

Indoor Positionierung mit Smartphones zur Kontexterkennung auf Basis vorhandener Infrastruktur

Lennart Bartelt

lennart.bartelt@haw-hamburg.de

Hamburg University of Applied Sciences,
Dept. Computer Science,
Berliner Tor 7
20099 Hamburg, Germany

1 Einleitung

Obwohl mittlerweile jeder zweite Einwohner in Deutschland ein Smartphone besitzt¹ und von diesen mehr als die Hälfte die Standortdienste ihres Gerätes nutzen² sowie einen Großteil ihrer Zeit in Gebäuden verbringen, ist die zuverlässige Ortung von Smartphones in Innenräumen bis heute nicht für Endkunden zufriedenstellend gelöst[YWZ⁺15]. Während die Positionierung in Außenarealen dank "Assisted GPS", der Unterstützung der GPS-Ortung durch Mobilfunksignale, ohne größere Probleme möglich ist, lässt sich das gleiche Ziel durch den Wegfall dieser Technologie bei Betonwänden im Gebäudeinneren[ETZ05] ungleich schwerer erreichen.

So existieren zwar einige Ansätze, die eine deutlich über der GPS-Genauigkeit liegende Erkennung ermöglichen. Die im Kapitel Referenzsysteme näher beleuchteten Systeme UbiSense RTLS, ARTTRACK und Active Bat gehören mit ihrer Präzision von unter einem Meter bis hin zum Millimeterbereich etwa dazu. Gemein haben sie jedoch, dass sie in ihrem geplanten Einsatzraum erst installiert und eingerichtet werden müssen und für Privatpersonen größtenteils unerschwinglich sind. Smartphones können dank ihrer hohen Verbreitung hingegen als gegeben gesehen werden, benötigen also keiner kostspieligen Investition.

Größter Nachteil der handlichen Allzweckgeräte ist sicherlich die im Vergleich zu spezialisierten Lösungen deutlich unterlegene Genauigkeit der Erkennung mithilfe der verbauten Sensorik; mithilfe der im Kapitel Fusion und Filterung der Messdaten vorgestellten Verfahren kann diesem Problem allerdings teilweise entgegengetreten werden.

¹ <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/198959/umfrage/anzahl-der-smartphonenuutzer-in-deutschland-seit-2010>, Abruf: 14.02.2016

² <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/166150/umfrage/nutzung-von-smartphone-funktionen-in-deutschland>, Abruf: 14.02.2016

Neben dem rein technischen Aspekt der Lokalisierung ist noch die Betrachtung von Anwendungsgebieten relevant, um die Notwendigkeit von Standortdiensten und damit den Bereich zu identifizieren, in dem sich diese Arbeit orientiert. Beginnt man beim persönlichsten Innenraum, dem eigenen Zuhause, befindet man sich im Smart-Home-Bereich. Um ein solches System effektiv nutzen zu können, ist die Kontexterkenkung notwendig. Desweiteren ist der Arbeitsplatz und somit in vielen Fällen der Büroraum ein denkbare Szenario. Hier lassen sich beispielsweise das Auffinden von Meetingräumen oder eine Anwesenheitskontrolle als Möglichkeiten identifizieren. Zuletzt seien noch öffentliche Gebäude genannt. Vom Finden des gesuchten Geschäfts im Einkaufszentrum über Bahnhöfe und Flughäfen bis hin zu auf die Position des Nutzers abgestimmten Führung im Museum sind auch hier viele Einsatzzwecke denkbar.

Aufgrund der im Folgenden beschriebenen, an der HAW Hamburg verfügbaren Infrastruktur liegt der Fokus dieser Ausarbeitung neben der im Kapitel Referenzsysteme beschriebenen Büroumgebung vornehmlich auf dem Smart Home.

2 Ubiquitous Computing, Smart Home und Kontextbegriff

Mit dem Living Place[EKV⁺11] befindet sich am Standort der HAW ein Labor, in dem die Erforschung des Smart Living, der Unterstützung des Nutzeralltags zum Beispiel in einem Smart Home, und des Ubiquitous Computing vorangetrieben wird. Der Begriff des Ubiquitous Computing wurde geprägt von Mark Weiser und als die Rechnerallgegenwärtigkeit durch das Verschwinden von Technologie aus der Wahrnehmung der Nutzer beschrieben.[Wei91] Hierfür werden Computer und Sensoren in den Nutzer umgebende Objekte integriert, um eine allgegenwärtige Unterstützung durch Dienste zu ermöglichen.

