

Ausarbeitung Anwendungen 1 -
SoSe 2010
Johannes Meyer
„Navigational Lighting“
Lichtunterstütztes Leitsystem auf Basis von
selbstverortenden Funknetzen

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	3
1.1 Einleitung	3
1.2 Gliederung der Ausarbeitung	3
2 Motivation	4
3 Projektziele	4
4 Komponenten	6
4.1 Medium als Orientierungshilfe	7
4.2 Indoor-Lokalisierung	7
4.3 Räumliches Referenzsystem	8
4.4 Kommunikation und Steuerung	9
5 Risiken	10
5.1 Software-Abhängigkeiten	11
5.2 Hardware-Abhängigkeiten	12
6 Ausblick	12
Literatur	13

Kurzzusammenfassung

Die folgende Ausarbeitung wird sich mit dem Thema der lichtgestützten Navigation beschäftigen. Hierfür dienen RGB-LEDs als Landmarken. Durch selbstständige Verortung der mobilen Knoten - welche für die Ansteuerung der LEDs zuständig sind - und der Lokalisierung der zu führenden Person, soll ein virtueller Lichtpfad den Weg zum Navigationsziel weisen. Der Schwerpunkt liegt hier auf der selbstständigen Bildung einer stabilen Funkinfrastruktur und der selbstständigen Verortung der einzelnen Module um den Installations- und Konfigurationsaufwand zu minimieren.

1 Einführung

1.1 Einleitung

Navigationslösungen für den Outdoorbereich sind in der heutigen Zeit alltäglich geworden. Begeht man sich jedoch in den Indoorbereich, stoßen diese Navigationslösungen an ihre Grenzen: Neue Arten der Lokalisierung und Navigation werden benötigt.

Es existieren schon u.a. kartenbasierte Lösungen, welche ein mobiles Endgerät zur Orientierung benötigen (11). Um eine möglichst natürliche und intuitive Wegweisung zu realisieren, bietet es sich an, Personen anhand von Landmarken zu führen, da diese erheblich zur Orientierung beitragen (17).

Die folgende Ausarbeitung gibt einen ersten Überblick, Personen anhand von Landmarken und im speziellen anhand von farbigen Licht zu leiten. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Entwicklung einer verteilten Infrastruktur, welche sich selbstständig verortet und vernetzt.

1.2 Gliederung der Ausarbeitung

Die Ausarbeitung lässt sich in folgende Abschnitte aufteilen: Zunächst wird im Punkt „Motivation“ vermittelt, wofür dieses Projekt in der Zukunft benötigt werden könnte. Die Projektziele geben einen Überblick auf das Themengebiet, welches umgesetzt werden soll. Diese werden anschließend im Kapitel „Komponenten“ näher beleuchtet. Es folgt eine Risikoabschätzung der möglichen Störfaktoren. Im Ausblick wird die weitere Vorgehensweise für die kommenden Semester dargelegt.

2 Motivation

Für die Outdoor-Navigation wird das GPS¹ verwendet. Kartenbasierte Endgeräte nutzen diese Positionsdaten um eine Route zum Ziel zu berechnen.

Begibt man sich in den Indoor-Bereich, so ist eine Positionsbestimmung mittels GPS nicht mehr möglich. Für die Indoor-Navigation ist daher eine andere Lokalisierungsmethode notwendig. Ein Beispiel hierfür ist „Nokia Indoor Navigation“⁽¹⁹⁾. Die Lokalisierung basiert auf der Signalstärkemessung von Funksignalen. Hierbei wird die Signalstärke an einem Punkt zu verschiedenen WLAN-Access Points gemessen. Ein Vergleich mit früheren verorteten Messdaten lässt einen Rückschluss auf die Position zu. Der Vorteil liegt in der Nutzung von bereits bestehenden Ressourcen (WLAN Hotspots und Smartphones).

