mapping company WifiSLAM. Retrieved May 10, 2015, from <http://www.theguardian.com/technology/2013/mar/25/apple-buys-indoor-mapping-wifislam>
- Chung, W. Y., Singh, V. K., Myllyla, R., & Lim, H. (2006). Security enhanced indoor location tracking system for ubiquitous home healthcare. *Proceedings of IEEE Sensors*, 522–525. <http://doi.org/10.1109/ICSENS.2007.355520>
- Estimote. (2014a). Estimote Beacons — real world context for your apps. Retrieved June 28, 2015, from <http://estimote.com/indoor/>
- Estimote. (2014b). What are the characteristics of Beacons' signal? – Estimote Community Portal. Retrieved June 27, 2015, from <https://community.estimote.com/hc/en-us/articles/201029223-What-are-the-characteristics-of-Beacons-signal->
- Estimote. (2015). Estimote Beacons API. Retrieved May 10, 2015, from <http://estimote.com/api/>
- Farid, Z., Nordin, R., & Ismail, M. (2013). Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013, 12. <http://doi.org/10.1155/2013/185138>
- Fritsche, C., & Klein, A. (2009). On the performance of hybrid GPS/GSM mobile terminal tracking. *Proceedings - 2009 IEEE International Conference on Communications Workshops, ICC 2009*. <http://doi.org/10.1109/ICCW.2009.5207984>
- Google. (2014). Indoor-Karten – Info – Google Maps. Retrieved July 3, 2015, from <http://www.google.com/maps/about/partners/indoormaps/>
- Gu, Y., Lo, A., & Niemegeers, I. (2009). A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 11(1), 13–32. <http://doi.org/10.1109/SURV.2009.090103>
- Hightower, J., & Borriello, G. (2001). Location Sensing Techniques. *Computer*, (August), 1–8. <http://doi.org/10.1109/MOBHOC.2007.4428622>

- Kaemarungsi, K., & Krishnamurthy, P. (2004). Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting. *Proceedings of MOBIQUITOUS 2004 - 1st Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services*, 14–23. <http://doi.org/10.1109/MOBIQ.2004.1331706>
- Levin, J. (2015). 11208elppA. Retrieved from <http://newsoxbook.com/articles/11208elppA.html>
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., & Liu, J. (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 37(6), 1067–1080. <http://doi.org/10.1109/TSMCC.2007.905750>
- Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W., & Lykken, G. I. (1985). Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 41(4), 810–817.
- Mautz, R. (2012). Indoor Positioning Technologies, (February 2012), 127. <http://doi.org/10.3929/ethz-a-007313554>
- Namiot, D. (2015). On Indoor Positioning. *International Journal of Open Information Technologies*, 3(3), 23–26.
- Ni, L. M., & Patil, a. P. (2003). LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003).*, 407–415. <http://doi.org/10.1109/PERCOM.2003.1192765>
- Stenumgaard, P., Ferrer-Coll, J., Ångskog, P., & Chilo, J. (2012). Characterisation of highly absorbent and highly reflective radio wave propagation environments in industrial applications. *IET Communications*, 6(15), 2404–2412. <http://doi.org/10.1049/iet-com.2012.0028>
- Wang, Y., Yang, X., Zhao, Y., Liu, Y., & Cuthbert, L. (2013). Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods. *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2013*, 837–842. <http://doi.org/10.1109/CCNC.2013.6488558>
- Werner, M. (2015). *Indoor Location-Based Services*. Springer.
- Xu, Y., Kusber, R., & David, K. (2013). An enhanced density-based clustering algorithm for the autonomous indoor localization. *2013 International Conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems and Applications, Mobilware 2013*, 39–44. <http://doi.org/10.1109/Mobilware.2013.24>
- Zhang, D., Xia, F., Yang, Z., Yao, L., & Zhao, W. (2010). Localization technologies for indoor human tracking. *2010 5th International Conference on Future Information Technology, FutureTech 2010 - Proceedings*, (60903153). <http://doi.org/10.1109/FUTURETECH.2010.5482731>

11 Eidesstattliche Versicherung

Name: Sommer Vorname: Jonathan
Matrikel-Nr.: 25710 Studiengang: AM7

Hiermit versichere ich, Jonathan Sommer, an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel „Indoor Positioning Technologien für mobile Endgeräte - Analyse und prototypische Realisierung der Positionsbestimmung eines mobilen Endgeräts im Raum“ selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 23 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO der HdM) sowie die strafrechtlichen Folgen (gem. § 156 StGB) einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung zur Kenntnis genommen¹.

Ort, Datum

Unterschrift

¹ Festgestellte Plagiate führen gemäß § 26 Abs. 2 der SPO der 6-semesterigen bzw. §23 Abs. 2 der 7-semesterigen grundständigen Studiengänge bzw. § 19 Abs.1 Satz 3 der SPO der Masterstudiengänge zum Verlust des Prüfungsanspruches und damit zur Exmatrikulation.