Neben dem Living Place ist auf dem Campus das interdisziplinäre Creative Space im Aufbau. Das "Lab in Progress", dessen "inhaltlicher Schwerpunkt [...] auf Fragestellungen aus dem Bereich der 'Human Computer Interaction' [liegt]"³, sieht vor, Hypothesen neuer Technologien durch protoypische Umsetzung schnell validieren zu können. Zu diesen Technologien gehören auch die Indoor Positionierung sowie die Kontexterkenkung, für die bis auf Weiteres die in Referenzsysteme aufgelisteten stationären Systeme eingesetzt werden sollen. Somit ergibt sich eine Testumgebung, in der die Innenraumlokalisierung mit Smartphones getestet werden kann.

Um zu erfahren, was für ein funktionierendes, smartes Zuhause notwendig ist, hilft ein kleines Gedankenspiel: Eine smarte Heizungssteuerung kann nur dann das Zuhause frühzeitig aufwärmen, wenn sie die Information besitzt, dass sich der Bewohner auf dem Heimweg befindet, eine smarte Beleuchtung nur dann automatisch einzelne Zimmer erleuchten bzw. abdunkeln, wenn es Informationen über die Nutzung dieser Zimmer erhält und die Steuerung von Musik nützt wenig, wenn sie mangels Wissen über den Aufenthaltsort des Bewohners stets jedes Zimmer beschallt. Voraussetzung für ein effektives Smart-Home ist in vielen Fällen also die Erkennung des aktuellen Nutzungskontexts.

³ <http://creative-space.haw-hamburg.de/index.html>, Abruf: 19.02.2016

Paul Dorish und Anand Dey befassen sich in ihrer Arbeit [Dou04] mit dem Kontext als Basis des Ubiquitous Computing sowohl unter technischen als auch sozialen Gesichtspunkten. Sie beschreiben Kontexte insofern, dass sich innerhalb eines Kontextes Aktivitäten abspielen. Im Beispiel des Smart Homes hieße das etwa, dass die Aktivitäten "das Wohnzimmer betreten", "auf dem Sofa Platz nehmen" und "den Fernseher anschalten" allesamt innerhalb des Kontextes "Fernsehen" stattfänden. Weiterhin stellen die Autoren die Position als integralen Bestandteil des Kontexts heraus, was den Schnittpunkt zu dieser Arbeit darstellt.

3 Auswahl der Sensoren und Positionierungsverfahren



Fig. 1: Im Smartphone verbaute Sensoren [Eigene Darstellung auf Basis von Handskit⁴]

Aus der in Abbildung 1 zu sehenden Menge der in einem Smartphone verfügbaren Sensoren wurden in der vorherigen Ausarbeitung [Bar15] die Sensoren WiFi, Bluetooth und Magnetometer für eine erste Fassung der zu entwickelnden Software ausgewählt, Accelerometer, Gyroskop, Mikrofon und Barometer hingegen für eine mögliche Weiterentwicklung. Eine Ausnahme stellt das Pedometer dar, das als virtueller Sensor die Schrittberechnung zwar auf das Accelerometer stützt, allerdings nur deren Anzahl ausgibt und somit nur einen einfacheren Einsatzzweck ermöglicht. In der ersten Fassung der Software soll es daher die Basis für die regelbasierte Reduktion der Messungen bilden. Näher wird dieses Thema im Kapitel Fusion und Filterung der Messdaten beleuchtet.

Für eine skalierende Lösung wird von Faragher et al. der Opportunismus, in diesem Fall das Lösen durch konsequente Zurückgreifen auf vorhandene Ressourcen ohne Hilfs-

⁴ <https://facebook.github.io/design/handskit.html>

mittel, als Voraussetzung gesehen[FSN12]. Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet sind der WiFi-Sensor sowie das Magnetometer ideal: Als Vorteil des WiFi-Sensors kann die nahezu allgegenwärtige Verfügbarkeit der Signale innerhalb vieler Gebäude gesehen werden, weshalb auf eine Installation von für die Lokalisierung notwendiger Hardware verzichtet werden kann. Noch stärker gilt selbiges für das Magnetometer, das auf das Erdmagnetfeld zurückgreift und somit ebenso keinerlei Equipments bedarf. Für eine Positionierung im Bereich weniger Meter sind beide Sensoren sowohl unter Labor-[SZLV14], [SBS⁺15], als auch Praxisbedingungen[HJLY14] grundsätzlich geeignet.