Gängige Navigationslösungen, sei es nun im Straßenverkehr oder - wie bei „Nokia Indoor Navigation“ - in geschlossenen Räumen, navigieren auf kartenbasierten Endgeräten. Studien über die Raumkognition haben jedoch ergeben, dass sich Menschen intuitiv anhand von Landmarken orientieren ⁽⁶⁾ ⁽¹⁾ ⁽¹⁷⁾. Somit ist eine kartenbasierte Navigation nicht optimal, da sie eine Abstraktion der Realität darstellt und nicht intuitiv genutzt werden kann ⁽¹⁰⁾. Nachteilig ist zudem die Tatsache, dass für die Navigation ein mobiles Endgerät nötig ist, welches ständig getragen und abgelesen werden muss. Dies ist jedoch nicht immer möglich, da die Person z. B. andere Gegenstände trägt ⁽¹⁸⁾.

Es ist daher von Vorteil, eine landmarkengestützte Navigationslösung zu entwickeln, da Landmarken in die Umgebung integriert sind und das Ablesen von z. B. einem Smartphone überflüssig machen. Künstliche Landmarken können fest installierte Objekte wie beispielsweise elektronische Hinweisschilder, Licht- oder auch Tonsignale sein, welche die Personen individuell zum jeweiligen Ziel führen. In diesem Kontext gibt es Arbeiten, welche öffentliche Displays verwenden, um Personen zu führen ⁽¹³⁾ ⁽²¹⁾. Daraus lässt sich die Idee ableiten, eine feste Installation zu verwenden, die einerseits flexibel und einfach zu installieren ist, andererseits kostengünstig und intuitiv verständlich ist.

3 Projektziele

Das Augenmerk dieser Arbeit liegt auf der Umsetzung einer Navigationslösung, welche nicht smartphonebasiert ist, sondern künstliche Landmarken verwendet. Im weiteren Text wird hierfür der Begriff „Navigational Lighting“ verwendet.

„Navigational Lighting“ lässt sich am besten anhand eines beispielhaften Anwendungsfalls beschreiben:

- Eine Person möchte von ihrer aktuellen Position (A) zu einem Ziel (B) geleitet werden.

¹Global Positioning System

- Sie gibt das Ziel beispielsweise über ihr Smartphone vor. Zu beachten ist hierbei, dass das Gerät anschließend nur noch zur Lokalisierung verwendet wird, und somit nicht mehr aktiv von der Person beachtet werden muss.
- Die Person wird über ihr Smartphone² identifiziert und lokalisiert.
- Anhand der aktuellen Position und eines zugrunde liegenden Gebäudemodells wird eine Route zum Navigationsziel berechnet.
- Im Gebäude sind im sichtbaren Abstand zueinander, Lichtleisten (RGB-LEDs) angebracht. Ein oder mehrere dieser LEDs³ werden von einem sogenannten „Knoten“ angesteuert.
- Die Knoten sind untereinander über Funk verbunden und erhalten ihre Befehle (z. B. die aktuelle Lichtfarbe) von einer zentralen Steuereinheit.
- Auf Basis der zur Verfügung stehenden Knoten zwischen A und B, wird die zuvor berechnete Route auf den Lichtleisten abgebildet.
- Der Person wird ihre persönliche Routenfarbe mitgeteilt, welcher sie zum Ziel B folgen kann.

Um eine landmarkenbasierte Navigation zu realisieren, müssen demnach unterschiedliche Themenbereiche behandelt werden. Es gilt zunächst zu definieren in welchem Kontext man sich bewegt und welche Einschränkungen vorliegen.

In der ersten Phase soll das Szenario auf den Indoor-Bereich beschränkt sein. Im Speziellen wird der erste Prototyp im 10. bzw. 11. Stock des TI-Gebäudes der HAW installiert. Dort existiert bereits die nötige technische Ausstattung, welche für die Ortung benötigt wird (ausreichende WLAN-Hotspots in Empfangsreichweite).

Es besteht die Möglichkeit, dass die WLAN-Ortung keine ausreichende Präzision bietet, um eine Person eindeutig im Gebäudekontext zu verorten. Dies würde es erforderlich machen, nach geeigneten Lösungen zur Kompensation zu suchen. Einerseits wäre es denkbar, die verteilten, fest installierten Knoten zu nutzen um eine Annäherung einer Person zu registrieren (mittels ZigBee-Funkerweiterung) und somit deren Position im Gebäudemodell zu korrigieren. Andererseits konnte man eine softwaretechnische Lösung in Betracht ziehen, welche die letzten Ortungspositionen betrachtet und anhand des Gebäudemodells logische Rückschlüsse auf die wahrscheinliche Position zieht.

