



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Sebastian Gregor

Entwicklung einer Hardwareplattform für die
Ermittlung von Positionsdaten innerhalb von
Gebäuden

Sebastian Gregor

Entwicklung einer Hardwareplattform für die
Ermittlung von Positionsdaten innerhalb von
Gebäuden

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Technische Informatik
am Studiendepartment Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. rer. nat. Gunter Klemke
Zweitgutachter : Prof. Dr. rer. nat. Kai v. Luck

Abgegeben am 28. August 2006

Sebastian Gregor

Thema der Bachelorarbeit

Entwicklung einer Hardwareplattform für die Ermittlung von Positionsdaten innerhalb von Gebäuden

Stichworte

Positionsbestimmung, Positionierung, IEEE 802.15.4, ZigBee, Ultraschall, Entfernungsmessung, Multilateration, Ambient Intelligence, Ubiquitous Computing

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Systems, um Positionsdaten innerhalb von Gebäuden zur Verfügung zu stellen. Diese Arbeit setzt sich zunächst mit den theoretischen Grundlagen auseinander, die für die Entwicklung eines indoor Positionierungssystem nötig sind. Aufgrund dieser theoretischen Grundlagen sind zwei Hardwareplattformen samt Treiber entwickelt worden. Diese Hardwareplattformen sind die Grundlage für das IMAPS, welches sowohl symbolische, als auch physikalische Positionsinformationen zur Verfügung stellt. Diese Informationsdaten können vom Benutzer über eine in dieser Arbeit entwickelten Java Schnittstelle abgerufen werden. Den Abschluss der Arbeit bilden Test, mit denen die Prototypen überprüft und die Leistungsfähigkeit analysiert wird.

Sebastian Gregor

Title of the paper

Development of a hardware platform to provide indoor positioning data

Keywords

positioning, indoor positioning system, IEEE 802.15.4, ZigBee, ultrasonic, distance measurement, ambient intelligence, ubiquitous computing, multilateration

Abstract

The objective of this thesis is the development of an indoor positioning system. First the theoretical bases for the development of an indoor positioning system are regarded. Particularly ultrasound and IEEE 802.15.4 are analyzed. With these two technologies two hardware platforms with drivers are developed. These hardware platforms are the base of the developed IMAPS. This system provide symbolic as well as physical position information. To make this information's for the user available an java interface was implemented. At the end of this work some tests demonstrate if the developed prototypes meet the requirements.

Danksagung

Hiermit möchte ich mich meinen Kommilitonen, Professoren und Freunden danken, die mich mit ihren Aufmunterungen durch mein Studium begleitet und mich Unterstützt haben. Ohne eure Hilfe wäre ich sicher an so mancher Aufgabe verzweifelt.

Ein besonderer Dank geht an:

Olaf Rempel, mit dessen Hilfe so manche Schwierigkeiten bei der Entwicklung der Treiber meistern konnte und für seine Anregungen bei so manchen kniffligen Fragen während dieser Arbeit.

Prof. Gunter Klemke und Prof. Kai v. Luck danke ich für ihre Unterstützung bei dieser Arbeit und dafür dass Ihr euch immer Zeit für einen nehmt und man jederzeit mit Problemen zu euch kommen kann.

Burghard Hübner danke ich für seinen Unterstützung bei der Entwicklung der Hardware. Seine Art, die Dinge immer aus einem etwas anderen Blickwinkel zu betrachten, zeigen einem oft Alternativen auf, auf die man so vorher gar nicht gekommen wäre.

Den Mitarbeitern des Computer Technik Labors der HAW Hamburg möchte ich dafür danken, dass ich jederzeit zu Ihnen kommen konnte, wenn ich etwas brauchte und immer sofort Hilfe gefunden habe.

Ein weiterer Dank geht an alle, die sich die Mühe gemacht haben diese Arbeit Korrektur zu lesen und durch Ihren Input und Anmerkungen einen großen Teil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zum Schluss geht ein ganz besonders großes Dankeschön an meine Familie und insbesondere an meine Eltern. Ohne eure Unterstützung hätte ich so nicht studieren können. Danke euch für alles!

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	8
Abbildungsverzeichnis	9
1 Einführung	11
1.1 Motivation	11
1.2 Gliederung	12
2 Begriffe und Techniken	14
2.1 Position	14
2.1.1 Physikalische Position versus symbolische Position	14
2.1.2 Absolute Position versus relative Position	14
2.2 Techniken zur Positionsbestimmung	15
2.2.1 Multilateration	16
2.2.2 Angulation	17
2.2.3 Szenenanalyse	18
2.2.4 Nachbarschaftsanalyse	19
2.3 Gebräuchliche Verfahren zur Positionsbestimmung	19
2.3.1 Eine Quelle und mehrere synchronisierte Empfänger	19
2.3.2 Eine Quelle mit mehreren synchronisierten Signalen und mehreren Empfängern	19
2.3.3 Mehrere Quellen mit mehreren synchronisierten Signalen und ein Empfänger	20
2.3.4 Mehrere synchronisierte Sender und ein Empfänger	20
2.4 Zentrale versus lokale Positionsermittlung	20
3 Verwandte Arbeiten	22
3.1 GPS	22
3.2 Active Badge	23
3.3 BAT	24
3.4 RADAR	25
3.5 PinPoint	25
3.6 HiBall Tracker	26

3.7	Cricket	27
3.8	Cricket Compass	28
4	IMAPS - Konzeption	30
4.1	Designkriterien	30
4.1.1	Privatsphäre	30
4.1.2	Langlebigkeit	31
4.1.3	Skalierbarkeit	31
4.1.4	Geringer Installations- und Verwaltungsaufwand	31
4.1.5	Physikalische und symbolische Positionierung	31
4.2	System Architektur	32
4.3	Verwendete Signale und Techniken	33
4.3.1	Mathematische Grundlagen	33
4.3.2	IEEE 802.15.4	35
4.3.3	Ultraschall	37
4.4	Mögliche Fehlerquellen bei der Positionsbestimmung	39
4.4.1	Funk	39
4.4.2	Ultraschall	40
4.4.3	Einsatz mehrerer Beacons	41
4.5	Platzierung der Beacons	42
5	IMAPS - Realisierung	45
5.1	Vorbetrachtungen	45
5.2	Hardware	46
5.2.1	Verwendete Komponenten	46
5.2.2	Layout	50
5.3	Software	53
5.3.1	IMAPS - Paket Format	54
5.3.2	Beacon	55
5.3.3	Listener	56
5.3.4	Java - Schnittstelle	57
6	Ergebnisse der Entwicklung	61
6.1	Genauigkeit bei der Entfernungsmessung	61
6.2	Test der Treiber	63
6.3	Winkelabhängigkeit	65
6.4	Schnittstelle	67
7	Zusammenfassung	68
7.1	Resümee	68
7.2	Verbesserungsvorschläge und Zukunftsaussichten	69

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	7
---------------------------	---

Literaturverzeichnis	71
-----------------------------	-----------

A Schematische Layouts	75
-------------------------------	-----------

Tabellenverzeichnis

4.1	Ultraschallgeschwindigkeit	38
6.1	Signalverteilung 4 Beacons	64

Abbildungsverzeichnis

2.1	Multilateration	15
2.2	Angulation	18
3.1	Active Badge - unten links: erste Generation - unten rechtes: zweite Generation - oben links: dritte Generation - oben rechts: vierte Generation	23
3.2	HiBall	26
3.3	Cricket Hardware Einheit	27
3.4	Cricket Compass	29
4.1	Position von IMAPS Beacons an der Decke	33
4.2	LR-WPAN Protokoll Architekture	36
4.3	IEEE 802.15.4 Paketaufbau	37
4.4	Aufbau eines Ultraschallkegels	38
4.5	Winkel zwischen Listener und Beacon	40
4.6	Einsatz mehrerer Beacons	42
4.7	Platzierung mehrerer Beacons	43
5.1	Blockschaltbild	45
5.2	Kontroller AT90CAN128 der Firma Atmel	46
5.3	Pinbelegung ISP Stecker	47
5.4	Schematik des Kabels für die serielle Verbindung	48
5.5	EasyBee Modul der Firma Flexipanel	48
5.6	CC2420 Chip der Firma Chipcon	49
5.7	Schematik des EasyBee Modul der Firma Flexipanel	49
5.8	Murata Ultraschallmodule	50
5.9	Schematisches Layout - Ultraschallempfangsmodul	51
5.10	PCB Layout - Ultraschallempfangs- und Ultraschallsendemodul	52
5.11	PCB Layout - Hauptmodul	53
5.12	IMAPS Funkprotokoll	54
5.13	IMAPS Protokoll	55
5.14	Flussdiagramm Beacon	56
5.15	Flussdiagramm Listener	57
5.16	Aufbau Schnittstelle	58

5.17 Algorithmus zur Berechnung physikalischer Positionsdaten	59
6.1 Hauptplatine mit verbundenem Ultraschallsendemodul und Ultraschallempfangsmodul	61
6.2 Genauigkeit bei der Entfernungsmessung	62
6.3 Aufbau Testbetrieb	63
6.4 Winkeltest	65
6.5 Ergebnisse Winkeltest	66
A.1 Schematische Darstellung: Hauptplatine - CAN Schnittstelle	75
A.2 Schematische Darstellung: Hauptplatine - Stromversorgung	76
A.3 Schematische Darstellung: Hauptplatine - serielle Schnittstelle	76
A.4 Schematische Darstellung: Hauptplatine	77
A.5 Schematische Darstellung: Sendeplatine	78
A.6 Schematische Darstellung: Empfangsplatine	79

1 Einführung

1.1 Motivation

Ein Geschäftsmann, nennen wir ihn Max Mustermann, steigt auf dem Flughafen in London Heathrow aus dem Flugzeug. Die Maschine hat Verspätung und sein Anschlussflug geht in einer halben Stunde. Doch wohin? Sein PDA gibt den ersten Warnton von sich. Hastig schaut er auf seinen PDA und ruft seinen Flugplan auf. Der Anschluss geht von Gate 3. Aber wie dorthin kommen? Gerade als er sich wieder hilflos umsieht, piept sein PDA schon wieder. Auf dem Display erscheint: „Willkommen in London Heathrow, möchten sie den Airport Guide in Anspruch nehmen?“ Guide, das hört sich gut an! Eilig drückt Max Mustermann auf die Bestätigungstaste. Nach einem kurzen Download sieht er seine Position auf einer Karte des Flughafens. Eine nette Stimme klingt aus seinem PDA: „Bitte nennen Sie mir ihren Zielort!“ Erleichtert erwidert Max Mustermann: „Gate 3!“. Auf seinem Display erscheint ein Pfeil nach rechts und die freundliche Stimme erwidert: „Herr Mustermann, bitte gehen Sie jetzt nach rechts und dann 100 Meter gerade aus, bis sie vor einer Rolltreppe stehen. Auf ihrem Weg dorthin schauen Sie doch mal am Zeitungsstand auf der rechten Seite vorbei, es gibt Neuigkeiten über 'Tiefflug des Dollar', das könnte sie interessieren.“

Eine Situation die viele, so oder so ähnlich, schon erlebt haben. Man befindet sich in einer fremden Umgebung und muss schnell einen Weg zu einem bestimmten Ziel finden. Die oben genannten Technologien, sei es Spracherkennung, PDAs und WLAN sind heute recht weit verbreitet und stehen der Masse von Anwendern jederzeit zur Verfügung. Eine Technologie, die doch die eigentliche Grundlage für einen Dienst, wie den oben beschriebenen, darstellt, ist bisher nur in Laboren oder Entwicklungszentren, bestenfalls in Musterinstallationen zu finden. Gemeint ist die genaue Positionsermittlung innerhalb eines Gebäudes. Was heute außerhalb von Gebäuden, dank des Global Positioning Systems, als selbstverständlich gilt und für jeden benutzbar ist, stellt innerhalb von Gebäuden immer noch ein Problem dar.

Doch gerade auf diesem Gebiet wird es in Zukunft einen großen Bedarf geben. Die Technologie in der Informationsverarbeitung und die Leistungsfähigkeit hat gerade in den letzten 10 Jahren eine rasante Entwicklung genommen. Die Prozessoren und Computer

sind nicht nur leistungsfähiger, sondern im selben Maße auch kleiner und stromsparender geworden. Dies führt dazu, dass immer mehr kleine Computer, eingebettet in der Umgebung einer Person, vernetzt Aufgaben für diese Person erledigen. Für diese Form des Einsatzes von Computern wurde der Begriff Ambient Intelligence¹ geprägt.

Ambient Intelligence hat im Zusammenspiel mit einer exakten Positionsermittlung das Potential als Grundlage für viele neue Anwendungen und Dienste zu fungieren. Eine Anwendung wie z. B. „Google Maps“ (18), erlaubt es nach der Eingabe einer Position nach Diensten oder Orten, wie z. B. den nächsten Supermarkt oder die nächste Apotheke, zu suchen. Dazu muss man nichts weiter tun, als diesen Dienst angeben und Google Maps zeigt alle Treffer, die zum gesuchten Ort oder Dienst passen, in einer Karte an. Diese Anwendung ermöglicht es Benutzern Dienste im Kontext zu ihrer Position zu suchen und anzeigen zu lassen.

Im Moment muss man bei Google Maps seine Position noch manuell eingeben aber es ist nur ein kleiner Schritt einen solchen Dienst an ein GPS Empfänger zu koppeln. Damit wäre es dann möglich, dass z. B. ein Auto seinem Fahrer im Navigationssystem die nächsten Tankstellen anzeigt, wenn die Tankanzeige einen gewissen Wert unterschreitet.

Dienste dieser Art sind auch innerhalb von großen Gebäuden interessant und lassen sich mit einer Technik für eine exakte Positionsbestimmung verwirklichen. Der oben beschriebene Flughafen Guide, ein Museumsführer, ein Hilfssystem zum Führen von blinden Menschen in Gebäuden oder eine automatische Patientenverwaltung in Krankenhäusern sind nur eine kleine Auswahl von Anwendungsmöglichkeiten, wenn genaue Positionsinformationen zur Verfügung stehen.

Es gibt diverse Ansätze und Arbeiten, die sich mit dem Thema der Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden auseinandersetzen. Die bestehenden Systeme sind entweder genau in der Positionsbestimmung, dafür aber sehr teuer oder ungenau in der Positionsbestimmung, dafür aber erschwinglich. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Systems, dessen Kosten sich im überschaubaren Rahmen halten. Gleichzeitig soll das System eine möglichst exakte Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden ermöglichen und damit Dienste, die im Kontext zur Position des Benutzers stehen, realisierbar machen.

1.2 Gliederung

Diese Arbeit gliedert sich in vier Abschnitte. Der erste Abschnitt umfasst das zweite und dritte Kapitel und ist als Einführung gedacht. In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Begriffe und Techniken, welche in Positionierungssystemen gängig sind, erläutert und ein kurzer Überblick über verschiedene indoor Positionierungssysteme gegeben. Der zweite

¹ Ambient Intelligence ist die Europäische Antwort auf Ubiquitous Computing

Abschnitt beinhaltet das vierte Kapitel dieser Arbeit. In diesem Abschnitt wird das grundlegende Design des im Zuge dieser Arbeit entwickelten „indoor distance measurement and positioning system“ (kurz IMAPS) vorgestellt.

Im dritten Abschnitt, welcher sich über das fünfte Kapitel erstreckt, wird die Erstellung des konkreten Systems beschrieben und auf bestimmte Vorgehensweisen genauer eingegangen. Der letzte Abschnitt der Arbeit umfasst die letzten beiden Kapitel. Hier werden die im Laufe der Arbeit durchgeführten Tests beschrieben und ein abschließendes Resümee gezogen.

2 Begriffe und Techniken

2.1 Position

Wenn man über die verschiedenen Möglichkeiten und Wege zur exakten Bestimmung einer Position nachdenkt, muss man sich vor Augen führen, welche Arten von Positionen es gibt. Im folgenden Kapitel werden Begriffe erläutert, die beschreiben, welche Arten der Positionsbestimmung es gibt und wie sie sich voneinander abgrenzen.

2.1.1 Physikalische Position versus symbolische Position

Unter einer physikalischen Positionsangabe versteht man die Angabe einer Position in einem Raster oder Koordinatensystem, wie z.B. dem Gradnetz der Erde mit Längen und Breitengraden. Die Stadt Hamburg hat im Gradnetz der Erde die physikalische Position $9^{\circ}59'$ Ost und $53^{\circ}33'$ Nord.