Etwas anders verhält es sich mit dem Bluetooth-Empfänger des Smartphones. Die Verbreitung von Bluetooth-Sendern liegt nicht in einem Bereich, in dem von Allgegenwärtigkeit gesprochen werden kann. Werden sie allerdings als optionale Elemente betrachtet, die bei Vorhandensein die Ortungsgenauigkeit erhöhen können und ansonsten schlicht ignoriert werden, stellen sie eine kostengünstige Verbesserungsmöglichkeit dar. Ein besonderer Vorteil der nach ihren regelmäßigen, einem Leuchtfener ähnlichen, Aussenden von Signalen "Beacons" benannten Sender ist die direkte Kommunikation mit dem Nutzer.

Bluetooth Beacons erlauben es beispielsweise einem Geschäftsinhaber, den Kunden bei seinem Einkauf zu unterstützen, oder dem Restaurantbesitzer, dem Kunden die Speisekarte auf das Smartphone zu übermitteln. Möglich machen dies Protokolle wie das von Google entwickelte Eddystone⁵, das für die Verknüpfung der digitalen mit der Analogen Welt gestaltet wurde. Auch Apple nutzt die selbstentwickelte Technik "iBeacon"⁶ in den Apple Stores, um Kunden Komfortfunktionen bieten zu können⁷. Beacons bilden somit eine ideale Lösung, um Standortdienste im öffentlichen Umfeld umzusetzen.

Um auf Basis der Sensordaten die Position ermitteln zu können, wird auf das Fingerprinting-Verfahren, dem Sammeln von Sinalsignaturen in einer zusätzlichen Offline-Phase, zurückgegriffen werden, da es neben der hohen Genauigkeit kein Wissen über die Positionen der Sender benötigt. Auf SLAM, das gleichzeitige Generieren einer Karte der Umgebung während der Lokalisierung, wird vorerst verzichtet, um die Komplexität des Projekts zu beschränken und eine für den Nutzer zwar aufwändigere, aber auch genauere Ortung zu erreichen[Bar15]. Innerhalb des Fingerprintings wird die Berechnung des der aktuellen Messung nächstgelegenen Punkts durch die euklidische Distanz erfolgen. Hierbei werden die einzelnen Komponenten zweier Vektoren voneinander subtrahiert und mit der Differenz die Ähnlichkeit dieser Vektoren ausgedrückt. Bei jedem Messschritt werden sämtliche der per Fingerprinting gesammelten Vektoren mit dem aktuellen Messwert verglichen und der Vektor mit der geringsten Distanz als Position des Nutzers angenommen.

⁵ <https://developers.google.com/beacons>, Abruf: 18.02.2016

⁶ <https://developer.apple.com/ibeacon>, Abruf: 18.02.2016

⁷ <http://techcrunch.com/2013/12/06/apple-ibeacons-u-s-retail-apple-store>, Abruf: 18.02.2016

Grundsätzlich lässt sich zwischen absoluter und relativer Ortung unterscheiden. Die absolute Ortung, wie sie durch das Fingerprinting ermöglicht wird, liefert eine exakte Position und steht grundsätzlich ohne weitere Schritte zur Verfügung. Allerdings steigt die Rechenzeit durch das Vergleichen vieler potenzieller Positionen mit der Größe des Suchraums und die Ergebnisse sind ohne Filterung aufgrund von Sprüngen durch Messungenauigkeiten kaum nutzbar. Bei der relativen Ortung wird hingegen die Abweichung von der Ursprungsposition bestimmt. Diese Information ist zwar mit wenig Rechenzeit zu erlangen, driftet aber durch einen akkumulierenden Fehler immer weiter vom korrekten Wert ab und ist daher nur für möglichst kurze Strecken geeignet.[Gut00, Kap. 4]

Das Optimum unter dem Gesichtspunkt einer robusten Ortung stellt die Kombination aus absoluter und relativer Ortung dar. Die gemessene absolute Position wird als Grundlage genommen und der Suchraum mithilfe der relativen Position eingeschränkt. Die relative Position wird wiederum regelmäßig auf Basis der absoluten Position zurückgesetzt und der akkumulierende Fehler damit minimiert. Aus Komplexitätsgründen soll die erste Softwareiteration trotzdem allein auf der absoluten Ortung basieren und keinerlei relative Anpassung nutzen. Als Weiterentwicklung ist diese aber in Form der Koppelnavigation geplant, bei der die Beschleunigung des Accelerometers in Richtung der Orientierung des Gyroskops gemessen wird.