²Voraussetzung ist, dass eine entsprechende Software installiert ist und das Gerät über WLAN verfügt

³abhängig von der Hardware-Umsetzung

Abhängig von den Ergebnissen der ersten Versuche, wäre es denkbar, auch in den Outdoorbereich zu gehen. Dies erfordert unter Umständen eine Erweiterung der Ortungsmethoden auf das GPS, da im Freien die Anzahl der zu erreichenden WLAN-Hotspots zu gering sein kann.

Weiterhin ist zu beachten, dass es sich bei den Landmarken um fest installierte HW-Module mit Funkerweiterung handelt, welche Licht als Leitmedium verwenden. Ziel ist daher eine möglichst kompakte Bauform, ein geringer Installationsaufwand (daher die Funkmodule) und eine Positionierung an gut sichtbarer Stelle (damit die Lichtmarken über größere Strecken erkennbar sind) sowie Manipulationssicherheit bzw. Unerreichbarkeit für Passanten.

Der Schwerpunkt dieses Projektes liegt bei der Entwicklung der Funkknoten, welche sich selbstständig zu einer flexiblen und selbstkonfigurierenden Funkinfrastruktur verbinden. Zudem gilt es ein extern entwickeltes Ortungssystem zu kalibrieren und in die Installation zu integrieren. Im folgenden Kapitel wird auf diese Komponenten gesondert eingegangen.

4 Komponenten

Wie in Kapitel 3 erwähnt, liegt das Hauptaugenmerk auf der Integration der Ortung und der verteilten Funkinfrastruktur. Natürlich spielen weitere Komponenten eine Rolle, um ein prototypisches Szenario darzustellen. Einen Überblick gibt Abbildung 1. Zum einen wird es erforderlich

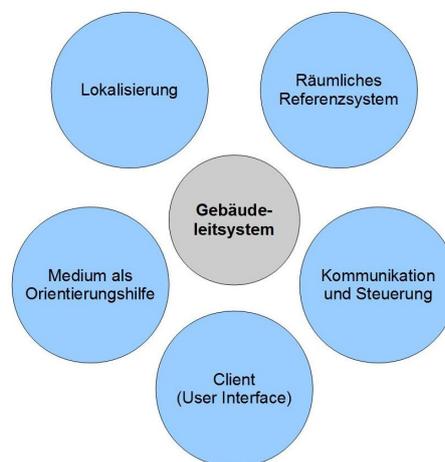


Abbildung 1: Komponenten

sein, das Ziel der Navigation festzulegen. Diese Benutzereingaben können über einen Client

eingegeben werden. Mögliche Realisierungen wären eine entsprechende Client-Software auf dem Smartphone oder ein Touchscreen im Eingangsbereich bzw. bei den Fahrstühlen. Zum anderen muss auf Basis des Gebäudemodells eine Route zwischen Start und Ziel berechnet werden. Hierfür gibt es gängige Algorithmen wie z. B. A* (20) oder Dijkstra (22). Der Client und Routing-Algorithmus liegen jedoch nicht im Fokus der Arbeit und werden lediglich als Proof-of-Concept umgesetzt. Nachfolgend werden die restlichen Komponenten näher betrachtet, welche eine Rolle für die landmarkenbasierte Navigation spielen.

4.1 Medium als Orientierungshilfe

Wie bereits oben schon erläutert, bietet es sich an, aufgrund der natürlichen Raumkognition des Menschen, für die Wegweisung künstliche Landmarken zu benutzen. Im Speziellen sollen für dieses Projekt farbige LED-Lichtleisten als Orientierungshilfe verbaut werden. Die kompakte Bauform bietet Vorteile bei der Installation und ist auch aus größerer Entfernung zu erkennen. Ein günstiger Anschaffungspreis lässt auch die Verwendung von größeren Stückzahlen zu, um eine nahtlose Wegführung zu gewährleisten. Zudem ist es durch farbliche Unterschiede möglich, mehrere Routen parallel darzustellen. Bei überlappenden Routenabschnitten ist eine periodisch abwechselnd angezeigte Farbe möglich.