Im Gegensatz zur physikalischen Positionsangabe wird bei der symbolischen Positionsangabe kein Raster benutzt, um die Position eines Objektes oder einer Person anzugeben, sondern allgemein bekannte Orte. Das sind Angaben darüber, wo sich der gesuchte Gegenstand oder die gesuchte Person befindet sich z. B.: in der Küche, in der Nähe des Druckers im elften Stock oder im Auto auf der Autobahn Richtung Berlin. Symbolische Angaben sind weniger präzise als physikalische Positionsangaben. Dennoch sind sie vom Menschen leichter erfassbar und werden auf Anhieb verstanden. So kann man ohne eine Karte oder Atlas vor sich zu haben mit der Positionsangabe: „Ich befinde mich in $9^{\circ}59'$ Ost und $53^{\circ}33'$ Nord.“ wenig anfangen. „Ich befinde mich in Hamburg.“ ist weit weniger präzise, aber dennoch für die meisten Gegebenheiten ausreichend.

2.1.2 Absolute Position versus relative Position

Bei einer absoluten Position handelt es sich um eine Position, die auf der Basis eines, für alle lokalisierten Objekte oder Personen gleichen Referenzrasters ermittelt wurde. Bei einem Lokalisierungssystem, welches absolute Positionen ermittelt, werden 2 Empfänger, die an der selben Position platziert werden, auch äquivalente Positionsangaben liefern. Bei einer

relativen Positionsangabe handelt es sich um eine Positionsangabe, bei der es für jedes zu lokalisierende Objekt einen eigenen relativen Bezugspunkt gibt. Eine absolute Position kann in eine relative Position überführt werden, wenn ein zweiter absoluter Punkt verfügbar ist. Andersherum ist eine relative Position nur in eine absolute Position überführbar, wenn die absoluten Positionswerte, der Referenzpunkte für die relative Position, bekannt ist. Mit drei relativen Entfernungen eines Messpunktes zu 3 Bezugspunkten, deren absolute Position bekannt ist, kann z. B. durch Multilateration die absolute Position des Messpunktes ermittelt werden. Gleichzeitig ist diese Position aber auch seine relative Position in Bezug zu den 3 Bezugspunkten.

2.2 Techniken zur Positionsbestimmung

In diesem Teilkapitel wird auf die gängigsten Techniken zur Positionsbestimmung eingegangen. Dabei werden mit der Multilateration und der Angulation eher mathematische und mit der Szenenanalyse und Nachbarschaftsanalyse eher intuitive Ansätze betrachtet.

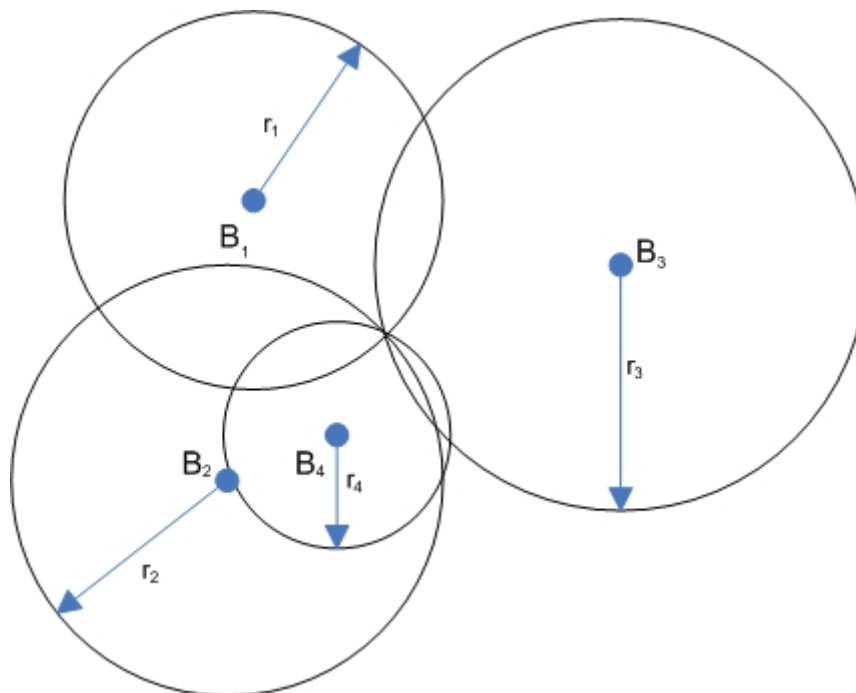


Abbildung 2.1: Multilateration

2.2.1 Multilateration

Bei der Multilateration handelt es sich um ein mathematisches Verfahren. Bei diesem Verfahren kann ein Klient mit gemessenen Entfernungen zu absoluten Bezugspunkten seine absoluten Positionsdaten errechnen. Nehmen wir an, es sind 4 absolute Bezugspunkte mit den Koordinaten (x_i, y_i, z_i) gegeben. Weiterhin sei r_i der Abstand vom Klienten mit den Koordinaten (x, y, z) zu den Referenzpunkten, t_i die Laufzeit des Signals und v_s sei die Geschwindigkeit des Signals mit dem die Messung vorgenommen wurde. So ergeben sich daraus die Gleichungen:

$$r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad i = 1..4 \quad (2.1)$$

$$r_i = t_i * v_s \quad (2.2)$$

Aus den beiden Gleichungen und den 4 Messungen ergibt sich ein Gleichungssystem. Dieses Gleichungssystem beinhaltet 4 Gleichungen und 3 Unbekannte und lässt sich somit eindeutig lösen.

Bildlich veranschaulichen lässt sich diese Technik, indem der Abstand r_i als Radius einer Kugel um den jeweiligen Bezugspunkt ansieht.

Die gesuchte Position befindet sich dann an dem Schnittpunkt der 4 Kugeln. In [Abbildung 2.1](#) wurden die Radien dieser Kugeln auf eine Ebene projiziert, um das Verfahren besser veranschaulichen zu können. Im [Kapitel 4.3.1](#) wird später noch genauer auf dieses Verfahren eingegangen.

Wie aus den oberen Gleichungen ersichtbar ist, ist die Messung des Abstandes von dem Sender zum Empfänger für Multilateration essentiell. Es gibt 4 gängige Methoden, um diesen Abstand zu berechnen.

- Signallaufzeit (engl. time - of - flight):
Bei der Signallaufzeit (ToF) wird die Laufzeit eines Signals mit bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit gemessen. Durch die Multiplikation der gemessenen Zeit mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit kann die Entfernung zwischen Sender und Empfänger berechnet werden. Dieses Verfahren funktioniert jedoch nur, wenn der Empfänger die genaue Zeit kennt, zu der der Sender das Signal gesendet hat. Aus diesem Grund müssen sowohl Sender als auch Empfänger über synchronisierte Uhren verfügen. Da diese Uhren aber im seltensten Fall zur Verfügung stehen und auch einen Kostenfaktor darstellen, wird dieses Verfahren bei bereits entwickelten indoor Positionierungssystemen kaum eingesetzt.

- Rundenzeit (engl. round - trip - time) :
Die Rundenzeit (RTT) bedient sich der bekannten Laufzeit eines ausgesendeten Signals zur Positionsbestimmung. Dabei sendet ein Transceiver ein Signal aus. Dieses wird von einem an dem Klienten befestigten Element (eventuell nach einer bekannten Wartezeit) wieder an den Transceiver zurück gesendet. Der Transceiver misst die vergangene Zeit vom Senden des Signals bis zum Empfangen des Echos. Nachdem der Transceiver die optional vom Klient angefügte Wartezeit abgezogen hat, teilt er die gemessene Zeit durch zwei. Aus dem errechneten Wert kann unter Benutzung der Ausbreitungsgeschwindigkeit auf die Entfernung geschlossen werden.
- Laufzeitunterschied (engl. time - difference - of - arrival):
Mit Laufzeitunterschied (TDoA) ist ein Verfahren gemeint, bei dem die Entfernung zwischen Sender und Empfänger mit Hilfe zweier Signale ermittelt wird. Alternativ kann dies auch mit Hilfe eines Senders, welcher ein Signal aussendet und zweier synchronisierter Empfänger geschehen. Beide Verfahren sind in indoor Positionierungssystemen gebräuchlich. Das erstgenannte Verfahren wird später im Abschnitt [2.3.2](#) und das zweite Verfahren in Abschnitt [2.3.1](#) genauer erläutert.
- Signalstärke:
Um mit diesem Verfahren eine Entfernung berechnen zu können, werden vor allem präzise Daten über das Verlustverhalten des eingesetzten Signals gebraucht. Durch einen Vergleich der gemessenen Signalstärke mit solchen Daten lässt sich die Entfernung des Empfängers zum Sender abschätzen. Während es für outdoor Positionierungssysteme anwendbare mathematische Formeln zum Abschätzen einer Entfernung anhand der Signalstärke gibt, gestaltet sich diese Methode bei indoor Positionierungssystemen wesentlich schwieriger. Grund dafür ist vor allem das schlechte Ausbreitungsverhalten vieler Signale in Gebäuden. Neben der Abschwächung des Signals durch Wände, Mobiliar und Personenverkehr beeinflussen vor allem auch die Reflexionen eines Signals innerhalb von Gebäuden die Stärke des Signals. Anhand dieser Faktoren und durch die Schwierigkeit präzise Daten über das Verlustverhalten eines Signals zu ermitteln, ist diese Methode die unpräziseste der vorgestellten Methoden.

2.2.2 Angulation

Bei der Angulation werden Positionsdaten durch die Ermittlung von Winkeln, zwischen Referenzpunkten und einem Vergleichsvektor, errechnet. Mit zwei gemessenen Winkeln zu zwei Referenzpunkten lässt sich in der Ebene die Position des Klienten bestimmen (Abbildung [2.2](#)). Im dreidimensionalen Raum wird zur Positionsbestimmung noch zusätzlich eine Scheitelkreis - Messung benötigt.

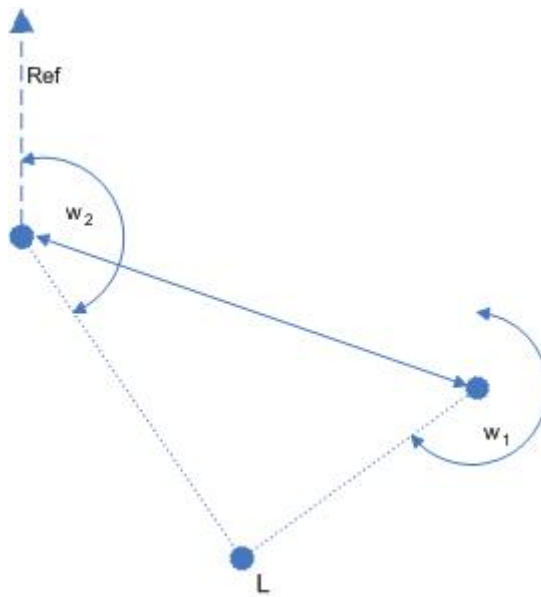


Abbildung 2.2: Angulation

2.2.3 Szenenanalyse

Die Szenenanalyse ist ein Verfahren zur Positionsbestimmung, bei dem ein Klient seine Position anhand von aktuellen Umgebungsdaten ermittelt. Diese Umgebungsdaten können durch eine Vielzahl von Sensoren und Datenquellen ermittelt werden. Am gängigsten sind jedoch die Erfassung der Signalstärke von Funksignalen, die Aufnahmen von Kameras oder die Abtastung der Umgebung per Ultraschall. Es gibt die folgenden Ansätze bei der Szenenanalyse um diese Daten dann zu verarbeiten.

Statische Szenenanalyse

Bei der statischen Szenenanalyse werden beobachtete Elemente mit bekannten Daten, die bestimmten Positionen zugeordnet werden, verglichen. Anhand dieses Vergleiches werden Rückschlüsse auf seine aktuelle Position gezogen.

Differentielle Szenenanalyse

Die differentielle Szenenanalyse benutzt im Gegensatz zu der statischen Szenenanalyse nicht einen Vergleich des eigenen Wissens mit schnappschussartig gewonnenen Daten,

sondern den Vergleich zeitlich nacheinander gewonnen Daten um Rückschlüsse auf die aktuelle Position zu ziehen. Die differentielle Szenenanalyse ist aufwendiger als die statische Szenenanalyse, kann jedoch zusätzlich Informationen über die Bewegung eines Klienten liefern, die sich aus dem Unterschied zweier aufeinander folgender Datensätzen ermitteln lassen.

2.2.4 Nachbarschaftsanalyse

Für die Lokalisierung benutzt diese Technik fest installierte Sensoren. Diese Sensoren stellen die Annäherung oder die Gegenwart eines Klienten fest. Durch die Position der Sensoren lassen sich Rückschlüsse auf die Position des Klienten ziehen. Die Art dieser Sensoren kann sehr stark variieren. Lesegeräte für Bankkarten, Accesspoints für Funknetzwerke, Überwachungskameras, Drucksensoren und RF-IDs sind nur eine kleine Auswahl von möglichen Sensoren. Der Vorteil dieser Technik ist, dass sich bereits bestehende Infrastrukturen nutzen lassen, ohne das etwas an der Hard- und Software der im Einsatz befindlichen Geräte geändert werden müsste.

2.3 Gebräuchliche Verfahren zur Positionsbestimmung

2.3.1 Eine Quelle und mehrere synchronisierte Empfänger

Bei diesem Verfahren sendet der Klient ein Broadcast. Dieses Signal wird von verschiedenen synchronisierten Empfängern, deren Position bekannt ist, empfangen. Die Empfänger tauschen nach dem Empfang des Broadcast die unterschiedlichen Empfangszeiten des Signals untereinander aus. Mit den Daten kann die Laufzeit, die das Signal zu den einzelnen Empfängern unterwegs war, ermittelt und die Positionsdaten des Klienten errechnet werden.

2.3.2 Eine Quelle mit mehreren synchronisierten Signalen und mehreren Empfängern

Zwei Signale mit unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit werden von einem Sender ausgesendet. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale ist den Empfängern bekannt. Anhand der Zeitunterschiede zwischen den eintreffenden Signale und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals mit der niedrigeren Ausbreitungsgeschwindigkeit können die Empfänger die Entfernung zum Sender errechnen. Anhand dieser Entfernungen lässt sich

die Position des Senders ermitteln. Das Signal mit der schnelleren Ausbreitungsgeschwindigkeit, wie Funk oder Licht, kann in diesem Fall vernachlässigt werden und dient nur zum Triggern der Empfänger.

2.3.3 Mehrere Quellen mit mehreren synchronisierten Signalen und ein Empfänger

Diese Technik ähnelt der vorher besprochenen Technik mit einer Quelle mit mehreren synchronisierten Signalen und mehreren Empfängern in der Ermittlung der Entfernung des Empfängers vom Sender. Das System ist jedoch umgedreht und es gibt mehrere Sender und nur einen Empfänger. Die Position der Sender ist bei diesem Verfahren bekannt und der Empfänger kann nun durch die Ermittlung der unterschiedlichen Entfernung zu den Sendern seine Position errechnen.

2.3.4 Mehrere synchronisierte Sender und ein Empfänger

Mehrere Signale werden synchronisiert von Sendern mit bekannten Positionen abgeschickt. Anhand der unterschiedlichen Ankunftszeit der Signale und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale errechnet der Empfänger die Zeit, die die einzelnen Signale unterwegs waren. Mit diesen Werten kann er seine Position bestimmen.

2.4 Zentrale versus lokale Positionsermittlung

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, sammeln alle Positionierungssysteme als erstes Sensordaten. Mit diesen Sensordaten werden dann, mit einem der in Kapitel [2.2](#) beschriebenen Verfahren, Berechnungen angestellt, um den einzelnen Systemkomponenten Positionsdaten zuweisen zu können. Diese Berechnungen können sowohl lokal vom Klienten selbst, als auch zentral von einer globalen Instanz im System für alle Klienten berechnet werden.

Die Entscheidung, wo die Berechnung durchgeführt werden soll, hat große Auswirkungen auf das Design eines Positionierungssystems. Grundsätzlich muss das Element des Positionierungssystems, welches die Berechnung zur Ermittlung der Position anstellt, mit ausreichend Sensorwerten versorgt werden. Eine sehr wichtige Entscheidung im Konzept des Lokalisierungssystems ist, wie man ausreichend Sensordaten zu dem berechnenden Element(en) bekommt. Das im Abschnitt [2.3.1](#) beschriebene Modell ist für eine lokale Positionsermittlung in der Quelle des Signals also denkbar ungeeignet, da die Sensordaten nicht

in der Quelle des Signals vorliegen. Es müsste alle Sensordaten erst wieder an die Quelle übermitteln, was wiederum mehrere Probleme, wie z. B. Übertragungszeiten und Synchronisation der Übertragung der Sensordaten, nach sich ziehen würde. Das Modell ist jedoch sehr gut für eine zentrale Positionsermittlung geeignet, da die Sensordaten aller Empfänger bekannt sein müssen um Positionsdaten der Quelle zu ermitteln. Die Sensordaten müssen also entweder zwischen den einzelnen Empfängern ausgetauscht werden, wobei ein Empfänger dann die Berechnung der Positionsdaten übernimmt oder sie werden an eine zentrale Stelle weitergeleitet, die dann die Positionsdaten ermittelt. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Komplexität des Systems, aber auch auf die Größe, den Stromverbrauch, die Signaldichte und die Erweiterbarkeit des Systems.