Mit diesem Schritt sind die Grundlagen der Positionierung abgeschlossen. Das folgende Kapitel widmet sich nun dem Thema, wie die Daten weiterverarbeitet und die Positionierung durch Fusion der voneinander unabhängigen Sensoren verbessert werden kann.

4 Fusion und Filterung der Messdaten

Das Zusammenfassen der Sensordaten geschieht, indem diese in Vektoren ausgedrückt werden. Hiermit werden sie auf einfache Art nicht nur leichter miteinander vergleichbar, sondern können im selben Schritt auch fusioniert werden. Zu erkennen in Abbildung 2.

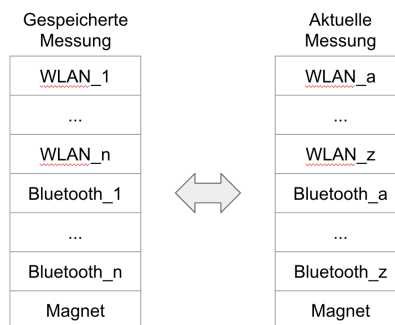


Fig. 2: Aufbau der fusionierten Sensorwertvektoren [Eigene Darstellung]

Das Zusammenfassen in Vektoren stellt bei einem einzigen Wert oder einer stets gleich langen Liste von Werten pro Messschritt keine besondere Hürde dar. Problematisch wird es hingegen bei stark heterogenen, relativ ungeordneten Werten unterschiedlicher Anzahl. Während das Magnetometer stets die Feldstärken in Richtung der drei Achsen wiedergibt und diese durch Bestimmen der Länge des Summenvektors zu einem Wert heruntergebrochen werden kann, geben sowohl der WiFi- als auch der Bluetooth-Sensor regelmäßig unterschiedlich lange Listen an Ergebnissen zurück.

Die Listenlängen können nicht einfach begrenzt werden indem etwa nur die stärksten empfangenen WiFi-Netze aufgenommen werden, da sie hierbei ihre Vergleichbarkeit verlieren würden. Es muss daher eine Möglichkeit gefunden werden, Sensorwertlisten beliebiger Länge aufnehmen und miteinander vergleichen zu können. Eine ist es, stets eine variable Liste der Länge 1 bis n anzunehmen und bei der Differenzberechnung in der jeweils anderen Liste nicht vorhandene Werte mit dem Wert 0,0 aufzufüllen. Hiermit werden die Listen zum einen vergleichbar gehalten, zum anderen führen starke Messwerte bei Nichtvorhandensein automatisch zu höheren Differenzen im Ergebnis. Dieses Verhalten entspricht damit auch der Realität, da ein Sender, dessen Signal am Punkt A nahezu vollständig und am Punkt B überhaupt nicht empfangen wird, auf eine hohe Entfernung zwischen den Punkten hinweist.

Problematisch hierbei sind die Sprünge, die aufgrund von Messchwankungen auftreten. Diese Sprünge können mithilfe eines Filters geglättet werden, um eine sinnvollere Ortung zu ermöglichen, wobei die Entscheidung aufgrund seiner recheneffizienten Arbeitsweise auf das Kalman Filter fällt. Sollten die Ergebnisse mit dem Filter noch immer nicht zufriedenstellend ausfallen, kann darüber hinaus das Partikelfilter hinzugezogen und entweder unterstützend eingesetzt werden oder das Kalman Filter vollständig ersetzen. Bei dieser Entscheidung werden der Akkuverbrauch und die erhöhte Rechenlast gegenüber der Verbesserung der Erkennung abgewogen.