Die Anzahl der für einen Menschen eindeutig unterscheidbaren Farbtöne und die Menge der gleichzeitig darstellbaren Routen gilt es im Laufe des Projektes experimentell zu bestimmen. In einem weiteren Schritt wäre es auch denkbar andere Medien für die Wegführung zu verwenden, wie z. B. Displays (vgl. GAUDI⁴(14)).

4.2 Indoor-Lokalisierung

Für die Lokalisierung bietet es sich an, ein bestehendes System zu integrieren. Der Fokus dieses Projektes liegt hauptsächlich auf der Indoor-Navigation, wobei auf die Genauigkeit der Positionsbestimmung und die Skalierbarkeit zu achten ist. Hierfür gibt es unterschiedliche Ansätze (24). Ähnlich dem GPS, basieren einige Realisierungen auf dem TDOA⁵-Prinzip. Hierbei lässt sich durch die unterschiedlichen Laufzeiten von Funksignalen auf die Position zurückschließen. Ein Beispiel hierfür wäre das Cricket-Modul (15) oder Ubisense (23), welches zur Präzisionssteigerung zusätzlich den Einfallswinkel beachtet. Nachteilig ist bei beiden, besonders bei größeren abzudeckenden Bereichen, der hohe Installationsaufwand und Anschaffungspreis.

Eine andere Lokalisierungsmethode bedient sich, wie in Kap. 2 beschrieben, der Signalstärkenmessung von Funksignalen. Neben Nokia gibt es noch andere Konzepte. Beispielsweise

⁴Grid of Autonomous Displays

⁵Time Difference of Arrival

Ekahau (5) oder RADAR von Microsoft (16), welches einer der ersten Realisierungen auf diesem Gebiet war.

Eine weitere interessante Umsetzung auf diesem Gebiet ist MagicMap (7). Dieses System wird von der Humboldt-Universität zu Berlin entwickelt. Zusätzlich zur Ortung per WLAN können andere Funkquellen integriert werden (ZigBee, Bluetooth, GPS, u.a. - siehe Abb. 2) (8). Der Vorteil in der Verwendung von MagicMap besteht darin, dass es sich um ein Open Source Projekt handelt, mehrere Schnittstellen zur Lokalisierung bietet und bereits erfolgreich an der HAW verwendet wurde. Daher fällt die Wahl auf MagicMap um die Indoor-Lokalisierung zu realisieren.

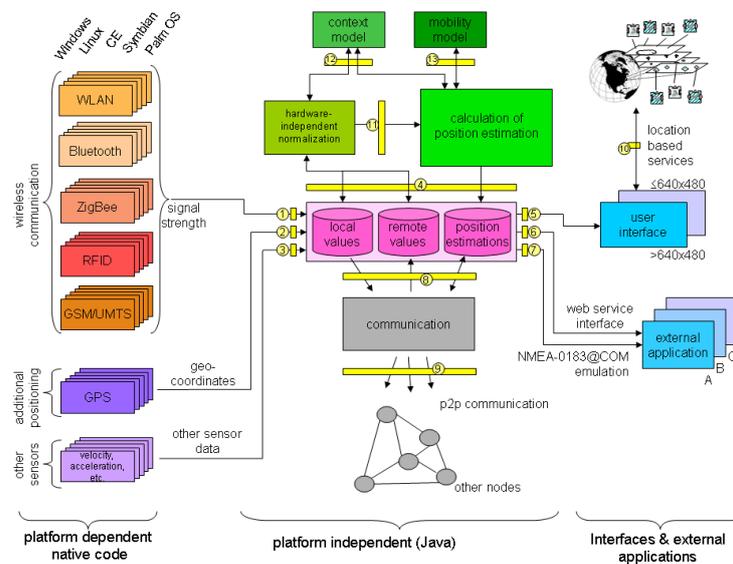


Abbildung 2: MagicMap Schnittstellen

4.3 Räumliches Referenzsystem

Die ermittelte Position der Person und auch der einzelnen Knoten mit deren Lichtleisten müssen in einen räumlichen Kontext gebracht werden. Hierfür wird ein Referenzsystem benötigt. Zwar bietet MagicMap die Möglichkeit, die geortete Person in einem 2D-Modell darzustellen, es ist jedoch nicht in der Lage zusätzliche Informationen (z. B. Lichtleisten) abzubilden. Es ist daher sinnvoll, die gesammelten Informationen standardisiert zu erfassen. In der Architektur hat sich das IFC-Modell (9) als Standard für Gebäudeausstattungen etabliert. In diesem Modell können Informationen des Gebäudes, wie z. B. der Grundriss, als auch die Position der Funkknoten abgebildet werden. Zugriff auf das IFC-Modell bietet der BiM-Server (12), welcher