Bei der Entscheidung ob ein Positionierungssystem die Daten zentral oder lokal berechnet spielen die Anwendungsfälle für das Positionierungssystem eine große Rolle. „Für welche Applikationen ist das Positionierungssystem vorgesehen?“, „Wer soll die Positionsdaten erhalten können?“ und „Welche Sicherheits- und Vertrauensmechanismen sind vorgesehen?“ sind eine Auswahl aus Fragen, die die Entscheidung darüber beeinflussen, ob die Positionsdaten zentral oder lokal ermittelt werden sollen.

3 Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden bereits existierende Lösungen und Systeme für indoor als auch outdoor Positionierung vorgestellt und verglichen. Da es sich bei dieser Arbeit um die Entwicklung eines indoor Positionierungssystems handelt, werden hauptsächlich solche Positionierungssysteme beschrieben. Als einziges outdoor Positionierungssystem wird das GPS aufgrund seiner Popularität und als Vergleichssystem für die indoor Positionierungssysteme vorgestellt. Aufgrund der Vielzahl der bestehenden Systeme wurde die Auswahl so getroffen, dass ein möglichst breites Spektrum unterschiedlicher Ansätze, Verfahrensweisen und technischer Umsetzungen präsentiert wird.

3.1 GPS

Das Global Positioning System (GPS) ist wohl das bekannteste und populärste Positionierungssystem. Das GPS ermittelt Positionsdaten mit Hilfe von 24 geostationären Satelliten. Diese Satelliten senden ständig ein synchronisiertes Signal mit Daten ihrer eigenen Flugbahn (ihrer Position), ihrer Identifikation (ID) und den Zeitpunkt, an dem sie die Signale gesendet haben, aus. Mit mindestens drei Satelliten kann ein Empfangsgerät mit Hilfe der Lateration und der Laufzeit der Signale seine Position bestimmen. (Bei drei Satelliten kann dies nur geschehen, wenn sich eine der zwei Positionen, die sich aus der Berechnung ergeben, logisch ausgeschlossen werden kann.)

Das GPS ermittelt absolute physikalische Positionsdaten, welche nur dem Empfänger bekannt sind. Es benötigt also keine zentrale Datenbank, womit die Privatsphäre (nur der Empfänger kennt seine Position) des Empfängers gegeben ist. Empfänger stellen permanent ihre Positionsinformationen mit einer Genauigkeit von wenigen Metern zur Verfügung. Das System ist trotz der Kosten für die 24 geostationären Satelliten aufgrund der enormen Ausdehnung und Verbreitung als günstig einzustufen. Empfänger, die eine Genauigkeit von fünf bis zehn Meter garantieren, sind bereits ab 40 Euro käuflich zu erwerben. Hochleistungsempfänger, welche vor allem im Militärbereich eingesetzt werden, erlauben sogar eine Positionsbestimmung auf wenige Zentimeter genau.

3.2 Active Badge

Das Active Badge Location System wurde 1992 in den Olivetti Labors in Cambridge, England von (39) entwickelt. Es war das erste System um innerhalb von Räumen eine Position ermitteln zu können, das speziell für den Bereich Ubiquitous Computing entwickelt wurde. Das Active Badge Location System wurde als zentralisiertes System entwickelt, welches mit Hilfe von infrarotem Licht, Positionsdaten ermittelt. Es besteht aus aktiven Infrarotsendern, den so genannten „Badges“, fest installierten Infrarotempfängern und einem zentralen Kontroller. Die Badges werden an einer Person oder Objekt, deren Positionsdaten ermittelt werden sollen, befestigt und senden alle 10 bis 15 Sekunden eine global eindeutige Identifikationsnummer (GID). Diese wird von den Infrarotempfängern, von denen einer pro Raum installiert ist, empfangen und dann an einen zentralen Kontroller / Server weitergeleitet, wo die Positionsdaten in einer zentralen Datenbank gespeichert werden. Diese Datenbank unterstützt verschiedene Arten der Datenabfrage, wie z.B. die aktuelle Position einer bestimmten Badge oder wie viele Badges sich aktuell in einem bestimmten Raum befinden.

Da das Active Badge Location System mit Infrarot arbeitet, bilden Wände eine natürliche

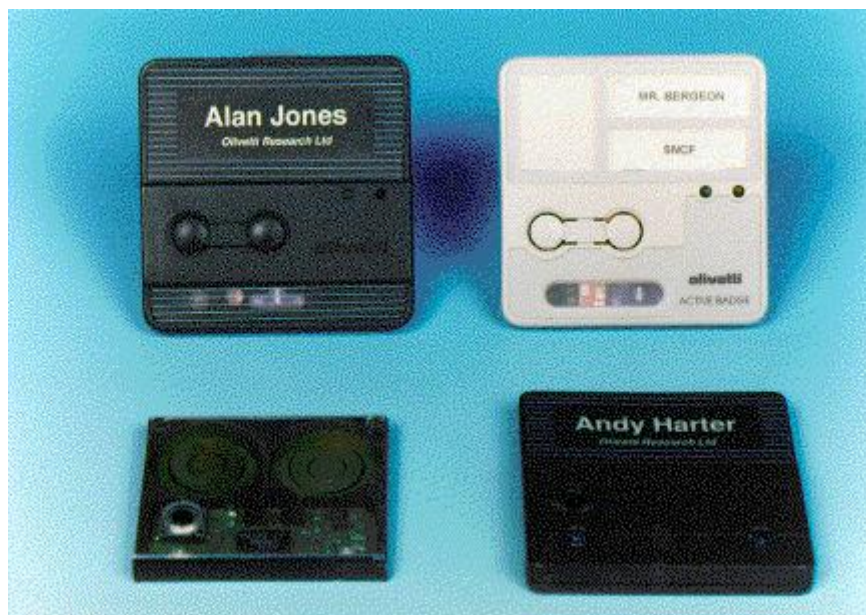


Abbildung 3.1: Active Badge - unten links: erste Generation - unten rechtes: zweite Generation - oben links: dritte Generation - oben rechts: vierte Generation

Grenze für die Sendereichweite eines Badges. Probleme ergeben sich vor allem durch „tote Punkte“ in einem Raum. Damit sind Punkte gemeint, von denen der Empfänger aufgrund von Gegebenheiten und Einflüssen seiner Umwelt keine Signale von Badges aufnehmen kann. Eine weitere Einschränkung des Systems ergibt sich dadurch, dass Infrarotempfänger durch

fluoreszierendes Licht oder Tageslicht gestört werden können.

Als Vorteile für das System sind vor allem die niedrigen Kosten für Sender und Empfänger zu nennen. Das System ist aufgrund des zentralen Aufbaus und der geringen Anzahl von Empfängern einfach zu warten. Das Active Badge Location System liefert permanent absolute symbolische Positionsdaten mit genauen Positionsinformationen in Raumgranularität.

3.3 BAT

Das BAT System (16) ist ein Nachfolger des Active Badge Location System. Es basiert auf dem gleichen zentralisierten Modell wie das Active Badge Location System. Den Unterschied zwischen dem BAT und dem Active Badge Location System machen die verwendete Techniken aus.

Das BAT System ermittelt die Position eines Objektes oder einer Person durch das Speichern ihres Aufenthaltsortes. An Objekten oder Personen, deren Aufenthaltsort ermittelt werden soll, werden so genannte Bats, aktive Ultraschall(US) - Sender mit einem Funk (RF) - Transceiver, befestigt. An der Decke der Räume eines Gebäudes werden Ultraschallempfänger angebracht, welche über ein Netzwerk mit einer oder mehreren Funk - Basisstationen und einer zentralen Datenbank verbunden sind. Jede Bat meldet sich mit einer global eindeutige Identifikation (GID) bei einer Basisstation an, welche den Bereich, in der sich der Bat befindet, abdeckt. Die Funk - Basisstationen senden periodisch die GIDs der bei der Basisstation angemeldeten Bats. Ein Bat, welcher seine GID empfängt, sendet einen Ultraschallimpuls aus. Dieser Ultraschallimpuls wird von den Ultraschallempfängern an der Decke, welche ebenfalls durch den GID - Broadcast getriggert wurden, aufgefangen und die Empfangszeit zur zentralen Datenbank gesendet. Nach den in 2.2.1 beschriebenen TDoA - Prinzips wird die Entfernung der Bat zu den einzelnen Ultraschallempfängern ermittelt. Die zentrale Datenbank führt eine Fehlerkompensation durch und ermittelt, sobald mindestens 3 verschiedene (gültige) Entfernungen vorhanden sind die Position der Bat durch Lateration (Kapitel 2.2.1).

Durch dieses Verfahren lassen sich on demand die absolute physikalische Position der einzelnen Bats auf drei bis vier Zentimeter genau bestimmen. Ein großer Vorteil des BAT Systems sind die günstigen Bats, welche eine Lebenszeit von mehreren Monaten haben. Das System ist sehr aufwendig in der Administration und der Installation. Innerhalb von 10 Quadratmetern muss ein Basisstation und innerhalb von 1,2 Quadratmetern ein Ultraschallempfänger installiert werden.

3.4 RADAR

Das RADAR - System wurde im Jahr 2000 in den Microsoft Research Lab von (2) in Redmond entwickelt. Es setzt auf bereits bestehende kabellose 802.11 Netzwerksstrukturen auf. Das RADAR System benutzt keine eigens für das System entwickelte Hardware, sondern die Basisstationen eines bereits installierten Funknetzwerkes für die Positionsbestimmung. Bis zu zehn Mal senden die Basisstationen Funk - Signale (RF - Signale), die von den Empfängern gemessen werden. Jede Basisstation benutzt ihren eigenen Kanal zum Senden. Dabei koordinieren sich die Basisstationen so, dass die Signale nicht kollidieren und den Empfänger ausreichend Zeit bleibt, um die Kanäle zu wechseln.

Die Positionsbestimmung des RADAR setzt sich aus 2 Phasen zusammen. In der ersten Phase, der „off-line phase“, kalibriert sich das System, indem an bestimmten (zufällig ausgewählten) Punkten des vom System abgedeckten Bereich die Signalstärken einer oder mehrerer Basisstationen gemessen werden. Aus diesen Messungen wird ein Modell konstruiert, welches Signalstärken einem bestimmten Punkt zuordnet.

In der zweiten Phase, der „on-line phase“ oder „operation phase“ melden die mobilen Geräte die gemessene Signalstärke an das System. Das RADAR System bestimmt die beste Übereinstimmung der gemessenen Signalstärke mit den Signalstärken aus dem in der ersten Phase erstellten Modell. Das RADAR System kann Positionsdaten auf drei bis vier Meter genau zu bestimmen. Diese relativ große Ungenauigkeit lässt sich auf die schlechte Performance von Funkwellen in Gebäuden zurückführen. Das RADAR System liefert permanent absolute physikalische Positionsdaten auf einer Datenbasis, die mit sehr hohem Aufwand für jedes System erstellt werden muss.

3.5 PinPoint

PinPoint 3D-iD ist ein von der Firma RF Technologies (1) vertriebenes System. PinPoint benutzt Funksignale und die in 2.2.1 vorgestellte ToF Technik, um die Positionsdaten zu ermitteln. Das System benutzt so genannte Tags und Basisstationen als Grundlage zur Positionsbestimmung. Die Tags sind Funktransceiver und werden an Objekten oder Personen befestigt, deren Positionsdaten ermittelt werden sollen. Beim PinPoint System wird die durch das System abgedeckte Fläche in Teilflächen unterteilt. In jeder Teilfläche wird eine Basisstation und ein Array von Antennen angebracht.

Die Basisstationen senden periodisch ein Broadcast - Signal. Sobald ein Tag ein Broadcast empfängt, sendet es ein Signal auf einer eigenen Frequenz, moduliert mit der eigenen global eindeutigen Identifikationsnummer zurück. Die Basisstation ermittelt aufgrund der Laufzeit des Signals von einer Sendeantenne zum Tag und zurück zu einer Empfangsantenne die Entfernung des Tags zu den verschiedenen Antennen. Aus diesen Entfernungen lassen

sich schließlich die Positionsdaten des Tags ermitteln. PinPoint 3D-iD kann mit diesen Verfahren on demand die absolute physikalische Position eines Tags bis auf drei Meter genau bestimmen.

3.6 HiBall Tracker

Der HiBall Tracker wurde von der University of North Carolina entwickelt. Es besteht aus 3 Hauptkomponenten. Zum ersten ist der „HiBall“ zu nennen. Der HiBall (41) ist eine Sensorplattform mit sechs Infrarotsensoren und Kameralinsen. Er wird auf dem Kopf einer Person fixiert. Eine zweite Komponente ist das so genannte Ceiling. Unter dem Ceiling verstehen die Entwickler ein Array von mehreren hundert LEDs, die an die Decke eines Raumes befestigt sind. Die zentrale und dritte Komponente bei dem HiBall Tracker System ist das „Ceiling-HiBall Interface Board“ (CIB). Das CIB ist der zentrale Controller des Systems und übernimmt die Koordination der LEDs des CIB und des HiBalls. Es steuert die Pattern mit denen die LEDs angesteuert werden.



Abbildung 3.2: HiBall

Der HiBall Tracker ermittelt absolute physikalische Positionsdaten durch Messung der relativen Winkel der LEDs zum HiBall. Mit diesen gemessenen Winkeln und den bekannten Positionen der LEDs an der Decke kann das System durch Angulation Positions- und Orientierungsdaten mit einer Genauigkeit von weniger als 0,5 Millimeter und 0,02 Grad ermitteln. Dabei können bis zu 2000 Datensätze pro Sekunde bei einer Verzögerung von weniger als einer Millisekunde erfasst werden.

Ein gravierender Nachteil des Systems sind die Kosten. Dabei sind sowohl die teure Kamerahardware als auch der enorme Zeitaufwand bei der Installation der LEDs zu nennen.

3.7 Cricket

Cricket wurde im Jahr 2001 am Massachusetts Institute of Technology entwickelt. Das Cricket System (31) benutzt ähnlich wie das BAT System das Zusammenspiel von Ultraschall - Sensoren und Funk - Transceiver um Positionsdaten zu ermitteln.

Das System besteht aus einer Hardware Einheit mit einem Funk - Transceiver und einem Ultraschallsender sowie Ultraschallempfänger (Abbildung 3.3). Je nach Befestigung und Konfiguration fungiert dieses Element als Sender, der so genannten Beacon, oder als Empfänger, den so genannten Listener.

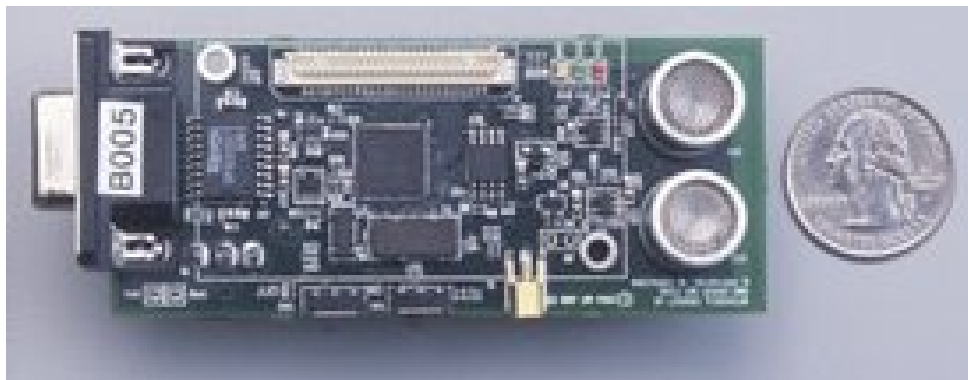


Abbildung 3.3: Cricket Hardware Einheit

Die Beacons sind der aktive Teil des Cricket System. Sie benutzen den RF - Transceiver und den US - Sender. Sie werden unabhängig voneinander konfiguriert und an der Decke eines Gebäudes befestigt. Die Listener sind passiv und benutzen den US - Empfänger und den RF - Transceiver der Hardware - Einheit.