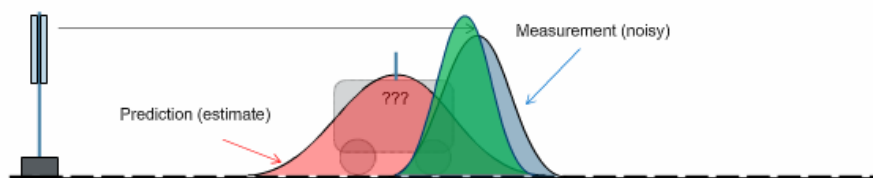


Fig. 3: Funktionsweise des Kalman Filters⁸

Das Kalman Filter basiert auf Gauß-Verteilungen, wie in Abbildung 3 zu sehen ist. Die rote Verteilung entspricht dabei der geschätzten Position des zu ortenden Objekts, die blaue der verrauschten Messung. Miteinander verrechnet ergibt sich durch die

⁸ <http://www.gaussianwaves.com/2014/04/introducing-the-kalman-filter>

Schätzung eine deutlich wahrscheinlichere Position als es nur mit der Messung alleine der Fall gewesen wäre. Um die Messwerte des Fingerprintings nun filtern zu können, müssen zuerst Wahrscheinlichkeitsverteilungen aus ihnen erstellt werden. Die in Betracht gezogene Möglichkeit ist dabei, die Vektoren zu normieren, sodass ausschließlich Werte zwischen 0 und 1 ausgegeben werden, die schließlich als Wahrscheinlichkeiten angenommen werden.

Hierfür ist vorgesehen, dass nach Abschluss der Messungen in der Offline-Phase des Fingerprintings alle Messwerte durch den höchsten Messwert des jeweiligen Sensors dividiert werden. Für jede Liste innerhalb der Vektoren liegen daraufhin normierte Werte vor, aus denen wiederum ein gewichteter Durchschnitt errechnet werden kann. Dies führt dazu, dass die einzelnen Sensoren unterschiedlich stark in die Positionierung einfließen können. Da dieser Schritt pro vollständiger Messung jeweils nur ein einziges Mal und innerhalb der Offline-Phase durchgeführt wird, ist eine erhöhte Rechenlast zu vernachlässigen.

Um während der Lokalisierung den Akku des Smartphones nicht durch unnötige Arbeit zu belasten, eignet es sich, die Messungen bei einem Stillstand zu reduzieren, beziehungsweise sie nach Möglichkeit gänzlich zu verhindern. In Abbildung 4 anhand der roten Linien zu erkennen, die die auszulassenden Messungen darstellen.

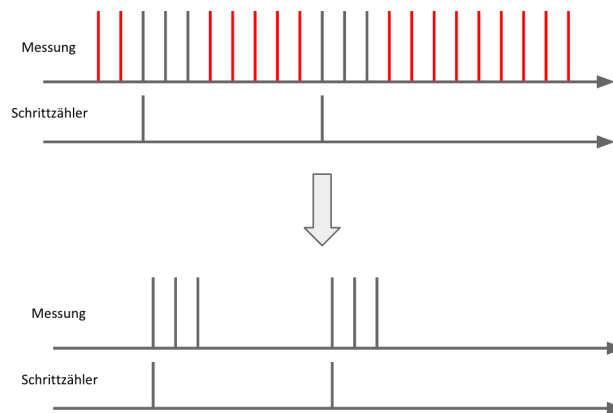


Fig. 4: Reduktion der Messungen bei Ausbleiben von Schritten[Eigene Darstellung]

Eine einfache regelbasierte Reduktion soll dabei auf Basis des Pedometers, mit dessen Hilfe zu jeder Zeit die Bewegung des Nutzers festgestellt werden kann, die Lokalisierung pausieren und erst beim nächsten erfassten Schritt wieder aufnehmen.

5 Referenzsysteme

Um die Genauigkeit des zu entwickelnden Projekts bestimmen zu können, muss ein deutlich genauerer Vergleichswert herangezogen werden. Für diesen Zweck werden Referenzsysteme genutzt, die statt auf Portabilität oder Skalierung auf eine hohe Genauigkeit hin optimiert sind.

Faragher und Harle nutzten etwa das System Active Bat als Referenz, um ihre umfassende Positionierungslösung für Smartphones zu entwickeln.[FH13] Active Bat basiert auf einem codierten Ultraschallsignal, mit dessen Hilfe stationäre Empfänger das Signal von an der Person getragenen Sendern bis auf 3 cm Genauigkeit orten können[FH14].