Schnittstellen zwischen Modell und Anwendung zur Verfügung stellt. Für die logischen Anfragen an das Modell, muss eine Abstraktionsebene eingefügt werden. Antworten auf konkrete Fragestellungen, wie z. B. „Wo ist der nächste Funkknoten im Bezug zur Person?“ oder „Welche Route führt zum Ziel?“ müssen vom Anwender selbst implementiert werden. Das Gebäudemodell stellt hierfür die nötigen Informationen zur Verfügung, auf dessen Basis komplexere Anfragen realisiert werden können.

4.4 Kommunikation und Steuerung

Um die in 4.1 beschriebenen Lichtleisten anzusteuern, müssen die Knoten miteinander kommunizieren. Dieses Problem lässt sich in zwei Teilbereiche aufgliedern:

Infrastruktur-Ebene:

Zunächst muss eine physikalische Verbindung zwischen den Knoten sichergestellt werden. Eine Verkabelung wäre hierfür zu aufwändig und würde den Installationsaufwand unnötig erschweren. Daher soll die Kommunikation über Funk stattfinden. Ein vielversprechender Ansatz ist die Organisation der Funkknoten in einem sogenannten Mesh-Netzwerk.

Hierbei ist es nicht nötig, dass der Zielknoten direkt in Funkreichweite des Auftraggebers ist, da das Signal über dazwischenliegende Funkknoten automatisch weitergeleitet wird. Ein weiterer Vorteil liegt in der selbstständigen Organisation und damit Flexibilität in der Installation der Knoten. Für den Embedded-Bereich existieren sogenannte Xbee-Module (4). Diese bieten von sich aus bereits eine eigenständige Organisation in Mesh-Netzwerkstrukturen, welches einen Vorteil hinsichtlich des Entwicklungsaufwandes für einen Prototypen darstellt. Für diese Module gibt es unterschiedliche Protokolle.

Einerseits gibt es den offenen Standard ZigBee (25). Hierbei ist ein sogenannter „Coordinator“ für die Organisation des Netzwerkes zuständig (Abb. 3). Dieser muss ständig verfügbar sein und stellt somit einen „Single Point of Failure“ dar. Weiterhin gibt es „Router“, die für die Weiterleitung innerhalb des Netzwerkes zuständig sind und „End Devices“ welche nur für den Empfang von Daten verwendet werden. Diese können durch ihren geringeren Stromverbrauch batteriebetrieben sein.

Andererseits gibt es das proprietäre Protokoll DigiMesh (3). Hierbei sind alle Knoten gleichwertig. D. h. es gibt nur einen Knotentyp (Abb. 4). Der Vorteil hierbei ist eine einfachere Konfiguration des Netzwerkes und die Möglichkeit, jedes Modul in einen Stromsparmmodus zu versetzen (2). Als nachteilig ist die eingeschränkte Plattformverfügbarkeit anzusehen.

Es gilt daher im Laufe des Projektes zu klären, welches Protokoll für das vorliegende Szenario besser geeignet ist. Hiefür werden jeweils prototypische Funknetzwerke aufgebaut und deren Leistungsfähigkeit und zeitliches Verhalten getestet.

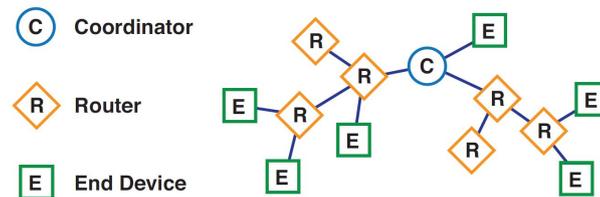


Abbildung 3: ZigBee Knoten

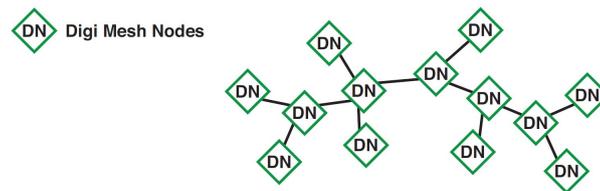


Abbildung 4: DigiMesh Knoten

Logische Ebene:

