

Sensor Fusion zur Verbesserung von Indoor Location Based Services

Lennart Bartelt

Hamburg University of Applied Sciences, Dept. Computer Science,
Berliner Tor 7
20099 Hamburg, Germany
Email: lennart.bartelt@haw-hamburg.de

I. EINLEITUNG UND MOTIVATION

Das Smartphone ist ein ständiger Begleiter im Alltag geworden, der jederzeit aktuelle Informationen im bestmöglichen Kontext anzuzeigen versucht. Im weitreichenden Kontext gelingt dies mittlerweile auch mit hoher Genauigkeit. So ist es beispielsweise kein Problem, einem Nutzer im Ausland hilfreiche Tools wie einen Übersetzer und einen Währungsumrechner zur Seite zu stellen oder ihm Informationen wie das Wetter und die Uhrzeit am aktuellen Standort sowie in der Heimat anzuzeigen.

Im Vergleich dazu ist es allerdings deutlich schwieriger, mit Smartphones das direkte Umfeld zu erfassen. Gerade in den eigenen vier Wänden wird dieses Problem deutlich, wenn etwa nur schwer erfassbar ist, welcher Tätigkeit der Nutzer nachgeht, beispielsweise ob er zum gegebenen Zeitpunkt den Herd bedient und deshalb Rezepte auf seinem Display erwartet oder beim Fernsehen Informationen zum laufenden Film sehen möchte. Dies ist das Aufgabengebiet der Indoor Location Based Services.

Als Location Based Services im Allgemeinen werden alle Dienste bezeichnet, die dem Nutzer standortbezogene Informationen zur Verfügung stellen. Die Abgrenzung Indoor bezieht sich hierbei auf die Nutzung des Standortes in Innenräumen, was nach aktuellem Stand ein technisch deutlich aufwendigeres Problem darstellt. Ist es zwar dank GPS ohne Weiteres möglich, unter freiem Himmel die Position eines Gerätes bis auf wenige Meter zu bestimmen, fällt diese Lösung in Innenräumen weg. Es muss ein eigenes System aufgebaut werden, das eine Erkennung ermöglicht.

Zur Ortsbestimmung existieren verschiedenste Ansätze. Von einer Abstandsberechnung mittels Funkwellen zum Beispiel via Bluetooth und dem Smartphone des Nutzers über ein Tracking per Kamera bis hin zur Ortung durch Schall und Mikrophone.

Das Problem einzelner Lösungen: Sie sind für sich genommen häufig fehleranfällig und ungenau. Können die Kameras etwa Personen bei freier Sicht und durch

Infrarotsicht auch in dunklen Umgebungen sehr genau orten, ist dies an verdeckten Stellen nicht mehr möglich. Diese Schwierigkeiten lassen sich auch auf die anderen Ortungswerkzeuge ausweiten. Bluetooth wird durch überlagernde Funkwellen gestört, Schall durch Reflexionen deutlich ungenauer.

Das Thema Sensor Fusing hat nun zum Ziel, die einzelnen Methoden zu verknüpfen und die bestmögliche Ortung zu ermöglichen. Wird zum Beispiel die Ortung einer Lösung zu ungenau, kann ein System mit genaueren Daten hinzugezogen werden und eine unterbrechungsfreie Positionserkennung ermöglichen. Ein weiterer Vorteil ist die potentielle Kostenersparnis, die durch das Nutzen günstigerer, aber ungenauerer Sensoren ermöglicht würde.

An diesem Punkt setzt das Projekt an: Das Ziel ist es, zu evaluieren, ob miteinander verbundene, in aktuellen Smartphones verbaute Sensoren und möglichst kostengünstiges Zusatzequipment ausreichen, deutlich kostenintensivere Hardware zu ersetzen oder sie auf sinnvolle Weise zu ergänzen.

Sollte dies der Fall sein, könnten die Möglichkeiten von Smartphones, Geräten mit besonderer hoher Konsumentenrelevanz, die von vielen Menschen täglich genutzt und einen Großteil der Zeit am Körper getragen werden, noch erweitert werden.