Beim Cricket System senden ein Beacon ein RF - Signal und ein US - Signal gleichzeitig aus. Nach dem Empfang eines RF - Signals misst der Listener die Zeit bis zum Eintreffen des US - Signals. Anhand dieser gemessenen Zeit kann der Listener seinen Abstand zu der Beacon berechnen. Das Funksignal hat beim Cricket nicht nur die Aufgabe die Zeitmessung eines Listeners zu aktivieren, sondern es überträgt auch noch die Positionsinformation der Beacon. Diese von der Beacon gesendeten Positionsdaten enthalten sowohl physikalische als auch symbolische Positionsangaben. Damit ist es dem Cricket System möglich sowohl absolute symbolische, als auch absolute physikalische Positionsdaten zu ermitteln. Um symbolische Positionsdaten ermitteln zu können, reicht es aus, dass in jedem Raum eine Beacon platziert wird. Damit stellt das Cricket System ständig Positionsdaten in Raumgranularität zur Verfügung. Für die Ermittlung von physikalischen Positionsdaten benötigt das Cricket System mindestens 3 Beacons. Mit Hilfe dieser 3 Beacons und unter Verwendung von Multilateration (Kapitel 2.2.1) errechnet der Listener Positionsdaten mit einer Genauigkeit von neun Zentimetern.

Als Design Kriterien standen beim Cricket vor allem der dezentrale Aufbau, geringe Kosten und die Privatsphäre (nur der Listener kennt seine eigene Position) im Vordergrund. Aufgrund des dezentralen Aufbaus und dem Fakt, dass die Beacons untereinander keinen Kontakt haben, ergibt sich das Problem, dass es zu Interferenzen zwischen den Signalen der Beacons kommen kann. Dies gilt sowohl für die RF -, als auch für die US - Signale. Bei den RF - Signalen wird das Problem von Cricket durch einen Algorithmus der Beacons gelöst. Dieser Algorithmus variiert die Zeit zwischen den Sendeintervallen eines Beacon und erkennt, wenn eine andere Beacon sendet, so dass Interferenzen mit anderen Beacon minimiert werden. Da US - Signale keine Gegenstände durchdringen können, sondern das Ultraschallsignal an ihnen reflektiert wird, sind Wände eine natürliche Grenze für Ultraschall. Durch die Reflektion der US - Signale kann es jedoch auch zu Interferenzen der US - Signal kommen. Senden zwei verschiedenen Beacons zeitnah, kann es passieren, dass der Listener dem Funksignal einer Beacon das US - Signal einer anderen zugeordnet. Dadurch entsteht eine falsche Messung. Dieses Problem wird dadurch minimiert, dass die Übertragung des RF - Signals zeitlich so terminiert ist, das ein US - Signal innerhalb dieser Zeit eintreffen muss. Empfängt der Listener innerhalb dieser Zeit keine oder mehrere US - Signale ein, so ist die aktuelle Messung ungültig.

Die Kosten des Systems sind mit 10 Dollar für eine Hardware Einheit recht gering, dafür ist aufgrund der unabhängigen Konfiguration der einzelnen Beacon der Installationsaufwand recht hoch.

3.8 Cricket Compass

Der Cricket Compass (38) ist eine Erweiterung des Cricket Systems. Viele Designentscheidungen des Cricket Systems sind im Cricket Compass übernommen worden. So berechnet der Listener auch beim Cricket Compass seine Position ohne Kommunikation mit anderen Elementen des Systems. Zusätzlich zu Positionsdaten stellt der Cricket Compass auch Orientierungsdaten zur Verfügung. Die Orientierung ermittelt der Cricket Compass mit Hilfe einer speziellen Anordnung von Ultraschallempfängern. Der Listener ist beim Cricket Compass im Gegensatz zum Cricket anders aufgebaut als die Beacons. Beim Listener sind die Ultraschallempfänger in einer „V“ Form (wie in Bild 3.4 zu sehen) angeordnet. Jeweils 3 US - Empfänger bilden einen Schenkel des V. Die Empfänger haben jeweils einen Abstand von $\lambda/2$ wobei λ der Wellenlänge von einer Ultraschall Welle entspricht. Durch diesen Aufbau misst der Cricket Compass den Phasenunterschied für die beiden Paare von US - Empfänger Triple. Mit Hilfe dieser Phasenverschiebung der Ultraschallwelle errechnet das System eine Orientierung des „V“ zu einer virtuelle Linie des „V“ zu der Beacon.

Die Positionsdaten ermittelt der Cricket Compass wie das Cricket mit Hilfe der Multilateration. Es kommt dabei auf eine ähnliche Genauigkeit. Die Genauigkeit bei der Bestimmung der Orientierung schwankt dabei um 3° bis 10° von dem tatsächlichen Winkel ab. Die Hardware

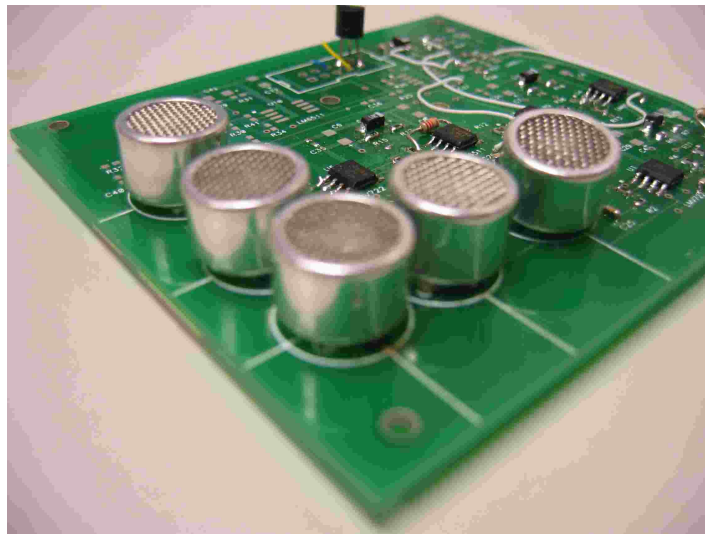


Abbildung 3.4: Cricket Compass

ist Aufgrund der größeren Anzahl von Ultraschallempfängern beim Listener etwas teurer als beim Cricket System. Auch beim Cricket Compass ist der Aufwand für die Installation hoch, da die Beacons separat konfiguriert werden müssen.

4 IMAPS - Konzeption

In diesem Kapitel werden die bei der Entwicklung des indoor Positionierungssystems verwendeten Techniken und die zugrunde liegenden Konzepte erläutert. Im ersten Unterabschnitt „Designkriterien“ werden die dem „indoor distance measurement and positioning system“ (IMAPS) zugrunde liegenden Designansätze diskutiert. Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit der System Architektur und der Funktionsweise des zu entwickelnden System. Im dritten Teil werden die im IMAPS verwendeten Techniken und Technologien genauer erläutert. Nach der Analyse von möglichen Fehlerquellen im vierten Abschnitt, beschäftigt sich der letzte Abschnitt dieses Kapitels mit theoretischen Betrachtungen zur Installation von IMAPS.

4.1 Designkriterien

Das IMAPS wurde vor allem für Anwendungen, die im Kontext zum Ambient Intelligence stehen, entwickelt. Das System soll eine Vielzahl von verschiedenen Anwendungsszenarien unterstützen. Aus diesem Ziel heraus ergeben sich die folgende Designkriterien:

4.1.1 Privatsphäre

Viele Positionierungssysteme speichern die Positionsdaten ihrer Benutzer zentral in einer Datenbank und ermöglichen es den Aufenthaltsort der Benutzer zu bestimmen und zu verfolgen. Die Speicherung des Bewegungsprofil widerspricht jedoch der Privatsphäre des Benutzers. Die Verletzung der Privatsphäre kann die Akzeptanz eines Systems durch die Benutzer mindern. Aus diesem Grund soll das zu entwickelnde System so ausgelegt werden, dass nur der Benutzer über seine Position verfügen kann. Dies verhindert jedoch nicht, dass der Benutzer seine Daten (z.B. durch eine Anwendungssoftware) einer zentralen Stelle/Datenbank zur Verfügung stellt, wenn er dies möchte.

4.1.2 Langlebigkeit

Um die administrativen Kosten zu senken und die Akzeptanz bei den Benutzern zu erhöhen, sollen die Hardwarebestandteile langlebig sein. Diese Langlebigkeit beinhaltet sowohl eine robuste und leicht zu handhabende Bauweise, als auch die Verwendung von stromsparenden Bauteilen, damit die Laufzeit des Systems mit einer „kleinen“ Spannungsquelle, wie z. B. einem Batteriepack mit 4 Mignon - Batterien, möglichst lang ist.

4.1.3 Skalierbarkeit

Für jedes System ist die Skalierbarkeit ein wichtiges Kriterium für den Einsatz. Das System soll sowohl in der Anzahl der Benutzer als auch in der Erweiterbarkeit des Systems im hohen Maße skalierbar sein. Skalierbarkeit in Bezug auf Benutzer bedeutet, dass das System mit einer großen Anzahl von Benutzern ebenso gut arbeitet, wie mit nur einem Benutzer. Eine hohe Skalierbarkeit in Bezug auf die Erweiterbarkeit sagt aus, dass das System problemlos erweitert werden kann, ohne große Änderungen am bisherigen System vornehmen zu müssen.

4.1.4 Geringer Installations- und Verwaltungsaufwand

Installations- und Verwaltungsaufwand beeinflussen direkt die Kosten eines Systems und ist damit ein essentieller Punkt bei der Entscheidung für oder gegen den Einsatz eines Systems. Aus diesem Grund sollte das System so einfach und damit auch so kostensparend wie möglich installiert und verwaltet werden können.

4.1.5 Physikalische und symbolische Positionierung

Um ein möglichst vielfältiges Spektrum an Einsatzmöglichkeiten zu gewährleisten, ist es notwendig ausreichend präzise Positionsinformationen bereit zu stellen. Was ausreichend präzise Positionsinformationen sind, richtet sich nach Erfordernissen der jeweiligen Anwendung, welche die Positionsdaten benötigt. Für viele Anwendungen ist es ausreichend, wenn sie symbolische Positionsdaten zur Verfügung gestellt bekommen. Andere Anwendungen benötigen jedoch physikalische Positionsinformationen in Form von x-, y- und z-Koordinaten. Um beide Arten von Anwendungen bedienen zu können soll das System sowohl symbolische als auch physikalische Positionsdaten bereit stellen.

4.2 System Architektur

In diesem Abschnitt wird die Architektur vom IMAPS vorgestellt. Die Architektur ist so gewählt worden, dass sie die im vorherigen Abschnitt diskutierten Designkriterien erfüllt. Bei der Entwicklung von IMAPS diente das Cricket System (Kapitel 3.7) als Anhaltspunkt, da viele Designkriterien des Cricket identisch mit denen von IMAPS sind.

Die Grundlage von IMAPS bilden Beacons und Listener. Eine Beacon besteht aus einem Funktransceiver und einem Ultraschallsender. Beacons werden an der Decke eines Raumes angebracht und senden in zufälligen (siehe Kapitel 5.3.2) Zeitabständen ihre eigenen Positionsdaten. Die Hauptbestandteile des Listener sind ein Funktransceiver und ein Ultraschallempfänger. Listener werden mit einer RS 232 Schnittstelle an verschiedene Geräte, wie zum Beispiel PDAs oder Laptops, angeschlossen und stellen diesen Geräten physikalische und/oder symbolische Positionsdaten bereit.

Um die physikalischen Koordinaten eines Listeners zu berechnen, verwendet IMAPS Multilateration. Dieses Verfahren benötigt die Distanzen zwischen den Beacons und dem Listener um physikalische Positionsdaten zu berechnen. Diese Entfernungen werden auch benötigt damit IMAPS symbolische Koordinaten bereitstellen kann. Bei der Ermittlung von symbolischen Positionsdaten befindet sich der Listener in dem (virtuellen) Raum, welcher durch die Beacon mit der geringsten Entfernung zum Listener beschrieben wird.

Um eine Distanz zwischen einem Beacon und einem Listener zu ermitteln, verwendet IMAPS den Laufzeitunterschied (Kapitel 2.2.1) zwischen einem Funksignal und einem Ultraschallsignal. Das von einer Beacon gesendete Funksignal übernimmt dabei die Funktion des Triggers. Es startet einen Timer bei einem, durch den die Zeit zwischen Eintreffen des Funksignals und des von der Beacon gesendeten Ultraschallsignals gemessen wird. Diese gemessene Zeit multipliziert mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall ergibt den Abstand des Senders vom Empfänger.

Damit das IMAPS das Designkriterium der Skalierbarkeit in Bezug auf die leichte Erweiterbarkeit erfüllt, ist IMAPS dezentral aufgebaut. Das heißt, dass es keine zentrale Einheit gibt, die die Koordination der einzelnen Beacons übernimmt. Um Interferenzen zwischen den Signalen der Beacons zu verhindern, verwenden die Beacons einen im Kapitel 5.3.2 näher erläuterten Algorithmus. Durch diesen Aufbau können zu einer bereits bestehenden Installation durch neue Beacons erweitert werden, ohne dass etwas an der bestehenden Installation geändert werden muss.

Um eine hohe Skalierbarkeit in Bezug auf die Anzahl der Benutzer zu erreichen, sind im IMAPS die Listener völlig passiv. Das System funktioniert mit einer beliebigen, nur durch die Raumgröße beschränkten, Anzahl von Listenern genauso, als wenn nur ein Listener in einem Raum ist. Dadurch, dass nur die Beacons im IMAPS eine aktive Rolle einnehmen und

nur die Listener ihre eigenen Position berechnen und kennen, wird auch die Privatsphäre der Benutzer gewahrt.

4.3 Verwendete Signale und Techniken

Nachdem im ersten Teil dieses Kapitels die Designkriterien von IMAPS genauer erläutert wurden, wird sich dieser Abschnitt mit den konkret im IMAPS eingesetzten Technologien Funk und Ultraschall befassen. Als Funktechnik kommt im IMAPS IEEE 802.15.4 zum Einsatz. Nach einer genaueren Betrachtung der Multilateration, werden in diesem Kapitel beide Signalarten vorgestellt und auf ihren Einsatz im IMAPS genauer eingegangen.

4.3.1 Mathematische Grundlagen

In Kapitel 2.2 wurden bereits die Multilateration, als Verfahren zur Ermittlung physikalische Positionsdaten, vorgestellt. In diesem Kapitel speziell die atomic Multilateration (23) genauer erläutert, welche in IMAPS verwendet wird, um dem Klienten absolute physikalische Positionsinformation bereitzustellen.

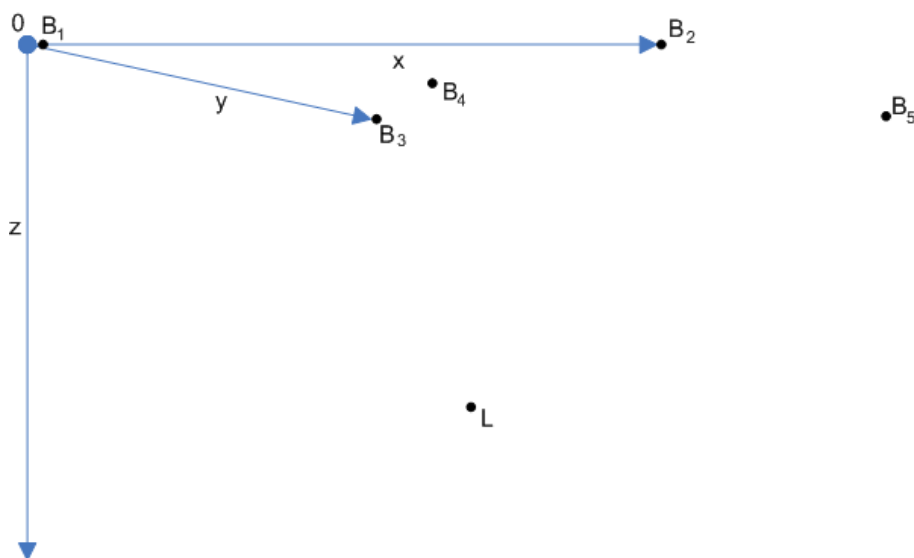


Abbildung 4.1: Position von IMAPS Beacons an der Decke

Wie bereits im Kapitel 2.2.1 beschrieben, handelt es sich um ein mathematisches Verfahren. Um eine Position zu bestimmen benötigt das Verfahren der Multilateration mindestens vier Bezugspunkte und deren Abstände zum gesuchten Punkt, um dessen physikalische x -, y -

z-Koordinaten zu berechnen. Mit dem in (23) vorgestellten Verfahren lässt sich die benötigte Anzahl der Bezugspunkte auf mindestens drei reduzieren.