Um die Routeninformationen auf die Licht-Installation im Gebäude abbilden zu können, müssen die Steuersignale an die jeweilig richtigen Knoten gesendet werden. Durch die Verortung der Knoten im Gebäudemodell und der im selben Modell gebildeten Route kann festgestellt werden, welcher davon auf dieser Route liegt. Mit einer eindeutigen Adressierung können somit die Lichtleisten entsprechend angesteuert werden. Hierfür ist ein Protokoll zu entwickeln, welches es ermöglicht, eine bestimmte Lichtfarbe an einer definierten Lichtleiste anzusteuern. Im Hinblick auf eine mögliche Erweiterung über die Lichtleisten-Wegweisung hinaus, können noch zusätzliche Nutzdaten in dem Protokoll vorgesehen werden.

5 Risiken

Dieses Projekt baut teilweise auf bestehenden Systemen auf und ist somit von deren Funktionsumfang abhängig. Nachfolgend werden diese Abhängigkeiten dargestellt, und deren Auswirkung auf das Projekt betrachtet.

5.1 Software-Abhängigkeiten

Zunächst sollen die Software-Abhängigkeiten des Projekts erläutert werden. Dies betrifft die Positionsbestimmung durch MagicMap, die Verknüpfung mit dem Gebäudemodell und dem Protokoll der ZigBee-Module.

MagicMap

Es ist geplant, dass MagicMap die räumliche Verortung von Personen übernehmen soll. Das Programm befindet sich noch in der Entwicklung und wird von Zeit zu Zeit um neue Funktionalität erweitert. Wann diese stattfinden und ob die bestehenden Probleme damit gelöst werden, kann nicht vorhergesagt werden. Im Moment fehlt noch die Selektion von festen Referenz-Access Points, um einen Drift der Position bei wechselnder Infrastruktur zu vermeiden. Weiterhin ist das System auf ein 2D-Modell beschränkt und lässt keinen einfachen Kontextwechsel (zwischen Stockwerken) zu. Zusätzlich ist es momentan nicht möglich, wie in 4.3 beschrieben, zusätzliche Informationen abzubilden. Es gilt also zu klären, in welchem Umfang diese Hindernisse seitens der Entwickler gelöst werden, oder ob es notwendig wird, selber Eingriffe an dem Source Code vorzunehmen.

BiMServer

Um Zugriff auf das Gebäudemodell zu erhalten, soll der BiMServer verwendet werden. Dieser befindet sich momentan noch in der Entwicklung. Zur Zeit können keine logischen Anfragen gestellt werden. Der Server ist nur ein Contentprovider für das IFC-Modell. Inwieweit und in welchem Umfang weitere Funktionalität in den Server implementiert wird, ist noch ungeklärt. Sollte z. B. eine einfache Schnittstelle zur Extraktion von Entfernungen zwischen Objekten nicht möglich sein, so müsste diese selber umgesetzt werden. Dies würde dementsprechend zu einem Mehraufwand in der Entwicklung führen.

ZigBee Protokoll

Unabhängig von dem, nach der Testphase, gewählten Protokoll für die ZigBee Module (vgl. 4.4) kann es zu Problemen im Mesh-Netzwerk kommen. Da es sich um ein dynamisch gebildetes Netz handelt, bei dem viele Hardwarekomponenten beteiligt sind, ist es dementsprechend schwierig den Fehler zu identifizieren und zu lokalisieren. Hilfreich für die Fehleranalyse könnte ein Sniffer sein, welcher die gesendeten Pakete protokolliert und eine topologische Karte der Knotenverbindungen darstellt.

5.2 Hardware-Abhängigkeiten

Das Projekt soll zunächst prototypisch auf Arduino-Boards realisiert werden. Diese bieten durch ihre einfache Programmiersprache einen schnellen Einstieg. Fertige Aufsteckmodule, sogenannte „Shields“ ermöglichen die flexible Erweiterung um zusätzliche Funktionalität (WLAN, ZigBee, usw.). Dies birgt aber zugleich das Risiko, dass sich mehrere, zeitgleich benötigte Module nicht kombiniert verwenden lassen. Sollte dieses Problem auftreten, müsste man entweder, jeweils ein Modul zur Zeit für den Prototyp testen oder vorzeitig, wie im nächsten Kapitel beschrieben, ein eigenes Platinenlayout nötig machen.