Der Einsatzzweck des hierzu zu entwickelnden Verfahrens wird sich dabei auf das Smart Living beschränken, also die Unterstützung des Wohnens durch vernetzte Geräte. Der Versuchsort wird dabei das Living Place Hamburg sein, das der HAW Hamburg zur Erforschung des „Wohnens der Zukunft“ zur Verfügung steht. Hierbei handelt es sich um eine 140 m² große, voll funktionsfähige und vernetzte Wohnanlage auf dem Campus der Hochschule.[1]

In dem Labor installiert ist unter anderem bereits das System Ubisense¹, das zwar eine hohe Genauigkeit von

¹<http://de.ubisense.net>

circa 15 cm bei der Ortung aufweisen[2], allerdings äußerst kostspielig ist und zudem keine Orientierung erkennen kann.

Auch wenn die Ortungsgenauigkeit der Smartphone-Sensoren, die sich aktuell im Meterbereich befindet[3, p. 715], deutlich niedriger ausfallen wird, könnte man mit ihnen zum Beispiel solche Missstände ausbessern.

Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst der momentane Zustand der Positionsermittlung im Living Place erläutert. Dem folgt eine Beschreibung relevanter Verfahren zu Ortung und Sensor Fusion sowie einfache mathematische Grundlagen. Abschließend werden sowohl der aktuelle Forschungsstand sowie die Abgrenzung des Themas von diesen als auch ein Ausblick auf die potenzielle Arbeit gegeben.

II. SYSTEMAUFBAU IM LIVING PLACE

Der Aufbau im Living Place umfasst zum Zeitpunkt dieser Arbeit mehrere Systeme zur Positionserkennung und -verfolgung:

- 1) Ubisense
- 2) Kameras
- 3) Objekttagging

Das bereits angesprochene Ubisense besteht aus zwei Komponenten, den Ubisensors und den Ubitags. Ubitags sind kleine batteriebetriebene Funktransmitter, die am Körper getragen oder an zu trackenden Objekten befestigt werden. Die ausgesendeten Funkwellen werden von den Ubisensors, fest angebrachten Empfängern, aufgenommen und können daraufhin zur Positionserkennung verarbeitet werden.[2] Das Ubisense System stellt die Hauptquelle von Positionsdaten im Living Place bereit.

Kameras bieten theoretisch nicht nur die Möglichkeit, durch optisches Tracking sowohl Position als auch Orientierung im Raum zu gewährleisten. Auch die Identifizierung einzelner Personen durch Gesichtserkennung und die Steuerung von Geräten mittels Gestenerkennung stellt ein Szenario dar.

Im Living Place werden die Kameras unter anderem für das Erkennen von Gegenständen genutzt. Ist kein direkter Sichtkontakt gegeben, können logischerweise jedoch weder Positionsermittlung noch Identifizierung oder Gestensteuerung erfolgen.

Das Tagging von Objekten, also das Versehen von feststehenden Möbeln oder ähnlichem mit Markierungen, erlaubt schließlich die Positionskalibrierung. Wird beispielsweise eine vertagte Tür oder Schublade geöffnet,

kann die Position auf den bekannten Ort des Gegenstands zurückgesetzt werden.[3, p. 716] Sinnvoll kann dies sein, um kumulative Fehler zu minimieren oder den Start der Positionserkennung beim Betreten der Wohnung auf die Eingangstür zu setzen.

Zur Bestimmung des situativen Kontexts des Bewohners werden die Sensordaten im Backend der Wohnung verarbeitet und interpretiert, deren Architektur die nachfolgende Abbildung verdeutlicht.

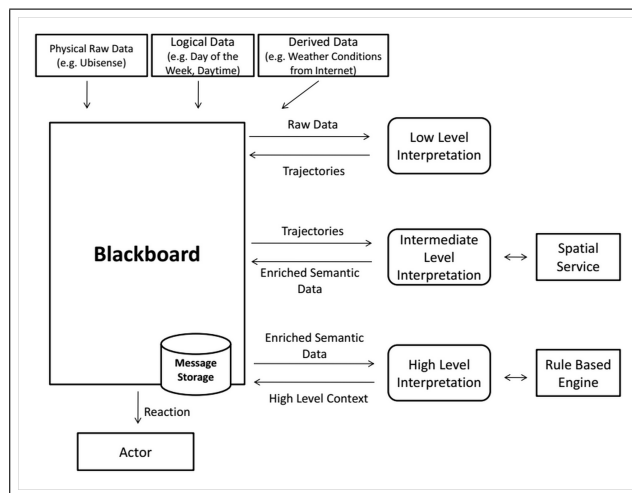


Abbildung 1. Aufbau des Living Place Backends[1, p. 2]