Nehmen wir einen Empfänger X mit den gesuchten Koordinaten (x, y, z) , dessen Positionsdaten ermittelt werden sollen. Es gibt mehrere, mindestens jedoch drei Sender im Raum deren Koordinaten (x_i, y_i, z_i) bekannt sind, wobei i die Anzahl der Sender angibt. Um die Entfernung mittels eines Signals zu bestimmen, wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_s des benutzten Signals und die gemessene Laufzeit t_i , die das Signal von einem Sender bis zum Empfänger unterwegs ist, benötigt. Die Entfernung d zwischen X und einem Sender $B(x_0, y_0, z_0)$ im dreidimensionalen Raum lässt sich mit Hilfe der Gleichungen 4.1 und 4.2 berechnen.

$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (4.1)$$

$$d = (v_s t_0)^2 \quad (4.2)$$

Ausgehend davon, dass wie in Abbildung 4.1 zu sehen, alle Sender an der Decke der Räume eines Gebäudes installiert werden, kann $z_i = 0$ gesetzt werden. Dadurch erhalten die Beacons die Koordinaten $(x_i, y_i, 0)$ für $i \geq 3$. Aus den Gleichungen kann zur Berechnung der Entfernungen $(z)^2$ eliminiert werden. Nun können, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_s bekannt ist, die x-, y-, z- Koordinaten des gesuchten Empfängers durch Lösung der Gleichung 4.3 errechnet werden.

$$A \vec{x} = \vec{b} \quad (4.3)$$

Die Matrix A und die Vektoren x und b stellen sich wie folgt dar:

$$A = \begin{pmatrix} 2(x_1 - x_0) & 2(y_1 - y_0) \\ 2(x_2 - x_0) & 2(y_2 - y_0) \\ \dots & \dots \\ 2(x_{i-1} - x_0) & 2(y_{i-1} - y_0) \end{pmatrix}, x = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$b = \begin{pmatrix} x_1^2 - x_0^2 + y_1^2 - y_0^2 - v^2(t_1^2 - t_0^2) \\ x_2^2 - x_0^2 + y_2^2 - y_0^2 - v^2(t_2^2 - t_0^2) \\ \dots \\ x_{i-1}^2 - x_0^2 + y_{i-1}^2 - y_0^2 - v^2(t_{i-1}^2 - t_0^2) \end{pmatrix}, i \geq 3$$

Wie zu sehen ist, wird A bei $i = 3$ eine 2×2 - Matrix. Darin enthalten sind 2 Unbekannte in einem Gleichungssystem mit 2 Gleichungen. Ein solches Gleichungssystem ist nur eindeutig lösbar, wenn die Determinante (A^T) von A ungleich Null ist. Ist das Gleichungssystem eindeutig lösbar, so kann für z ein Wert errechnet werden, indem die errechneten Werte für x und y in die Gleichung 4.1 eingesetzt werden. Bei $i \geq 3$ Beacons ist das Gleichungssystem eindeutig lösbar.

4.3.2 IEEE 802.15.4

Das IEEE 802.15.4 Protokoll (3) definiert die Kommunikation von einem Verbund von Geräten die untereinander Daten in einem kabellosen Netzwerk, dem so genannte LR-WPAN, austauschen. Das LR-WPAN zeichnet sich unter anderem durch folgende Eigenschaften aus:

- Übertragungsraten der Daten von 250kb/s, 40 kb/s und 20kb/s
- Sternen- oder Peer-To-Peer Netzwerktopologien
- 16 Bit oder 64 Bit Adressen
- garantierte Sendezeiträume
- Kollisionsvermeidung durch „Carrier sense multiple acces with collision avavoidance“ - Algorithmus
- Möglichkeit der Bestätigung eines Datenpaketes (Acknowledgement)
- Geringer Leistungsverbrauch
- Ermittlung der Verbindungsqualität durch Energy Detection und Link quality indication
- 16 Kanäle im 2450 MHz, 10 Kanäle im 915 MHz und 1 Kanal im 868 MHz Frequenzband

Protokoll

Die 802.15.4 Architekture sieht einen Aufbau (Grafik 4.2) basierend auf dem ISO/OSI - Schichtenmodell vor. Die physikalische Schicht (PHY) ermöglicht den Empfang und das Versenden von PHY-Protokoll-Daten-Einheiten (PPDUs) über den jeweiligen Funk Kanal. Die MAC - Schicht regelt sowohl den Kanalzugriff und damit auch die Kollisionsvermeidung, als auch die Adressierung innerhalb des LR - WPAN.

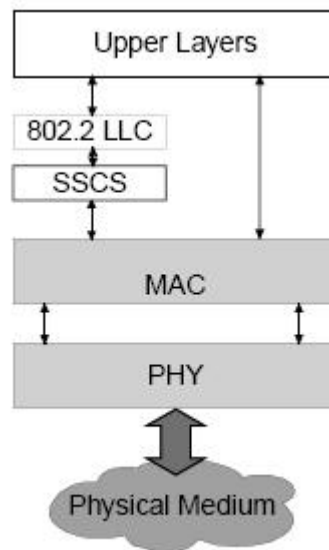


Abbildung 4.2: LR-WPAN Protokoll Architektur

Die in der Grafik 4.2 dargestellten Upper Layers enthalten u.a. eine Netzwerkschicht und die Anwendungsschicht. Die Netzwerkschicht ermöglicht, Einstellungen und Veränderung am Netzwerk vorzunehmen und ist für das Routing innerhalb des Netzwerkes sowie aus dem Netzwerk heraus zuständig. Die Anwendungsschicht beinhaltet anwendungsspezifische Protokollschichten. Die Elemente der Upper Layers gehören jedoch nicht mehr zur IEEE 802.15.4 Spezifikation.

Funktionseinheiten

In einem LR - WPAN nach IEEE 802.15.4 gibt es drei verschiedene Arten von Geräten. Es gibt sogenannte vollständig funktionsfähige Geräte (engl. full-function devices / FFD) und reduziert funktionsfähige Geräte (reduced-function devices / RFD). Ein FFD kann drei Funktionen in einem LR-WPAN einnehmen, die des persönlichen Netzwerk (engl. personal area network/PAN) - Koordinators, eines Koordinators oder eines Gerätes (engl. device). Ein FFD kann sowohl mit anderen FFD's als auch mit anderen RFD's kommunizieren, während ein RFD nur mit einem FFD kommunizieren kann.

Mit Hilfe dieser verschiedenen Arten von Geräten lassen sich in einem IEEE 802.15.4 Netzwerk verschiedene Arten von Netzwerktopologien aufbauen. Da das IMAPS nur auf der Grundlage von Broadcasts unter FFD's arbeitet und auch keine (PAN -) Koordinatoren verwendet, wird hier nicht weiter auf die verschiedenen Netzwerktopologien eingegangen.

Paketaufbau

Die IEEE 802.15.4 Architektur sieht mit dem Beaconpaket, dem Datenpaket und dem Bestätigungs (engl. Acknowledgement) - Paket 3 Arten von Paketen vor. In diesem Abschnitt wird jedoch nur das Datenpaket betrachtet, da nur dieses im IMAPS verwendet wird.

Das Datenpaket in der IEEE 802.15.4 Architektur besteht aus den in der Abbildung 4.3 dargestellten Elementen.

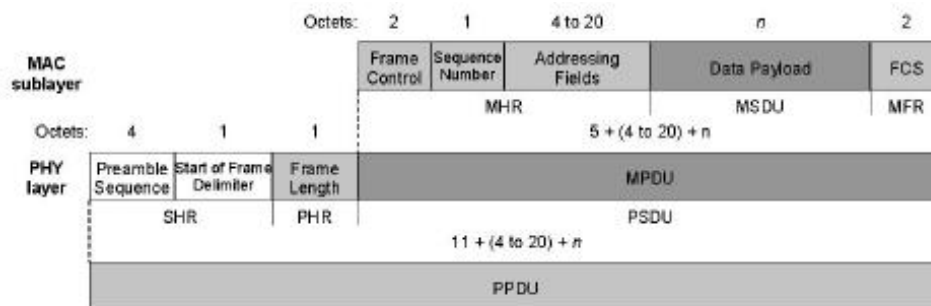


Abbildung 4.3: IEEE 802.15.4 Paketaufbau

Wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben, versendet die MAC - Schicht eine PPDU, die sich aus einer festgelegten Präambel Bit Sequenz, einem Start - of - Frame Delimiter (SFD), der Länge der MAC Payload Data Unit (MPDU) und der MPDU selbst. Die MPDU wird in der MAC Schicht erstellt und setzt sich aus einem Frame Control Feld, einer Sequenznummer, einem Adressfeld, den eigentlich Daten und der Frame Check Sequenz (FCS) zusammen.

4.3.3 Ultraschall

Bei Ultraschall handelt es sich um Schallwellen, welche in einem Frequenzspektrum über 20 kHz zu finden sind. Das menschliche Ohr kann nur Frequenzen von 16 bis 20000 Hertz wahrnehmen. Aus diesem Grund nimmt ein Mensch keinen Ultraschallimpuls wahr. Ultraschall breitet sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 340 Meter pro Sekunde aus. Diese Geschwindigkeit wird durch atmosphärischen Druck, Temperatur und Bewegungen in der Luft beeinflusst. (23) hat in seiner Arbeit die Einflüsse von Temperatur und Druck in einer Tabelle mit Messwerten (Tabelle 4.1) dargestellt.

Temperatur in °C	Druck in Prozentpunkten	Geschwindigkeit in m/s
10	0	337,5
10	50	337,8
10	100	338,1
15	0	340,4
15	50	340,9
15	100	341,34
19	0	342,8
19	50	343,4
19	100	344
20	0	343,4
20	50	344
20	100	344,6
25	0	346,3
25	50	347,1
25	100	348

Tabelle 4.1: Ultraschallgeschwindigkeit

Wie in Tabelle 4.1 erkennbar ist, ist der Einfluss von Druck relativ gering, während die Temperatur doch einen erkennbaren Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall hat.

Ein Ultraschallsignal kann keine Gegenstände oder Wände durchdringen, sondern wird von ihnen reflektiert. Diese Eigenschaft führt dazu, dass ein US - Empfänger nur eine Ultraschallwelle eines US - Senders erkennen kann, wenn sich kein Gegenstand zwischen beiden befindet.

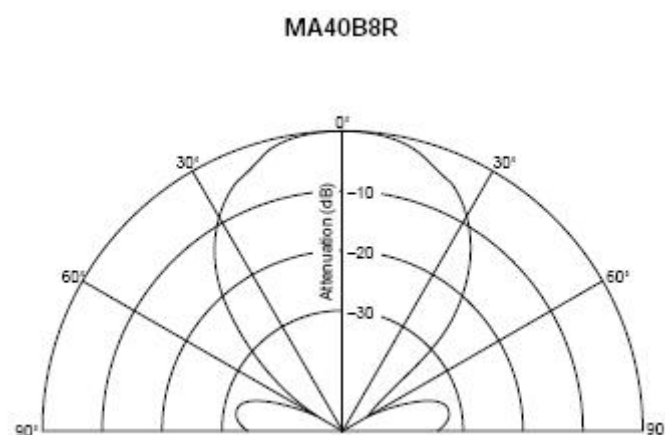


Abbildung 4.4: Aufbau eines Ultraschallkegels

Ultraschallsender senden eine Ultraschallwelle kegelartig (Abbildung 4.4) aus. Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, nimmt die Signalstärke des Ultraschallsignals dabei zum Rande des Kegels hin sehr stark ab.

Ähnlich verhält es sich beim Empfänger. Denkt man sich eine Linie, welche senkrecht zur Empfangsrichtung des Ultraschallempfängers steht (in der Abbildung 4.4 wäre dies die „Nullgrad - Linie“), so nimmt die Empfangsempfindlichkeit, je weiter sich der Sender von dieser senkrechten Achse entfernt, ab.

4.4 Mögliche Fehlerquellen bei der Positionsbestimmung

Der Einsatz der im vorherigem Abschnitt dieses Kapitels beschriebenen Techniken bergen einer Reihe von Fehlerquellen bei der Berechnung der Positionsdaten. In diesem Abschnitt werden diese Fehlerquellen analysiert und Lösungswege aufgezeigt.

4.4.1 Funk

Beim Einsatz im IMAPS bringt die Verwendung von IEEE 802.15.4 als Funktechnik sowohl Vorteile, als auch einige Nachteile mit sich.

Ein Vorteil der Funktechnik ist, dass Funkchips, die diese Technik verwenden, die Prüfung der Gültigkeit der Nachricht übernehmen. Nachdem die Daten an den Chip übertragen worden sind, werden sie, in das im Abschnitt 5.3.1 beschriebene Datenformat, verpackt. Bei diesem Vorgang erstellt der Funkchip eine Frame Check Sequenz (FCS). Mit Hilfe dieser FCS kann der Chip beim Empfang einer Nachricht die Gültigkeit dieser Nachricht überprüfen. Dieser Gültigkeitstest ist wesentlich schneller, als wenn er vom Kontroller des IMAPS durchgeführt werden würde.

Um die Entfernung zwischen Sender und Empfänger so genau wie möglich zu berechnen, ist es im IMAPS nötig, dass US - und RF - Signal möglichst zur selben Zeit ausgesendet werden. Ebenso wichtig ist es, dass beim Empfangen der Timer so zeitnah wie möglich mit dem Eintreffen des RF - Signals gestartet wird. Der Chipcon Chip übernimmt wie bereits erwähnt die Kapselung der Daten in das IEEE 802.15.4 Protokoll. Dazu benötigt der Chip vor dem Senden, sowie nach dem Empfang zum Herausziehen der Nutzdaten, eine gewisse Zeit. Der Nachteil ist, dass diese Zeit nur schlecht abgeschätzt werden kann. Dies würde zu einer Ungenauigkeit bei der Entfernungsberechnung führen.

Um diese Ungenauigkeit zu minimieren, wird im IMAPS der Start - of - Frame Delimiter benutzt. Beim eingesetzten Funkchip (siehe 5.2.1) zeigt der SFD - Pin beim Senden eines Paketes den Zeitpunkt an, an dem der Start - of - Frame Delimiter gesendet wird. Beim Senden des SFD ist das Datenpaket bereits gemäß Protokoll vom Chip zusammengestellt worden. Sobald der SFD Pin das Senden des SFD angezeigt hat, wird der Ultraschallimpuls

gesendet. Beim Empfang der Nachricht zeigt der SFD - Pin sofort den Empfang des SFD an. Erst danach wird das empfangene Paket ausgewertet und die Nutzdaten extrahiert. IMAPS startet sofort beim Empfang des SFD den Timer, der zu Entfernungsmessung genutzt wird. Durch dieses Verfahren geht die Zeit, die der Funkchip für die Protokollbehandlung benötigt, nicht in die Zeit ein, die zur Entfernungsmessung ermittelt wird. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit bei der Entfernungsmessung beim IMAPS.

4.4.2 Ultraschall

Eine große Fehlerquelle bei Einsatz von Ultraschall im IMAPS ergibt sich aus dem Fakt, dass zwischen Ultraschallsender und Ultraschallempfänger eine Sichtverbindung bestehen muss. Eine Unterbrechung der Sichtverbindung kann dazu führen, dass kein Ultraschallsignal den Listener erreicht. Wenn IMAPS symbolische Positionsdaten ermitteln soll, kann das System einen Wechsel des Listener in einen anderen symbolischen Raum verpassen und falsche Daten liefern. Weiterhin kann eine Unterbrechung der Sichtverbindung zu falschen Entfernungsmessung führen. Dies passiert, wenn das Ultraschallsignal eines Senders trotz fehlender Sichtverbindung zu einem Listener, durch eine Reflektion des Signals diesen Listener erreicht. Das Ultraschallsignal hat dann eine längere Wegstrecke zurückgelegt, als die tatsächliche Entfernung zwischen Listener und Beacon.