Ungewiss ist im Moment, ob es ohne Weiteres möglich ist, die WLAN-Signalstärkenmessung auf Mikrocontroller-Ebene zu realisieren, um die Funkknoten selbstständig im Raum verorten zu können. Diese Probleme können zu einem erheblichen zeitlichen Verzug führen und könnten unter Umständen einen Wechsel der Hardware-Komponenten erforderlich machen.

6 Ausblick

In folgendem Kapitel geht es darum, die weitere Vorgehensweise für das Projekt zu erläutern. Für die kommenden Semester, hin zur Master-Arbeit, müssen folgende Schritte realisiert werden.

In AW2 wird die Recherche bezüglich vergleichbarer Arbeiten ausgeweitet und eine Vertiefung in das Themengebiet stattfinden, z. B. in die unterschiedlichen Protokolle für ZigBee.

In Projekt 1 wird zunächst ein Prototyp auf Arduino-Basis entwickelt, der möglichst alle Abhängigkeiten zusammenführt. Die benötigten Komponenten für ein lichtunterstütztes Leitsystem werden sukzessiv umgesetzt. Anfängliche Tests werden sich mit der Signalstärke- und Performance-Messung des Mesh-Netzwerkes beschäftigen, welches die Funkinfrastruktur für die Datenkommunikation zwischen den einzelnen Knoten sicherstellt. Anschließend wird das Protokoll für die Lichtsteuerung entwickelt. Parallel dazu müssen die zu bedienenden Schnittstellen des BIM-Servers und von MagicMap analysiert und integriert werden. Für die Ortung durch MagicMap ist es zudem nötig eine Karte einzumessen, in welcher die Referenzsignalstärken bestimmt werden. Ziel des nächsten Semesters ist somit ein selbstorganisierendes Funknetzwerk, welches Nutzdaten an einzelne Knoten transportiert. Zudem soll eine Lokalisierung eines Smartphones durch MagicMap möglich sein. Hierfür ist das Einarbeiten in die zur Verfügung stehende Software notwendig.

Das dritte Semester wird sich mit der Entwicklung eines eigenen Platinenlayouts beschäftigen. Anschließend sollen alle Komponenten zusammengefügt werden, so dass es möglich ist, dass sich die Funkknoten selbstständig zu eine Netzwerk zusammenschließen und eventuell selber verorten. Eine exemplarische Testinstallation im TI-Gebäude soll die Funktionsweise des Projektes veranschaulichen, indem eine Person anhand von farbigen LEDs durch das Gebäude geleitet wird.

Literatur

- [1] BEEHAREE, Ashweeni K. ; STEED, Anthony: A natural wayfinding exploiting photos in pedestrian navigation systems. In: *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (MobileHCI '06), S. 81–88. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/1152215.1152233>. – ISBN 1-59593-390-5
- [2] DIGI INTERNATIONAL INC.: *Wireless Mesh Networking ZigBee vs. DigiMesh*. Webseite. 2008. – URL http://www.digi.com/pdf/wp_zigbeevsdigimesh.pdf. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [3] DIGI INTERNATIONAL INC.: *The DigiMesh Networking Protocol*. Webseite. 2010. – URL <http://www.digi.com/technology/digimesh/>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [4] DIGI INTERNATIONAL INC.: *XBee® & XBee-PRO® 802.15.4 OEM RF Modules*. Webseite. 2010. – URL <http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp#overview>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [5] EKAHAU: *Ekahau Real-Time Location System (RTLS) Overview*. Webseite. – URL <http://www.ekahau.com/products/real-time-location-system/overview.html>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [6] HILE, Harlan ; VEDANTHAM, Ramakrishna ; CUELLAR, Gregory ; LIU, Alan ; GELFAND, Natasha ; GRZESZCZUK, Radek ; BORRIELLO, Gaetano: Landmark-based pedestrian navigation from collections of geotagged photos. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. New York, NY, USA : ACM, 2008 (MUM '08), S. 145–152. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/1543137.1543167>. – ISBN 978-1-60558-192-7
- [7] HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN: *MagicMap*. Webseite. – URL <http://www.magicmap.de>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [8] HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN: *MagicMap im Vergleich zu anderen Systemen*. Webseite. – URL http://www2.informatik.hu-berlin.de/rok/MagicMap/MagicMap_details.html. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [9] IFCWIKI.ORG: *IFC - Industry Foundation Classes*. Webseite. – URL http://www.ifcwiki.org/index.php/Main_Page