Eingeteilt ist die Interpretation der Daten in drei Schichten. Die unterste von ihnen basiert vollständig auf den rohen Messdaten, ohne die Umgebung in die Verarbeitung mit einzubeziehen. Dies ermöglicht zum Beispiel die relativ einfache Bestimmung, ob sich ein Bewohner längere Zeit nicht umherbewegt und daher die Wohnung, etwa durch Dimmen des Lichts und Ausschalten der Geräte in den übrigen Räumen, diesen Zustand abbilden kann.

Die Umgebung wird bei der Verrechnung nicht beachtet, somit kann die unterste Schicht leicht auf andere Umgebungen übertragen werden. In dieser Schicht wird zudem die Integration des Smartphones und die Fusion der entsprechenden Sensordaten ansetzen.

Da auf der unteren Schicht die Nutzung von Geräten durch den Bewohner nicht erkannt werden kann, ist dies Teil der mittleren Schicht. Hier wird nun die Erkennung um das Modell der Wohnung bereichert, womit etwa das Bestimmen der Raumart, wie Wohn- und Schlafzimmer, und das Vorhersagen des nächsten Aufenthaltsraums anhand der Bewegungsrichtung des Bewohners ermöglicht werden.

Auch das Erkennen und Finden von Gegenständen kann dank einer dreidimensionalen Positionsbestimmung

sowie durch Modellierung und Tracking der räumlichen Zusammenhänge der Einrichtung geschehen. Den Vorteilen dieser Schicht stehen, durch das Einbeziehen des Wohnraummodells verursachte, höhere Aufwände und Kosten neben Inkonsistenzen bei einer Veränderung der Einrichtung entgegen.

Die obere Schicht dient schließlich dem Erkennen von Aktivitäten anhand von Person, Ort, Zeit und in den meisten Fällen einem Gegenstand, an dem die Aktivität ausgeführt wird. Durch einen Regelsatz, der laufend erweitert werden kann, sind nochmals genauere Möglichkeiten wie „Bewohner kocht“, „Bewohner schläft“ und so fort gegeben.

Problematisch hierbei ist das fixe Modell, das von Hand erweitert werden muss und damit nur schwer komplettiert werden kann, sowie die bereits angesprochene Inkonsistenz bei einer sich ändernden Umgebung.[1, p. 2f.]

Um weitere Techniken evaluieren zu können, ist ein Grundverständnis von zur Lokalisierung genutzten Verfahren hilfreich. Das folgende Kapitel dient deshalb der Einführung in das Thema und schließt einige einfache mathematische Grundbausteine ein.

III. VERFAHREN ZUR POSITIONSERMITTLUNG

Von den bereits erläuterten Möglichkeiten im Living Place abgesehen existiert noch eine Vielzahl weiterer Verfahren zur Positionsermittlung. Die für das Vorhaben wichtigsten Kategorien sind:

- Funkgestützte Ortung wie beispielsweise WLAN, Bluetooth oder Ubisense
- Magnetische Ortung
- Inertialsensoren / Koppelnavigation

Vorteilhaft an proprietären funkgestützten Indoor Positioning Systemen (kurz: IPS) ist die relativ hohe Genauigkeit, vom Dezimeterbereich, bei Systemen wie Ubisense, bis zum Millimeterbereich.[4, p. 29]

Nachteile hingegen sind die oft hohen Kosten und die zusätzliche Hardware, die installiert werden muss, wodurch die Portabilität verloren geht; solche Art Systeme können also nur in vorbereiteten Gebäuden genutzt werden.

In diesem Punkt ist die WLAN-basierte Ortung interessant, da die vorhandene Abdeckung praktisch die Funktion ohne extra zu installierende Infrastruktur ermöglicht. Die Genauigkeit ist hierbei allerdings ein Nachteil, da sie zwar im niedrigen Meterbereich liegen[4, p. 24], sich jedoch durch die Vielzahl an Signalen in den meisten Gebäuden aufgrund

von Überlagerungen noch deutlich verschlechtern kann.