Die entwickelte Lösung namens SmartSLAM, was für "Smartphone Simultaneous Localization And Mapping" steht, verbindet für eine im Smartphonebereich hohe Genauigkeit die Sensoren WiFi, Magnetometer, Accelerometer, Gyroskop und Barometer miteinander. Sind keine Fingerprinting-Informationen vorhanden, erzeugt SmartSLAM darüber hinaus bereits während der Nutzung eine Karte der bekannten Umgebung und benötigt aus diesem Grund nicht zwingend eine Offline Phase. Für die Filterung wechselt es, je nach verfügbarer Kenntnis über den aktuellen Ort, zwischen dem rechenintensiveren Partikelfilter und dem ungenaueren Kalman Filter, um die Balance zwischen Genauigkeit und Energieverbrauch herzustellen. Da das System aufgrund der Vielzahl an Funktionen allerdings für eine reine Kontexterkenkung zu umfangreich wäre und auch keine Pausierung der Messungen vorsieht, solange eine erneute Erkennung nicht nötig ist, soll es für dieses Projekt lediglich als technische Referenz und grobe Zielvorstellung dienen.

An der HAW vorhanden sind das im Ultrabreitband arbeitende Funksystem UbiSense RTLS⁹, das eine Erkennung im Bereich von unter einem Meter ermöglicht, und das Infrarotkameras nutzende, optische System ARTTRACK¹⁰, dessen Genauigkeit sich im Milimeter-Bereich befindet[PK07]. Beide Systeme bieten dank ihrer hohen Genauigkeit eine nahezu ideale Plattform, die Ergebnisse der Softwarelösung zu validieren und ihre Abweichung von der realen Position zu ermitteln. Problematisch an ihnen ist lediglich der recht kleine von ihnen abgedeckte Bereich. So wird zwar eine sehr genaue Messung der Genauigkeit ermöglicht, die praktische Tauglichkeit eines Systems mit mehreren Metern Genauigkeit kann allerdings nicht untersucht werden.

Aus diesem Grund wird das System neben der Messung gegen die Referenzsysteme auch unter simulierten Realbedingungen auf einer Hochschuletage¹¹ der HAW Hamburg getestet. Durch die Vielzahl an Räumen und Gängen entspricht dies annähernd

⁹ <http://ubisense.net/de/products/rtls-plattform>, Abruf: 02.02.2016

¹⁰ <http://www.ar-tracking.com/products/tracking-systems/arttrack-system>, Abruf: 02.02.2016

¹¹ vgl. Anhang A

einer realen Büroumgebung und erlaubt es damit, die Eignung des Systems für die Kontexterkenkung in größerem Maßstab abzuwägen.

6 Fazit und Ausblick

Ziel dieser Arbeit sind das Festigen und Filtern der im Grundprojekt gesammelten Erkenntnisse, um den Fokus auf das folgende Projekt richten und es effektiv entwickeln zu können. Dafür wurde zuerst der Bereich herausgearbeitet, in dem sich das Projekt befinden wird. Dieser wird sich, auch aufgrund der mit dem Living Place und dem Creative Space an der HAW Hamburg vorhandenen Infrastruktur, auf die Positionserkenkung als integrales Hilfsmittel zur Kontexterkenkung im Rahmen des Smart Living konzentrieren.

Da für Bewohner eine stationäre Lösung kaum erschwinglich und auch nicht praktisch ist, wurde als opportunistischer Ansatz das Smartphone gewählt. Hierfür wurde mit den WiFi- und Bluetoothempfängern sowie dem Magnetometer und dem Pedometer eine Auswahl an Sensoren für die erste Entwicklungsiteration getroffen.

Dem folgte die Wahl des Positionierungsverfahrens in Form von Fingerprinting und der euklidischen Distanz sowie die Fusion der Daten durch Zusammenfassen aller Messungen pro Messschritt in einem normierten Vektor. Mit dem Kalman Filter als recheneffiziente Methode sollen zuletzt die Ergebnisse der Sprünge bereinigt und damit die Genauigkeit der Positionierung erhöht werden.

Abgeschlossen wurden die theoretischen Grundlage für das zu entwickelnde System mit einer Übersicht über die Referenzsysteme, an denen sich ebendieses messen lassen und die Genauigkeit bestimmt werden kann.