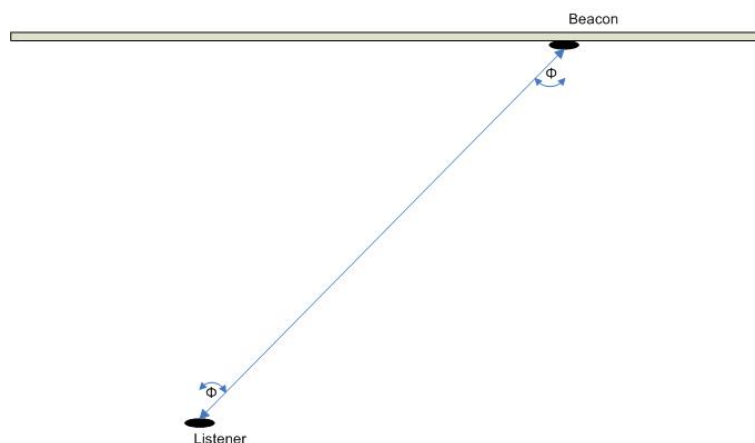


Abbildung 4.5: Winkel zwischen Listener und Beacon

Zu Fehlern bei der Entfernungsmessung mittels Ultraschall kommt es auch durch die in 4.3.3 beschriebene kegelartige Ausstrahlung der Ultraschallwelle. Je größer der Winkel ϕ (Abbildung 4.5) zwischen Beacon und Listener wird, umso größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass der Empfänger das Ultraschallsignal nicht mit der ersten Spitze der Ultraschallwelle,

sondern mit einer späteren Spitze dieser Welle detektiert. Dies führt zu einer gemessenen Entfernung die größer ist, als die tatsächliche Entfernung zwischen Beacon und Listener.

Beim IMAPS ist es vorgesehen, dass sich mehrere Beacons in einem Raum befinden. Aufgrund der Eigenschaft, dass Ultraschall von Hindernissen reflektiert wird, kann es zu einer Art „Ultraschallsmog“ kommen. Mit „Ultraschallsmog“ ist gemeint, dass die Signale mehrere Sender miteinander oder das Signal eines Senders mit seinem eigenen Signal kollidiert. Dadurch wird die Erkennung eines Ultraschallpulses einer Beacon schwieriger.

Um eine Interferenz von den Ultraschallsignalen verschiedener Beacon zu verhindern, muss sichergestellt werden, dass das Signal der Beacon, die ein Ultraschallsignal gesendet hat, „verschwunden“ ist, bevor die nächste Beacon sendet. Ultraschallimpulse schwächen mit dem zurückgelegten Weg immer weiter ab. Angenommen R_{usmax} ist die Entfernung, in der ein Ultraschallempfänger noch einen Ultraschallimpuls detektieren kann.

$$t_{dis} = R_{usmax} / v_{us} + t_{send} \quad (4.4)$$

Wenn v_{us} die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwelle und t_{send} die Zeit ist, in der der Ultraschallimpuls gesendet wird, dann lässt sich die Zeit t_{dis} , nach der die Ultraschallwelle durch einen Empfänger nicht mehr messbar sein sollte, durch die Gleichung 4.4 beschreiben.

4.4.3 Einsatz mehrerer Beacons

Beim Einsatz von IMAPS kann es aufgrund der unterschiedlichen Reichweite von Ultraschall- und Funksignalen zu Problemen kommen. IMAPS ist dezentral aufgebaut, d. h. dass die IMAPS Beacon keine Kontakt untereinander haben und somit keine Koordination zwischen den Beacons stattfindet. Um Interferenzen zwischen den verschiedenen Beacons zu vermeiden, verwendet IMAPS einen Algorithmus zur Kollisionsvermeidung (siehe 5.3.2). Obwohl dieser Algorithmus das gleichzeitige Senden von zwei Beacons unterdrückt, kann der in Abbildung 4.6 zu sehende Fall dazu führen, dass die Signale zweier Beacons zu unterschiedlichen Messungen führen.

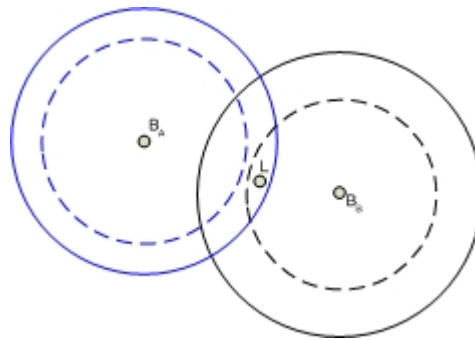


Abbildung 4.6: Einsatz mehrerer Beacons

In der Abbildung sind der Listener L und die beiden Beacons B_A und B_B zu sehen. Die Funksignale beider Beacons erreichen zwar den Listener, aber nicht die jeweils andere Beacon. Bei den Ultraschallsignalen erreicht in diesem Fall nur das Signal der Beacon B_B den Listener.

B_B sendet sein Funk-, sowie sein Ultraschallsignal aus. Das Funksignal erreicht den Listener zum Zeitpunkt $t_{B_{RF}}$. B_A sendet ebenfalls ein Funk-, sowie ein Ultraschallsignal aus. Von den Signalen der Beacon B_A erreicht jedoch nur das Funksignal zum Zeitpunkt $t_{A_{RF}}$ den Listener. Das Ultraschallsignal von B_B erreicht den Listener zum Zeitpunkt $t_{B_{US}}$ nach dem Funksignal von B_A . In diesem Fall kann der Listener nicht entscheiden, welches Ultraschallsignal welcher Beacon zugeordnet werden soll. Um fehlerhafte Messungen zu vermeiden, verwirft ein IMAPS Listener alle Messungen, bei denen mehrer Funk- oder mehrere Ultraschallsignale in dem Zeitraum $t_{US_{max}}$ nach dem ersten Funksignal eintreffen. Die Zeitspanne $t_{US_{max}}$ ist der Zeitraum, in dem ein Ultraschallsignal den Weg zurücklegt, bis es für einen Ultraschallempfänger nicht mehr messbar ist.

4.5 Platzierung der Beacons

Im Betrieb soll das IMAPS sowohl symbolische, als auch physikalische Positionsdaten zur Verfügung stellen. Damit das System dazu in der Lage ist, müssen einige grundlegende Dinge bei der Installation der IMAPS Beacons beachtet werden. Für die Ermittlung von physikalische Positionsdaten ist es notwendig, dass mehrere Beacons im Raum so installiert werden, dass immer mindestens die Signale von drei Beacons den Listener erreichen. Die Beacons sollten in einem Raster mit einem festen Abstand zueinander an der Decke eines Raumes installiert werden. Dieser Abstand wird vor allem durch die in Kapitel 4.3.3 beschriebene kegelartige Ausstrahlung von Ultraschallwellen und der damit verbundenen Abschwächung der Ultraschallwelle am Rande des Kegels beschränkt. Im Kapitel 6.3 werden die Auswirkungen des Winkels auf die Genauigkeit und den maximalen Winkel, bei dem der IMAPS Listener

noch ein Signal von einem Beacon empfängt, untersucht. Nimmt man diese Untersuchungen als Grundlage müssten mehrere tausend Beacons installiert werden, um in einen Bürokomplex mit mehreren Etagen und einigen hundert Büros vollständig physikalische Koordinaten ermitteln zu können.

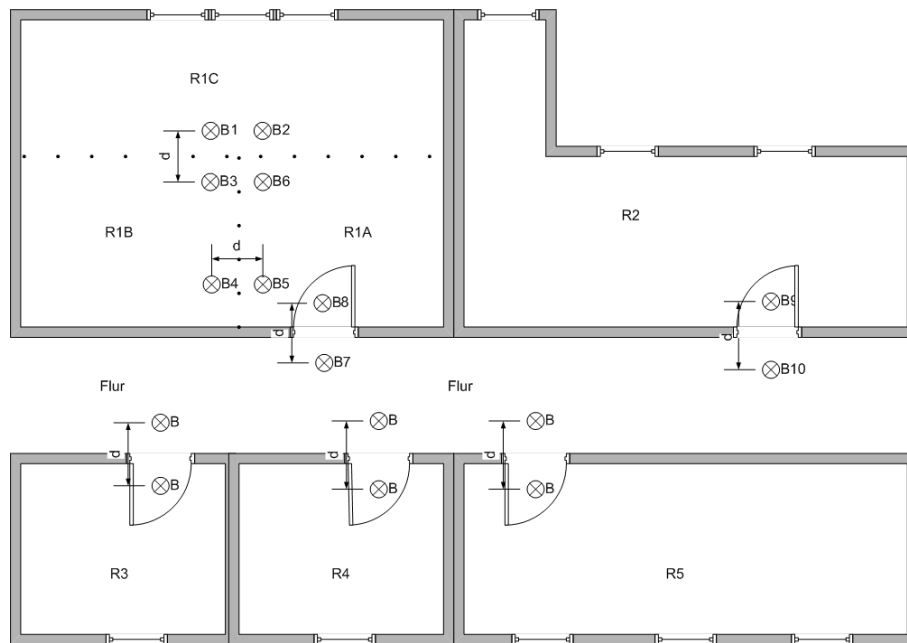


Abbildung 4.7: Platzierung mehrerer Beacons

Um symbolische Positionsdaten ermitteln zu können, werden nicht annähernd so viele Beacons benötigt. Für die Ermittlung symbolischer Positionsdaten benutzt IMAPS eine Description, welche jede Beacon sendet (siehe Kapitel 5.3.1) und die gemessenen Entfernungen zu den einzelnen Beacons. Der IMAPS Listener erkennt, dass er sich in einem (virtuellen) Raum befindet daran, dass eine Beacon, welche durch ihr Description Feld diesen virtuellen Raum beschreibt, diejenige Beacon ist, die zu dem Listener die geringste Entfernung besitzt. Angenommen es gibt zwei virtuelle Räume, welche durch zwei Beacons beschrieben werden, dann befindet sich die Grenze dieser beiden virtuellen Räume genau auf der Hälfte des Abstandes der beiden Beacon zueinander. Um die Grenzen von drei oder mehreren (aneinander grenzenden) virtuellen Räumen genau erfassen zu können, müssen die Beacons an den Grenzen dieser virtuellen Räume denselben Abstand voneinander haben und immer paarweise zueinander angeordnet werden.

Beispielhaft wird dies in Abbildung 4.7 dargestellt. Die Beacons B1 und B2 beschreiben den virtuellen Raum R1C. Die Beacons B3 und B4 beschreiben den virtuellen Raum R1B, während der virtuelle Raum R1A durch die Beacons B5, B6 und B8 beschrieben wird. Die Beacon B7 ist eine Beacon die zusammen mit der Beacon B8 die Grenze von R1A zum Flur

beschreibt. In der Abbildung [4.7](#) wird ersichtlich, dass die Distanz zwischen zwei Beacons, die verschiedene virtuelle Räume beschreiben, immer gleich sein sollte. Dadurch wird gewährleistet, dass ein Listener jede Grenze und damit jeden Wechsel zwischen verschiedenen virtuellen Räumen exakt erkennt und anzeigen kann.

5 IMAPS - Realisierung

In diesem Kapitel wird sowohl das Hardware- wie auch das Software Design erläutert. Im ersten Teil dieses Kapitels wird auf grundlegende Hardware - Entscheidungen eingegangen, um dann zur Umsetzung dieser Überlegungen in ein konkretes Hardwaredesign einzugehen. Im zweiten Teil dieses Kapitels wird dann auf die Software für die unterschiedlichen Komponenten von IMAPS eingegangen.

5.1 Vorbetrachtungen

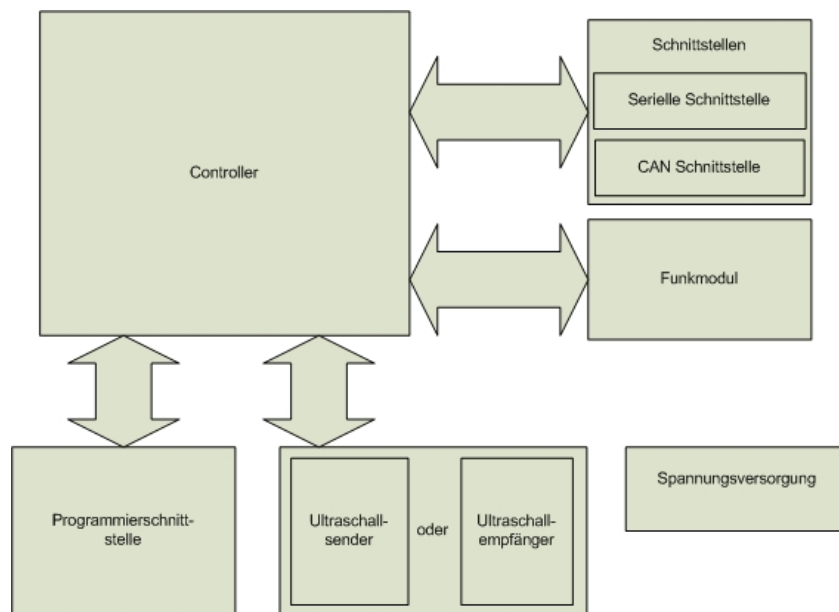


Abbildung 5.1: Blockschaltbild

Die Hardware von IMAPS ist für die Entwicklung in 3 Module aufgeteilt worden. Um die Anzahl der Empfänger(Listener) und der Sender(Beacon) in ihrer Anzahl variabel halten zu können wurde ein Kontrollmodul entwickelt, welches über RJ45 - Konnektoren mit einem Sendermodul oder einen Empfängermodul verbunden werden kann.

Das Kontrollmodul besteht aus dem Mikrokontroller, den Schnittstellen sowie dem Funkmodul. Das Sender- bzw. Empfängermodul besteht aus der Ultraschallsende- bzw. Ultraschallempfangseinheit. In Abbildung 5.1 ist der Aufbau von IMAPS in einem Blockschaltbild dargestellt.

5.2 Hardware

In diesem Kapitel werden die beim IMAPS verwendeten Hardwarebestandteile vorgestellt. Danach werden die Hardwarelayouts erläutert.

5.2.1 Verwendete Komponenten

Bei der Konzeption der IMAPS Hardware wurde auf kleine und stromsparende Komponenten Wert gelegt. Soweit wie möglich wurden SMD Bestandteile ausgewählt, um eine beidseitige Bestückung und damit ein „schlankeres“ Layout zu ermöglichen.

Prozessor

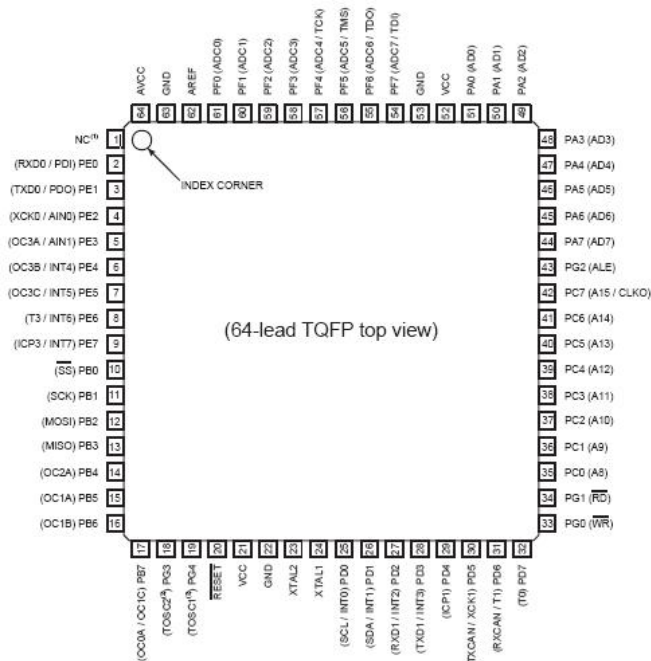


Abbildung 5.2: Controller AT90CAN128 der Firma Atmel

Als Controller für die IMAPS Module wurde ein AT90CAN128 (Abbildung 5.2) von der Firma Atmel gewählt. Die Wahl fiel auf diesen Controller, da dieser bei einer Taktfrequenz von 8 MHz mit 3,3 Volt Versorgungsspannung betrieben werden kann. Dabei ist die Leistungsaufnahme des AT90CAN128 (4) sehr gering und beträgt so z.B. im Ruhezustand nur 7 Milliampere (mA). Ein weiterer Punkt, der für die Auswahl des AT90CAN128 als Controller spricht, ist seine interne CAN - Schnittstelle (siehe 5.2.1). Dies macht einen weiteren IC als externen CAN - Controller unnötig.

Der Mikrocontroller wird über das Serial Programming Interface (SPI) programmiert. Das SPI wird über einen 6-poligen ISP Stecker angeschlossen, dessen Pinbelegung aus der Abbildung 5.3 entnommen werden kann.

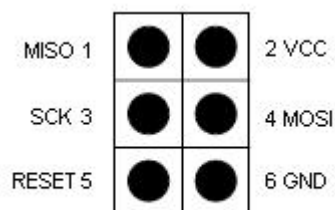


Abbildung 5.3: Pinbelegung ISP Stecker

Schnittstellen

Die entwickelte Hardwareplattform besitzt eine RS232 Schnittstelle und eine CAN - Schnittstelle. Das IMAPS benutzt in seiner jetzigen Form nur die serielle Schnittstelle zur Kommunikation. Die CAN - Schnittstelle wurde für eine spätere Nutzung der entwickelten Hardware mit dem Aksen - Board (11) vorgesehen.