Übertragen lässt sich dieses Verhalten auch auf die Entfernungsbestimmung durch Bluetooth, wobei hier aufgrund der geringen Reichweite kaum vorhandene Signale genutzt, sondern meist kleine Sender, sogenannte Beacons, genutzt werden müssen.

Ein gängiges Verfahren, um die Ortung durch WLAN zu ermöglichen, ist das Fingerprinting. Hierbei wird das Gebäude vor der Nutzung des Ortungssystems gescannt, um die Signaturen der Signale auf die Orte im Raum zu mappen.[4, p. 16]

Mit dem k-Nearest-Neighbor-Algorithmus können daraufhin die Differenzen zwischen gemessenen und gemappten Werten als Näherung zur tatsächlichen Position verrechnet werden. Fingerprinting gilt als eine der aktuell genauesten Methoden bei WLAN-basierten IPS[5, p. 1570f.]

Ein vergleichbarer Weg wird auch mit der magnetischen Ortung verfolgt. Hierbei werden, wie beim Fingerprinting der WLAN-Signale, die charakteristischen Magnetfelder an den entsprechenden Orten im Raum erfasst und auf Positionen einer digitalen Karte gemappt.

Vorteil bei diesem Verfahren sind sowohl die Infrastrukturunabhängigkeit als auch die im Vergleich zur WLAN-basierten Ortung theoretisch höhere Genauigkeit und geringere Fehleranfälligkeit.[6] Theoretisch, da diese Daten von einer dem Hersteller solcher Lösungen nahen Forschungsgruppe stammen. Nichtsdestotrotz lässt sich diese Methode mithilfe von Smartphone-Sensoren nutzen und stellt damit zumindest eine mögliche Ergänzung für das zu entwickelnde Verfahren dar.

Inertialsensoren ermöglichen schließlich die Messung der sechs Freiheitsgrade, also der Bewegung sowie Drehung auf jeder Achse. In Smartphones wird dies etwa durch Beschleunigungssensor und Gyroskop umgesetzt.

Hiermit ist eine Koppelnavigation möglich, die Ortsbestimmung basierend auf der Orientierung und der Geschwindigkeit in diese Richtung. Für sich genommen erlaubt dies zwar keine absolute, sondern nur eine relative Positionsermittlung und überdies müssen die Ergebnisse regelmäßig durch vertagte Objekte zurückgesetzt werden, um den kumulativen Fehler der Messung zu minimieren.[3, p. 716] Die Messungen eignen sich jedoch zur Unterstützung bereits vorhandener Methoden.

Um ein Verständnis für die beschriebenen Verfahren zu ermöglichen, wird im nächsten Kapitel die zugrundeliegende mathematische Basis näher erläutert.

A. Mathematische Grundlagen

Bei funkgestützter Ermittlung kann anhand der Zeit, die von der Übertragung zwischen Sender und Empfänger benötigt wird, und anhand der Abnahme der Signalstärke direkt auf die Entfernung geschlossen werden. Dies ermöglicht eine Bestimmung durch Trilateration, der Positionserkennung durch drei Entfernungen, zu sehen in der Abbildung 2.

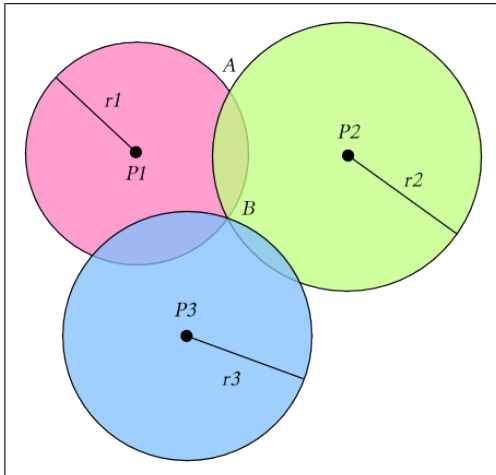


Abbildung 2. Positionsbestimmung mittels Trilateration²

Erkennbar ist, dass mindestens drei Sensoren für die Ortsbestimmung vorhanden sein müssen, da sich die Position bei nur zwei Sensoren sowohl an Schnittpunkt A als auch B befinden kann.[7, p. 4]