Für die Realisierung des Systems sind über die angesprochenen Punkte hinaus noch weitere Arbeitsschritte geplant. Ziel des Projekts ist es, die Kontexterkenkung zuverlässig mithilfe von Smartphones durch eine Ortungsgenauigkeit im unteren Meterbereich zu ermöglichen, was grob einer raumweiten Ortung auf der Hochschuletage entspricht. Sollte sich im Rahmen der nachfolgenden Arbeiten dieses Ziel als nicht erreichbar herausstellen, folgen das Herausarbeiten der die Erkennung verhindernden Probleme und entsprechender Ansätze zu ihrer Beseitigung. Ein Großteil der Arbeit wird in Messungen und die anschließende Optimierung der Software fließen, um das Ziel eine raumweiten. Hat das Projekt einen stabilen Stand erreicht, gilt es, die Anbindung an das Living Place beziehungsweise das Creative Space zu realisieren, um schließlich die Kontexterkenkung ermöglichen zu können.

Ab diesem Zeitpunkt kann die Lösung durch weitere Entwicklungen verbessert werden. Hierzu zählen zum einen die in der ersten Variante ausgesparten Sensoren wie Accelerometer und Gyroskop, um Koppelnavigation zu ermöglichen[Bar15], oder die Unterscheidung der Etagen eines Gebäudes mithilfe des Barometers. Auch das im Grundprojekt beschriebene Experiment, das Mikrofon zur Positionierung über Umgebungs-

geräusche zu nutzen, kann in dieser Phase erfolgen. Zum anderen kann die Auswirkung des Partikelfilters auf den Energieverbrauch und die zu erreichende Genauigkeit untersucht und, im Falle vielversprechender Ergebnisse, das Hinzufügen eines dynamischen Wechsels der Filter in Betracht gezogen werden.

References

- Bar15. Lennart Bartelt. Projektbericht: Indoor positionierung mittels sensor fusion auf smart-phones. 2015.
- Dou04. Paul Dourish. What we talk about when we talk about context. *Personal and ubiquitous computing*, 8(1):19–30, 2004.
- EKV⁺11. Jens Ellenberg, Bastian Karstaedt, Sören Voskuhl, Kai von Luck, and Birgit Wendholt. An environment for context-aware applications in smart homes. In *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Guimaraes, Portugal, 2011*.
- ETZ05. Bernd Eissfeller, Andreas Teuber, and Peter Zucker. Indoor-gps: ist der satellitenempfang in gebäuden möglich. *ZfV, Zeitschrift für Vermessung*, (4):130, 2005.
- FH13. R Faragher and R Harle. Smartslam an efficient smartphone indoor positioning system exploiting machine learning and opportunistic sensing. In *ION GNSS*, volume 13, pages 1–14, 2013.
- FH14. Ramsey Faragher and R Harle. An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications. In *Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ '14)*, 2014.
- FSN12. RM Faragher, Carlos Sarno, and Mark Newman. Opportunistic radio slam for indoor navigation using smartphone sensors. In *Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2012 IEEE/ION*, pages 120–128. IEEE, 2012.
- Gut00. Jens-Steffen Gutmann. *Robuste navigation autonomer mobiler systeme*. Aka, 2000.
- HJLY14. Dongsoo Han, Sukhoon Jung, Minkyu Lee, and Giwan Yoon. Building a practical wi-fi-based indoor navigation system. *Pervasive Computing, IEEE*, 13(2):72–79, 2014.
- PK07. Thomas Pintaric and Hannes Kaufmann. Affordable infrared-optical pose-tracking for virtual and augmented reality. In *Proceedings of Trends and Issues in Tracking for Virtual Environments Workshop, IEEE VR*, pages 44–51, 2007.
- SBS⁺15. Yuanchao Shu, Cheng Bo, Guobin Shen, Chunshui Zhao, Liqun Li, and Feng Zhao. Magicol: indoor localization using pervasive magnetic field and opportunistic wifi sensing. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 33(7):1443–1457, 2015.
- SZLV14. Kalyan Subbu, Chi Zhang, Jun Luo, and Athanasios Vasilakos. Analysis and status quo of smartphone-based indoor localization systems. *Wireless Communications, IEEE*, 21(4):106–112, 2014.
- Wei91. Mark Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3):94–104, 1991.
- YWZ⁺15. Zheng Yang, Chenshu Wu, Zimu Zhou, Xinglin Zhang, Xu Wang, and Yunhao Liu. Mobility increases localizability: A survey on wireless indoor localization using inertial sensors. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(3):54, 2015.

A Anhang - Grundriss BT7, 11.OG