Als Baustein für die serielle Schnittstelle wurde das MAX3233 von Maxim gewählt. Innerhalb dieses IC sind benötigte Kondensatoren für den seriellen Treiber bereits enthalten, so dass keine Kondensatoren auf der Platine platziert werden mussten. Dies verringert sowohl den Umfang, als auch die Kosten für die Platine. Im Ruhezustand beträgt der Stromverbrauch 1 mA, wodurch die Lebensdauer des Moduls mit einem Batteriesatz erhöht wird. Die Anbindung der Platine an einen externen Rechner oder PDA erfolgt über eine RJ-11-Buchse und ein zugehöriges Kabel, welches dem Flasher - Kabel des Aksen - Boards entspricht und dessen Aufbau in Abbildung 5.4 schematisch dargestellt ist.

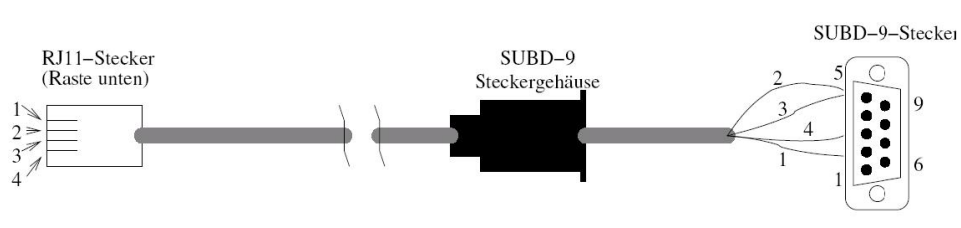


Abbildung 5.4: Schematik des Kabels für die serielle Verbindung

Für die CAN Treiber kommt das IC MAX3051 von Maxim zum Einsatz. Der Vorteil dieses IC liegt in der Fähigkeit 3,3 Volt Signale zu verarbeiten und mit einer Versorgungsspannung von 3,3 Volt zu arbeiten. Aus diesem Grund ist es nicht notwendig extra für den CAN Treiber eine 5 Volt Versorgungsspannung auf der Platine bereit zu stellen. Der dadurch eingesparte 5 Volt Spannungsregler senkte ebenfalls die Kosten und den Umfang der Platine.

Funkmodul

Als Funkmodul wird das EasyBee - Modul (Abbildung 5.5) der Firma Flexipanel verwendet. Dieses Modul benutzt den CC2420 Chip (9) der Firma Chipcon (Abbildung 5.6) als Funkchip. Der Funkchip verwendet das in Kapitel 4.3.2 vorgestellte IEEE 802.15.4 Protokoll mit dem 2,4 GHz Frequenzband zum Senden. Das EasyBee wird mit einer Versorgungsspannung von 3,3 Volt betrieben. Beim Senden beträgt die Leistungsaufnahme 18 mA und beim Empfang 20 mA. Zum Senden und Empfangen von Nachrichten steht jeweils ein 128 Byte großer Ring - Buffer zur Verfügung. Die maximal mögliche Bandbreite beträgt beim Senden 250 kbps bei einer angegebenen Reichweite von bis zu 200 Metern.

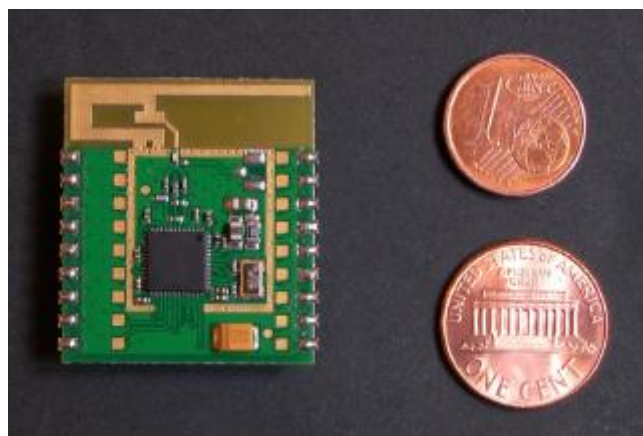


Abbildung 5.5: EasyBee Modul der Firma Flexipanel

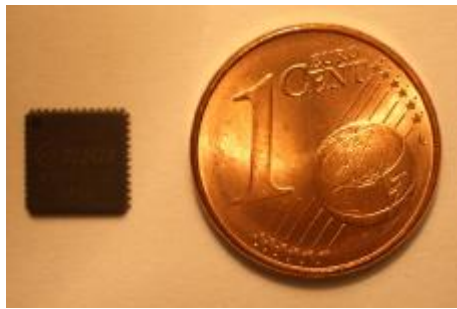


Abbildung 5.6: CC2420 Chip der Firma Chipcon

Der Atmel Controller initialisiert und kommuniziert mit dem CC2420 über das Serial Peripheral Interface (SPI) des AT90CAN128. Zusätzlich zu den Status - Pins für das SPI, Ground und der Versorgungsspannung verfügt das EasyBee - Modul über Pins, die den Zustand der internen Puffer, wie die SFD, CCA, FIFO und FIFOP Pins, des CC2420 Chips anzeigen (Abbildung 5.7). Ein weiterer Pin (VRegEn) ist für das Einschalten des EasyBee eigenen Spannungsregler zuständig.



Abbildung 5.7: Schematik des EasyBee Modul der Firma Flexipanel

Das EasyBee Funkmodul wurde gewählt, da es zum Zeitpunkt des Designs von IMAPS kein günstigeres Modul zu erwerben gab, welches den Anforderungen an das System entsprach. Die Möglichkeit, alle benötigten Bauteile zu bestellen und das RF - Modul selbst zu bestücken, wurde Aufgrund der fehlenden Möglichkeiten, die sehr kleinen Bauteile an der HAW zu bestücken, verworfen.

Wichtigste Anforderung an des Funkmodul war neben der verwendeten IEEE 802.15.4 Funktechnik und den Stromsparenden Eigenschaften, die Möglichkeit über den SFD - Pin, sowohl den Sende- als auch den Empfangszeitpunkt eines Start - of - Frame Delimeter via Interrupts angezeigt zu bekommen, wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben.

Ultraschallmodule

Beim IMAPS kam der Ultraschallsender MA40B8S und der Ultraschallempfänger MA40B8R der Firma Murata (24) zum Einsatz. Diese Ultraschallmodule verfügen über einen im Vergleich zu anderen Ultraschallmodulen in der gleichen Preislage relativ großen Sende- bzw. Empfangskegel (Abbildung 5.8).

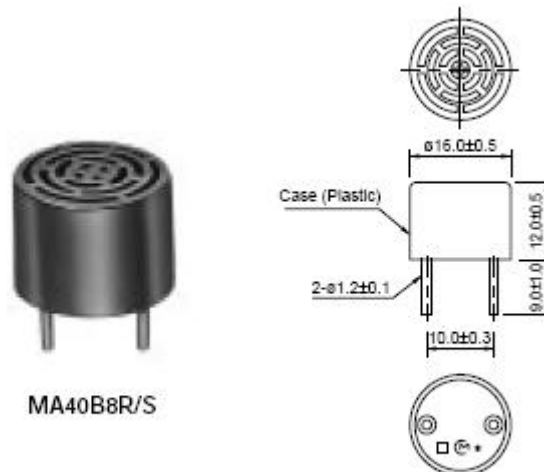


Abbildung 5.8: Murata Ultraschallmodule

Die Murata Ultraschallsender können mit maximal 40 Volt Wechselspannung betrieben werden. Um die zum Betreiben der Ultraschallsender nötige Wechselspannung zu erzeugen, kommt eine Ladungspumpe von der Firma Maxim zum Einsatz. Der MAX864 erzeugt aus der zur Verfügung stehenden 3,3 Volt Versorgungsspannung eine Wechselspannung von maximal 6,6 Volt.

Um das Signal des Ultraschallempfänger ausreichend verstärken zu können, um sie als Interruptquelle für den At90CAN128 zu benutzen, kommt eine analoge Aufbereitung mit dem Operationsverstärkern LMV822MM und LMC7215 der Firma National Semiconductor, sowie dem einstellbaren Potentionmeter MAX5405 der Firma Maxim zum Einsatz.

5.2.2 Layout

Das schematische- sowie das PCB-Layout wurde mit dem Tool Protell DXP 2004 (20) erstellt. Dieses Tool ermöglicht es ,aus den erstellten schematischen Schaltungen ein PCB - Layout zu erzeugen. Um die verschiedenen Leiterbahnen auf der Platine zu platzieren bietet Protel

DXP einen Autorouter an, welche ein automatische platzieren durch ermöglicht. Im folgenden Abschnitt wird das schematische Layout, sowie das PCB - Layout näher erläutert.

Schaltplan

Da das Entwicklungssystem von IMAPS mit Hauptmodul, Ultraschallsende - und Ultraschall-empfangsmodul modulartig aufgebaut ist, sind im Laufe dieser Arbeit drei Platinen entwickelt worden. In diesem Abschnitt wird vor allem das Layout des Ultraschallempfangsmoduls (Abbildung 5.9) erläutert. Dies ist am interessantesten und für die Funktionsweise von IMAPS am wichtigsten. Die restlichen schematischen Layouts befinden sich im Anhang A.

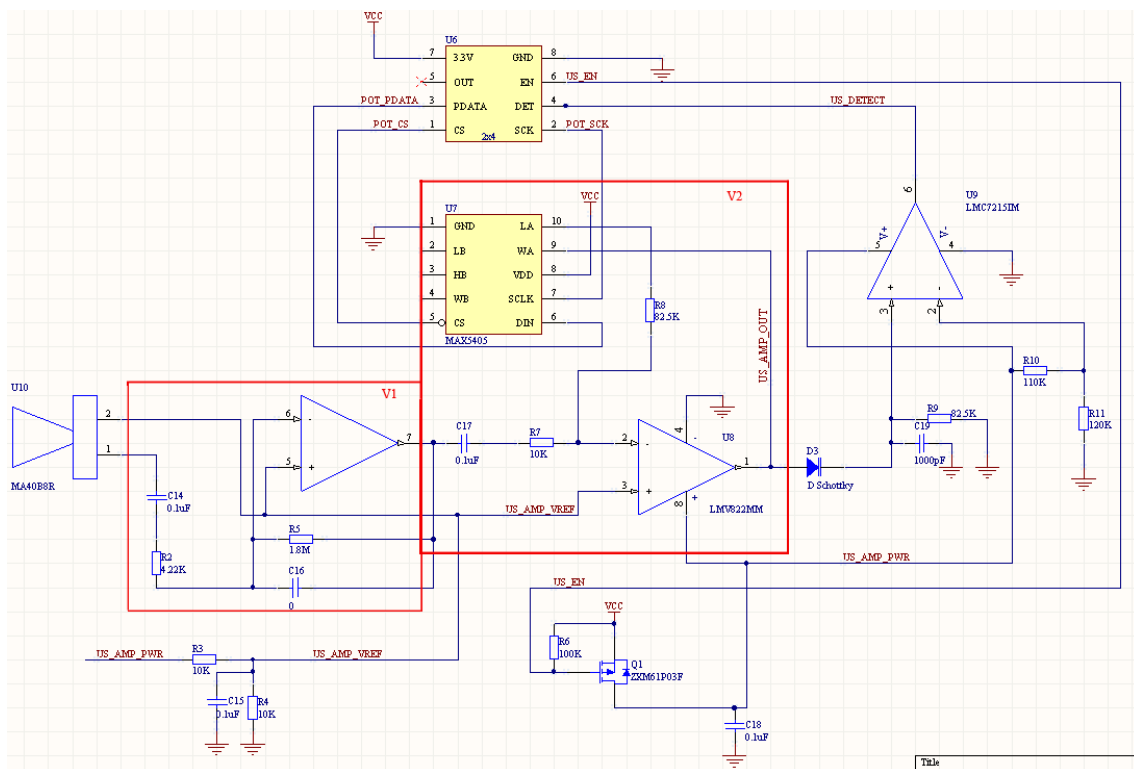


Abbildung 5.9: Schematisches Layout - Ultraschallempfangsmodul

Das Ultraschallempfangsmodul besteht im Wesentlichen aus einer Verstärkungsschaltung, die sich in zwei Teile unterteilen lässt (in Abbildung 5.9 rot umrandet und beschriftet als V1 und V2) und einem Komperator. Die erste Teil V1 verstärkt die Signale des Ultraschallempfängers in etwa um den Faktor 420. V2 ist durch den Einsatz des digitalen Potentiometers variable gehalten. Je nach Einstellung des dig. Potentiometers (in der Abbildung als U7 bezeichnet) kann diese Verstärkungsstufe das bereits um den Faktor 420 verstärkte Signal

noch einmal um den Faktor 8 verstärken. Beide Teile der Verstärkung haben als Referenzspannung für die Verstärkung die halbe Versorgungsspannung des Ultraschallempfangsmoduls. Die Referenzspannung (in der Abbildung mit US_AMP_VREF bezeichnet) liegt bei etwa 1,6 Volt.

Der Ultraschallempfänger nimmt nicht nur die Signale wahr, die ein Ultraschallsender mit 40 kHz sendet, sondern auch viele Störungen. Dieses Hintergrundrauschen wird genau wie ein tatsächliches Signal mit der Verstärkungsschaltung verstärkt. Damit dieses Rauschen nicht schon als Signal erkannt wird, wird ein Komparator eingesetzt. Dieser Komparator vergleicht das um die halbe Referenzspannung verstärkte Signal mit einer eigenen Referenzspannung, welche ca. 200 Millivolt größer ist als die halbe Referenzspannung. Diese Differenz dient dazu das verstärkte Hintergrundrauschen heraus zu filtern, denn der Komparator schaltet seinem Ausgang erst auf HIGH, wenn das verstärkte Signal die Referenzspannung des Komparator überschreitet. Das vom Komparator generierte Signal dient als Quelle für das Hauptmodul, um einen Interrupt zur Erkennung eines Ultraschallimpuls auszulösen.

PCB Layout

Bei der Erstellung des PCB Layout wurden die Bauteile per Hand positioniert. Um die IMAPS Beacons und Listener möglichst klein zu halten, wurden bei den Bauteilen für die Module hauptsächlich SMD (surface mounted devices) Bauteile verwendet, welche beidseitig auf die Platine positioniert wurden.

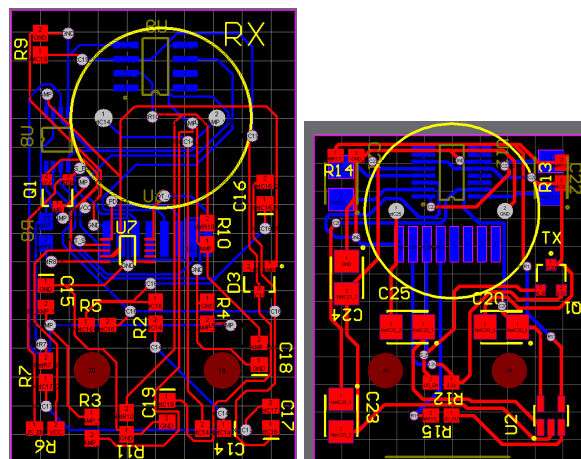


Abbildung 5.10: PCB Layout - Ultraschallempfangs- und Ultraschallsendemodul

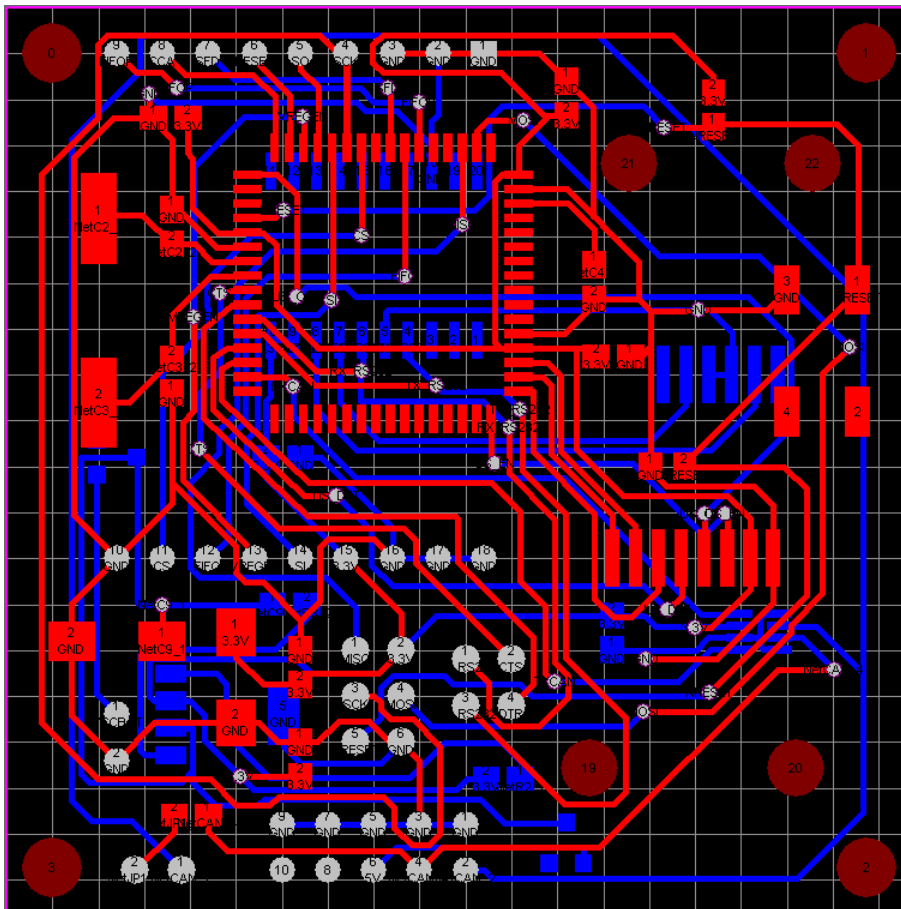


Abbildung 5.11: PCB Layout - Hauptmodul

Nach der Positionierung wurde mit Hilfe des Autorouters die einzelnen Leitungen platziert. Als Ergebnis entstanden drei Platinen, welche in Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11 zu sehen sind. Die Ausmaße der Platinen sind mit 50 mal 50 Millimeter für die Hauptplatine und 25 mal 30 bzw. 25 mal 40 Millimeter für das Ultraschallsende- bzw. Ultraschallempfangsmodul so gering, dass ein Listener, welcher aus Hauptmodul und Empfangsmodul besteht, bequem in einer Hand getragen werden kann und ein Beacon möglichst einfach an der Decke befestigt werden kann.