Kann hingegen der Winkel zum zu trackenden Objekt bestimmt werden, ist auch eine Triangulation mit nur zwei Sensoren möglich. Bei der Triangulation wird der Ort eines Punkts anhand der Strecke zwischen zwei Fixpunkten und der jeweiligen Winkel zu diesem Punkt bestimmt.[7, p. 4]

Die untenstehende Grafik veranschaulicht die Triangulation am Beispiel eines Schiffs und seines Abstands zur Küste.

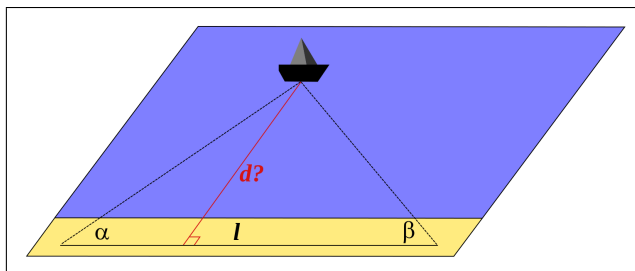


Abbildung 3. Positionsbestimmung mittels Triangulation³

Hierbei ist die Strecke an der Küste ebenso wie die Winkel zum Schiff bekannt, womit dessen Position ermittelt werden

²<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trilateration.png>

³http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Distance_by_triangulation.svg

kann. Auf Sensoren übertragen kann der Abstand zwischen diesen und ihr jeweiliger Empfangswinkel zur Erkennung genutzt werden.

Da einzelne Sensoren nicht für eine ausreichende Performanz geeignet sind, müssen diese nach jedem Messschritt zu einem Gesamtergebnis kombiniert werden. Durch die Sensor Fusion können darüber hinaus die Fehleranfälligkeit reduziert, die Genauigkeit erhöht und Verdeckungen verhindert werden.[3]

Das folgende Kapitel stellt nun grundlegende Verfahren zu Fusion vor und veranschaulicht daraufhin eine Möglichkeit, die erhobenen Daten mit kontextsensitiven Daten anzureichern.

IV. VERFAHREN ZUR SENSOR FUSION

Zur Fusion werden in vielen Fällen stochastische Verfahren genutzt, deren Grundlage in der Regel das Bayes'sche Theorem und das Bayes-Filter bilden. Drei von ihnen sollen im Folgenden repräsentativ vorgestellt werden.

Das Bayes'sche Theorem beschreibt die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses A unter der Bedingung eines Ereignisses B, indem die umgekehrte Bedingung genutzt wird:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) * P(A)}{P(B)}$$

Vorteil ist hierbei, dass die Wahrscheinlichkeiten von A und B in der Regel bereits bekannt sind und sich die umgekehrte Bedingung häufig leichter bestimmen lässt.

Hierauf aufbauend erlaubt das Bayes-Filter die Ortsbestimmung:

$$P(x) = P(x|z_1, z_2, \dots, z_n)$$

Anstatt eines Ereignisses A wird die Wahrscheinlichkeit für eine Position x unter Berücksichtigung vorhandener Messungen z_1, z_2, \dots, z_n beschrieben.

Eine weit verbreitete Art dieses Filters ist das Kalman-Filter. Es ermöglicht im Rahmen der Ortserkennung die Ermittlung möglicher Folgepositionen in Bewegungsrichtung; allerdings nur in linearen Systemen. Aus diesem Grund können entweder nur Orte vorhergesagt werden, die auf Messungen basieren, welche linear angenähert wurden, etwa der Bewegung bei annähernd konstanter Geschwindigkeit in gerader Richtung.

Oder es wird mit Anpassungen des Kalman Filters gearbeitet, die die Berechnung innerhalb nichtlinearer System ermöglichen, wie dem als Standard geltenden Erweiterten

Kalman-Filter.[8, p. 56]

Müssen mehrere Hypothesen gleichzeitig verfolgt werden, etwa wenn in einem bestimmten Zeitfenster durch Verdeckung keine Messergebnisse oder abrupte Bewegungen vorliegen, ist das Kalman-Filter nicht mehr einsetzbar. Hier kann das Partikelfilter eingesetzt werden.