- [10] JENSEN, B. ; KRUSE, R. ; WENDHOLT, B.: Application of indoor navigation technologies under practical conditions. In: *Positioning, Navigation and Communication, 2009. WPNC 2009. 6th Workshop on*, 2009, S. 267 –273
- [11] KALLIOLA, Kimmo: *Bringing Navigation Indoors*. September 2008. – URL http://www.nokia.com/NOKIA_COM_1/Press/Press_Events/The_Way_We_Live_Next_2008/presentations/TWVLN08_Kimmo_Kalliola.pdf. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [12] KARSTAEDT, Bastian ; WENDHOLT, Birgit: *Anwendungen des IFC Produktdatenmodells in intelligenten Wohnungen*. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/papers/FBI2010.pdf>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [13] KOGAN, Borys: *Indoor Navigationssystem mit dynamischer Beschilderung - Entwicklung und Simulation in einer virtuellen 3D-Umgebung*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg, Diplomarbeit, 2009. – URL http://opus.haw-hamburg.de/volltexte/2009/755/pdf/masterarbeit_kogan.pdf. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [14] KRAY, Christian ; KORTUEM, Gerd ; KRÜGER, Antonio: Adaptive navigation support with public displays. In: *Proceedings of the 10th international conference on Intelligent user interfaces*. New York, NY, USA : ACM, 2005 (IUI '05), S. 326–328. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/1040830.1040916>. – ISBN 1-58113-894-6
- [15] M. I. T. COMPUTER SCIENCE AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE LABORATORY: *The Cricket Indoor Location System*. Webseite. 2006. – URL <http://cricket.csail.mit.edu/#technology>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [16] MICROSOFT RESEARCH: *RADAR*. Webseite. – URL <http://research.microsoft.com/en-us/projects/radar/>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [17] MILLONIG, Alexandra ; SCHECHTNER, Katja: Developing Landmark-Based Pedestrian-Navigation Systems. In: *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on* 8 (2007), Nr. 1, S. 43 –49. – ISSN 1524-9050
- [18] NAPITUPULU, Jan: *Multimediale Fluggastführung*. 2007. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master06-07-aw/napitupulu/report.pdf>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [19] NOKIA CONVERSATIONS: *Nokia World 2010 - What if you could navigate also indoors?* Webseite. 2010. – URL <http://www.youtube.com/watch?v=kbGyZJFrZW0>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011

-
- [20] PATEL, Amit: *Heuristic - A**. Webseite. 2011. – URL <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/Heuristics.html#S1>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [21] RUPPEL, Peter ; GSCHWANDTNER, Florian ; SCHINDHELM, Corina K. ; LINNHOFF-POPIEN, Claudia: Indoor Navigation on Distributed Stationary Display Systems. In: *Computer Software and Applications Conference, Annual International 1* (2009), S. 37–44. – ISSN 0730-3157
- [22] TSETSOS, Vassileios ; ANAGNOSTOPOULOS, Christos ; KIKIRAS, Panayotis ; HADJIEFTHYMIADES, Stathes: Semantically enriched navigation for indoor environments. In: *Int. J. Web Grid Serv.* 2 (2006), December, S. 453–478. – URL <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1358499.1358504>. – ISSN 1741-1106
- [23] UBISENSE: *Precise real-time location*. Webseite. 2011. – URL <http://www.ubisense.net/en/products/precise-real-time-location.html>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011
- [24] VALENS, Clemens: Navigieren ohne GPS. In: *elektor* Februar (2011), S. 57–60
- [25] ZIGBEE ALLIANCE: *ZigBee Specifications*. Webseite. 2010. – URL <http://www.zigbee.org/Specifications.aspx>. – Letzter Aufruf am 27. Februar 2011