Das Partikelfilter besteht aus zwei grundlegenden Schritten, dem Aufstellen und Bewerten vieler zufälliger Hypothesen, also dem Setzen zufälliger Platzierungen, und dem Resampling.

Da keine vollständigen Messdaten vorhanden sind, werden zufällig Punkte im Raum verteilt und ihre Wahrscheinlichkeiten berechnet. Auf diesen Schritt folgt das Resampling, das Aufstellen und Bewerten neuer Hypothesen auf Basis der höchsten Wahrscheinlichkeiten des ersten Schritts. Das Verfahren wird nun über den gesamten Zeitraum wiederholt, in dem die Messdaten unvollständig sind.[8, p. 55]

Wurden die Wahrscheinlichkeiten berechnet, können die Ergebnisse im Nachhinein angereichert und verbessert werden. Eine Möglichkeit dieser Anreicherung ist das Map Matching, zu erkennen in der folgenden Abbildung.

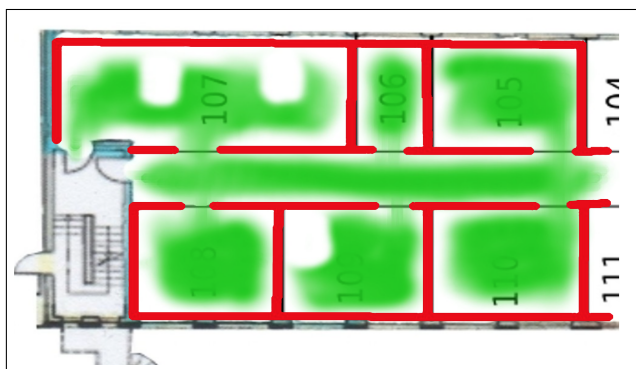


Abbildung 4. In Grundriss kodierte lokalisierungsrelevante Informationen⁴

Hierfür werden auf einer Karte Gewichtungen, in der Grafik erkennbar an den grünen Flächen, oder ungültige Bereiche, dargestellt als rote Balken, hinterlegt. Somit können fehlerhafte Messungen außerhalb der relevanten Orte vermieden werden.

Ein für die Erkennung von Kontexten ausreichendes IPS durch günstige Sensoren zu entwickeln, um die vorhandenen Systeme mindestens ergänzen zu können, ist das Ziel der Arbeit. Es gilt also, Verfahren zu evaluieren, die in Kombination eine solche Aufgabe bewältigen können.

⁴http://www.linuxtag.org/2014/fileadmin/docs/slides/Martin_Gernhardt_-_Andreas_Grau_-_Indoor-Navigation_unter_Android.e1524.pdf

Einige Forschungsgruppen haben sich diesem Thema bereits angenommen; die Ergebnisse dieser Arbeiten werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

V. AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND UND ABGRENZUNG

Die Ortung von Objekten in Räumen erfordert je nach Einsatzzweck eine unterschiedliche Genauigkeit. Um kleine Gegenstände, zum Beispiel die Sonnenbrille, die Schlüssel und so weiter, finden oder Gesten erkennen zu können, ist eine relativ genaue Ortung im dreidimensionalen Raum nötig.

Für die Erkennung eines Kontexts, in dem sich eine Person befindet, kann dagegen eine deutlich ungenauere Auflösung ausreichen, was den Einsatz von Smartphones erst ermöglicht. Deren Sensoren sind zwar besonders energiesparend, allerdings durch ihre kompakte und integrierte Bauweise in der Regel auch deutlich ungenauer und störungsanfälliger als statisch verbaute.[3, p. 729]

Das Ziel sollte daher sein, Verfahren mit ausreichender Genauigkeit bei minimalen Kosten zu ermitteln. Diejenigen Forschungsgruppen, die sich mit günstigen Lösungen auseinandergesetzt haben, könnten zum Teil als Basis für eine weitere Arbeit infrage kommen.

Um eine grundlegende Übersicht über Systeme mit Forschungsschwerpunkt zu erhalten, eignen sich zum Beispiel die Arbeiten „A Survey of Indoor Positioning and Object Locating Systems“[9] und „A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks“[4]. Hier fallen unter den gesuchten Kriterien der geringen Kosten bei ausreichender Genauigkeit vor allem die Systeme Cricket, Beep und COMPASS auf.

Das bereits 2005 am MIT entwickelte Cricket System nutzt mehrere aktive Ultraschall Beacons, um die Position im Empfängergerät zu berechnen. Dies ermöglicht zwar eine kostengünstige und mit wenigen Zentimetern Genauigkeit sehr präzise Ortung sowie eine problemlose Skalierung auf mehrere Personen;[10] es stünde allerdings dem Backend des Living Place entgegen, da hier das Ziel gerade die Integration der Position ist, um eine Interpretation zu gewährleisten.

Das ebenfalls 2005 entwickelte Projekt Beep nutzt akustische Signale in Verbindung mit günstigen Sensoren zur Ortung von Personen und kann im Gegensatz zu Cricket auch mit einem Backend verwendet werden. Des Weiteren wäre die Genauigkeit mit etwa 60 Zentimetern bis hin zu einem halben Zentimeter für den geplanten Zweck vollkommen ausreichend.

Das Problem sind jedoch vom System ausgehende, hörbare Töne und eine Empfindlichkeit gegenüber anderen Geräuschen

im Raum.[11]

COMPASS schließlich nutzt die Orientierung des Nutzers dank eines digitalen Kompasses zusammen mit vorhandenen WLAN-Signalen und ihren Veränderungen durch den menschlichen Körper. Das Verfahren erreicht nach einer Lernphase eine Genauigkeit von circa 1,65 m.[12]

Interessant an diesem Ansatz ist die Möglichkeit, es mithilfe der in vielen Smartphones integrierten Sensoren umsetzen zu können. In der folgenden Arbeit wird COMPASS daher zumindest infrage kommen.

Bei einem von Microsoft veranstalteten Wettbewerb⁵ auf der IPSN⁶, traten Teams mit von Infrastruktur befreiten Lokalisierungslösungen und Teams, deren Lösungen Infrastruktur benötigten, gegeneinander an.

Die Sieger der Infrastruktur-basierten Kategorie haben durch Einsatz kostengünstiger Tags, sogenannter Easypoints, stehende Wellen im Bluetooth Frequenzband erzeugt und hiermit eine Genauigkeit von knapp über 70cm erreichen können.[13] Das Verfahren wurde allerdings patentiert und steht damit als Grundlage für eigene Verfahren nur begrenzt zur Verfügung.⁷

In der Infrastruktur-freien Kategorie gewann "MapUme", ein auf WLAN Signalen und Fingerprinting aufsetzender Ansatz, der das Bayes- und Partikel-Filter zur Verrechnung der gemessenen Positionen nutzt. Hiermit konnte eine Genauigkeit von rund 1,60 m erreicht werden.[14] Wie auch bei dem COMPASS Projekt besteht bei dieser Art der Lokalisierung die Möglichkeit, sie in der späteren Arbeit einfließen.

Auffällig bei den Verfahren ist, dass nur eine Sensorart genutzt wurde. Hier ist also mit der Sensor Fusion ein möglicher Punkt der Weiterentwicklung gegeben.

Einige Ansätze wie der des mittlerweile von Apple aufgekauften Unternehmens WiFiSLAM⁸ gehen diesen Schritt hingegen und erlauben durch das Nutzen mehrerer Smartphone-Sensoren eine Genauigkeit von bis zu einem Meter ohne weitere Infrastruktur.[3]

Dieser vielversprechende Weg zeigt somit, wie viel Potenzial in der Verbindung vorhandener Signale und

⁵<http://research.microsoft.com/en-us/events/ipsn2014indoorlocalizationcompetition/>

⁶Information Processing in Sensor Networks, eine führende Messe auf dem Sensorgebiet

⁷http://www.gesetze-im-internet.de/patg/_11.html

⁸Simultaneous Localization and Mapping using WiFi - <http://thenextweb.com/apple/2013/03/26/what-exactly-wifislam-is-and-why-apple-acquired-it/>

Technologien steckt, die Möglichkeit einer ausreichend genauen Lösung, selbst ohne die Notwendigkeit einer speziellen Infrastruktur, besteht also.

VI. FAZIT UND AUSBLICK

Im Laufe dieser Ausarbeitung wurde eine Einführung in das Thema der Positionsermittlung und der anschließenden Sensor Fusion gegeben.

Das Ziel ist, mithilfe von Smartphones und günstigem Equipment eine Lokalisierung in für die Erkennung von Kontexten ausreichender Genauigkeit zu erreichen, sodass das im Living Place vorhandene System für diesen Zweck mindestens unterstützt und im besten Fall ersetzt werden könnte. Hierfür wurden der aktuelle Forschungsstand betrachtet und mögliche Ansätze gefunden, auf denen die kommende Arbeit aufsetzen könnte.

Die angesprochene kommende Arbeit wird sich hierbei in drei Schritte aufteilen: Zuerst ist das Entwickeln einer soliden, aber unter Umständen noch verbesserungswürdigen Basis zur Ortsbestimmung geplant. Dem folgen soll die schrittweise Erweiterung und Fusion mit weiteren Smartphone-Sensoren, um die Ergebnisse zu verbessern.

Ein mögliches Verfahren könnte zum Beispiel sein:

- 1) Tags, für eindeutige Positionen
- 2) WLAN + Fingerprinting als bewährtes Verfahren zum Berechnen der Positionen zwischen den Tags
- 3) Inertialsensoren zur Bestimmung der Orientierung und um beispielsweise eine Neuberechnung der Position nur bei Aktivierung des Beschleunigungssensors zu veranlassen
- 4) Magnetometer, um die Genauigkeit der WLAN-Ortung zu verbessern
- 5) ...

Ist ein solches Verfahren entwickelt, bildet daraufhin das Abschätzen, ob das System ausreichen wird, vorhandene Systeme ersetzen, beziehungsweise sie sinnvoll ergänzen zu können, den Abschluss des Projekts.

LITERATUR

- [1] J. Ellenberg, B. Karstaedt, S. Voskuhl, K. von Luck, and B. Wendholt, "An environment for context-aware applications in smart homes," *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 2011.
- [2] P. Steggle and S. Gschwind, "The ubisense smart space platform," 2005.
- [3] Z. Chen, H. Zou, H. Jiang, Q. Zhu, Y. C. Soh, and L. Xie, "Fusion of wifi, smartphone sensors and landmarks using the kalman filter for indoor localization," *Sensors*, 2015.
- [4] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks," *Communications Surveys & Tutorials Tutorials, IEEE*, vol. 11, no. 1, pp. 13–32, 2009.

- [5] T.-N. Lin and P.-C. Lin, "Performance comparison of indoor positioning techniques based on location fingerprinting in wireless networks," *Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, vol. 2, pp. 1569 – 1574, 2005.
- [6] G. Sterling, "Magnetic positioning - the arrival of 'indoor gps'," 6 2014.
- [7] D. Zhang, F. Xia, Z. Yang, L. Yao, and W. Zhao, "Localization technologies for indoor human tracking," *Future Information Technology (FutureTech)*, 2010.
- [8] S. Thrun, "Probabilistic robotics," *Commun. ACM*, vol. 45, no. 3, pp. 52–57, Mar. 2002. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/504729.504754>
- [9] H. Koyuncu and S. H. Yang, "A survey of indoor positioning and object locating systems," *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 10, no. 5, May 2010.
- [10] N. B. Priyantha, "The cricket indoor location system," Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [11] A. Mandal, C. V. Lopes, T. Givargis, A. Haghighat, R. Jurdak, and P. Baldi, "Beep: 3d indoor positioning using audible sound," *Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 348 – 353, 2005.
- [12] T. King, S. Kopf, T. Haenselmann, C. Lubberger, and W. Effelsberg, "Compass: A probabilistic indoor positioning system based on 802.11 and digital compasses," *Proceedings of the 1st international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization*, 2006.
- [13] A. Bestmann and R. Reimann, "Easypoint – indoor localization and navigation low cost, reliable and accurate," 2014.
- [14] M. Klepal and C. Beder, "Mapume – wifi based localization system," 2014.