5.3 Software

Nachdem im letzten Abschnitt dieses Kapitels die Hardware des IMAPS vorgestellt wurde, werden in diesem Abschnitt die Softwarebestandteile diskutiert. Damit Beacons ihre eigenen

Positionsinformationen an Listener und von einem Listener Daten an den PC des Benutzers senden kann, wurden zwei Protokolle entwickelt. Diese beiden Protokolle werden zum Anfang dieses Kapitel erläutert.

Nachfolgend wird auf die im Verlauf dieser Arbeit entwickelten Treibersoftware für die Listener und die Beacons eingegangen. Diese Treibersoftware wurde in der Programmiersprache C implementiert. Als Programmierumgebung wurde AVR Studio der Firma Atmel (4) und WinAVR (40) mit seinem Programmiers Notepad verwendet. Um die Funkkommunikation zu realisieren kam eine von der Firma Chipcon frei zur Verfügung gestellte Library (9) zum Einsatz. Diese Library wurde für den Einsatz im IMAPS angepasst und an einigen Stellen umgeschrieben.

Damit ein Listener mit einem PC, PDA oder Smartphone eines IMAPS Benutzers kommunizieren kann, wurde eine Schnittstelle implementiert. Als Programmiersprache für die Schnittstelle wurde die Programmiersprache Java (22) der Firma Sun Microsystems gewählt. Als Entwicklungsumgebung kam Eclipse (15), eine frei verwendbare Entwicklungsplattform, zum Einsatz. Die Schnittstelle verarbeitet die, über das RS 232 Interface des Listeners, empfangenen Daten und berechnet die gewünschten Positionsinformationen. Mit Hilfe dieser Schnittstelle, welche am Ende des Kapitel diskutiert wird, ist es IMAPS möglich Positionsdaten für Anwendungssoftware bereit zu stellen.

5.3.1 IMAPS - Paket Format

Damit vom IMAPS symbolische und physikalische Positionsdaten ermittelt werden können, müssen zwischen den Beacons und dem Listener verschiedene Daten ausgetauscht werden.



Abbildung 5.12: IMAPS Funkprotokoll

Diese Daten werden in dem Format des in Abbildung 5.12 dargestellten Protokolls übertragen. Wie in der Abbildung zu sehen ist, beträgt die Größe des Protokolls zwischen 9 und 25 Byte. Die Mindestgröße von 9 Byte setzt sich dabei aus zwei Byte für die UID, einem Byte großen Längenfeld und 6 Byte physikalische Koordinaten der Beacon zusammen.

Die UID ist eine eindeutige ID, welche jede Beacon innerhalb einer geschlossenen Installation, wie einem Gebäude, eindeutig identifiziert. Die Koordinaten bestehen aus je zwei Byte für die x-, y- und z-Koordinaten der Beacon. In einer IMAPS - Installation, in der symbolische Positionsdaten ermittelt werden sollen und die x-, y- und z-Koordinaten nicht von Bedeutung

sind, werden diese Koordinaten nicht beachtet und damit den Beacons bei der Installation auch nicht zugewiesen werden. In dem Length - Feld wird die Länge des Description - Feldes angegeben. Wird das Description - Feld nicht verwendet ist der Wert des Length - Feldes gleich null. Im Description - Feld wird eine symbolische Beschreibung für diese Beacon übertragen. Diese symbolische Beschreibung wird im IMAPS dazu verwendet symbolische Räume, wie in Kapitel 4.5 dargestellt, zu definieren. Das Description - Feld ist im IMAPS auf eine maximale Länge von 16 Byte beschränkt. Diese Länge wurde so gewählt, dass symbolische Räume, wie z.B. „Labor 1101c“, „Büro 1203“ oder „Empfangshalle“, definiert werden können. Sollte die Länge für eine Anwendung nicht ausreichen, lässt sich die Länge des Description - Feldes leicht erweitern.



Abbildung 5.13: IMAPS Protokoll

Nachdem der IMAPS Listener nach dem TDoA Prinzip die Zeit gemessen hat, die das Ultraschallsignal benötigt, um die Entfernung zwischen Beacon und Listener zurückzulegen, sendet der Listener die Daten der Beacon und den zugehörigen Zeitwert zur Auswertung und Weiterverarbeitung an die Java - Schnittstelle. Zu diesem Zweck wurde das in Abbildung 5.13 dargestellte Protokoll definiert. Dieses Protokoll hat eine Größe von minimal 15 und mit der maximalen Länge des Description - Feldes eine maximale Größe von 31 Byte. Das erste Byte dient als ein Start - of - Frame Delimiter und zeigt der Java - Schnittstelle den Start eines Frames an. Als nächstes folgt die zwei Byte große UID der Beacon, der die gemessene Zeit, welche das Signal für den Weg von der Beacon zum Listener benötigt hat, zugeordnet wird. Das Length - Feld gibt genau wie beim oben beschriebenen Funkprotokoll an, wie groß das Description - Feld ist. Dieses Description - Feld enthält die symbolische Beschreibung für die Beacon. Danach folgt ein sechs Byte großes Feld, welches die physikalischen Koordinaten der Beacon enthalten. Im zwei Byte großen Time - Feld wird die gemessene Zeit übertragen. Das Ende eines Frames bildet ein drei Byte großes END - Feld. Bei beiden Protokollen werden alle zwei Byte großen Werte in der Art übertragen, dass zuerst das untere Byte und dann das oberen Byte übertragen wird.

5.3.2 Beacon

IMAPS ist ein dezentrales System, in dem die Beacons keinen zentralen Koordinator besitzen. Dennoch sollten nach Möglichkeit mehrere Beacons nicht gleichzeitig senden. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist eine Koordination der Beacons untereinander.

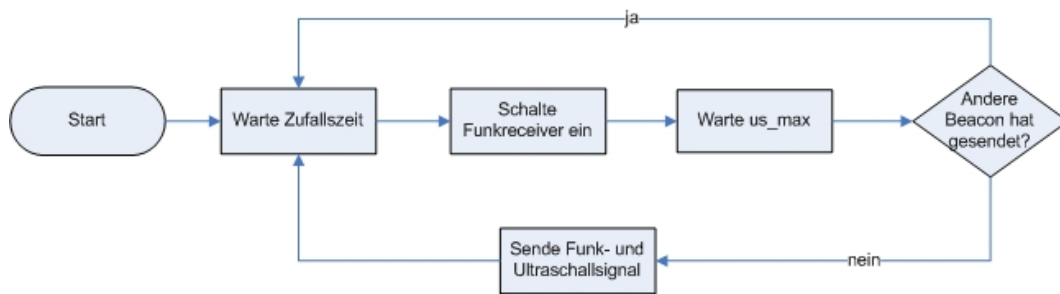


Abbildung 5.14: Flussdiagramm Beacon

Wie schon in Kapitel 4.5 beschrieben, kann es vorkommen, dass mehrere tausend Beacons in einem Gebäude installiert werden. Selbst wenn die Funksignale einer Beacon nicht alle Beacons einer Installation erreichen, so würde der für die Koordination der Beacons nötige Datenverkehr den von IMAPS benutzten Funkkanal zu lange blockieren. Damit würde das Intervall der Messungen erheblich verringert und es würde z.B. bei sich bewegenden Listern zu falschen Positionsinformationen kommen. Aus diesem Grund wurde diese Variante bei der Entwicklung von IMAPS verworfen.

Stattdessen wurde beim IMAPS, das auch schon in Cricket (siehe Kapitel 3.7) verwendete Verfahren mit einer Zufallsverteilung gewählt. Wie im Flussdiagramm (Abbildung 5.14) des Treiberprogramms dargestellt, wartet die Beacon eine Zufallszeit zwischen 130 und 290 Millisekunden. Nach Ablauf dieser Zeit schaltet die Beacon ihren Funktransceiver ein. Wenn nach einer Wartezeit von 32 Millisekunden keine andere Beacon gesendet hat, dann sendet die Beacon ihr Funk- und ihr Ultraschallsignal aus. Danach wiederholt sich die Prozedur. Wenn eine andere Beacon innerhalb der 32 Millisekunden Wartezeit gesendet haben sollte, dann sendet die Beacon ihr Funk- und Ultraschallsignal nicht aus, sondern beginnt die Prozedur wieder von vorne. Die Wartezeit von 32 Millisekunden ergibt sich aus der in Kapitel 4.4.2 beschriebenen Formel. Nach dieser Zeit ist eine gesendete Ultraschallwelle nicht mehr von einem Listener detektierbar.

5.3.3 Listener

Trotz des im vorigen Kapitel vorgestellten Algorithmus, der Kollisionen und Interferenzen bei den Signalen der Beacons minimieren und verhindern soll, kann es wie in Kapitel 4.4.3 gezeigt, noch zu Kollisionen kommen.

Um Kollisionen zu erkennen verwendet ein Listener den in Abbildung 5.15 dargestellten Algorithmus. Nachdem der Listener das Funksignal einer Beacon empfangen hat, schaltet er den Ultraschallempfänger ein und startet zwei Timer. Ein Timer wird dazu genutzt die Zeit zu messen, bis ein Ultraschallsignal eintrifft. Der zweite Timer ist auf 32 Millisekunden eingestellt, was wieder der Zeit entspricht, nach der ein Ultraschallsignal nicht mehr detektierbar

ist. Sollte nach Ablauf dieser Zeit kein Ultraschallsignal eingetroffen sein, so befindet sich der Listener außerhalb der Reichweite des Ultraschallsignals der Beacon. Die empfangenen Funkdaten werden in diesem Fall verworfen und der Listener wartet auf ein neues Signal. Wenn jedoch innerhalb dieser Zeit zwei Ultraschall- oder zwei Funksignale eingetroffen sind, so gab es Interferenzen mit einer anderen Beacon. Auch in diesem Szenario werden die Daten aus dem Funksignal verworfen und der Listener wartet auf ein neues Funksignal einer Beacon. Nur wenn nach dem empfangenen Funksignal kein weiteres Funksignal und nur ein Ultraschallsignal eintrifft, ist die Messung gültig. Der Listener verpackt dann die Daten in das in Kapitel 5.3.1 vorgestellte Format und sendet dies über die serielle Schnittstelle an den PC des Benutzers.

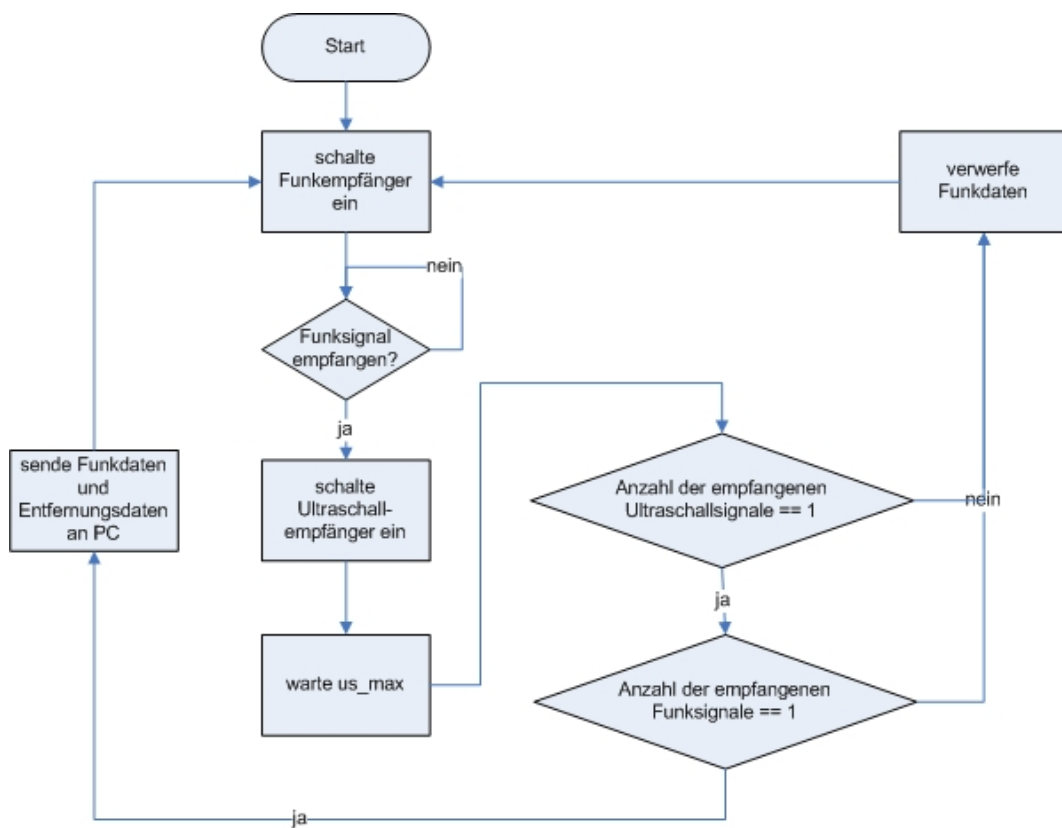


Abbildung 5.15: Flussdiagramm Listener

5.3.4 Java - Schnittstelle

Um symbolische und physikalische Positionen zu ermitteln und Anwendungsprogrammen zur Verfügung zu stellen, wurde eine Schnittstelle entwickelt. Java wurde als Programmiersprache für das Schnittstellenprogramm gewählt, da die Virtual Machine (VM) von Java für

alle gängigen Betriebssysteme für PC und Laptops, Smartphones und PDAs zur Verfügung steht. Aufgrund des Aufbaus der Virtual Machine ist sichergestellt, dass die von der Schnittstelle verwendeten Funktionen der VM überall in identischem Funktionsumfang zur Verfügung stehen. Dies erlaubt eine einfache Portierung der Schnittstelle auf eine Vielzahl von Systemen, ohne dass Änderungen am Code der Schnittstelle vorgenommen werden müssten. Die Schnittstelle gliedert sich, wie in Abbildung 5.16 zu sehen ist, in 3 Bereiche. Der erste Bereich der Schnittstelle ist der DatenWrapper - Modul. Dieser besteht aus einem Handler für die über die serielle Schnittstelle ankommenden Daten. Der DatenWrapper verwaltet die komplette Kommunikation des Gerätes auf dem die Schnittstelle läuft und dem Listener. Sobald ein serielles Paket (siehe 5.3.1) empfangen wurde, wird dieses an das PackageHandling weiter gereicht. Dieser Bereich der Schnittstelle extrahiert alle notwendigen Daten aus dem seriellen Paket und aktualisiert den internen Datensatz mit allen bisher empfangenen Daten.

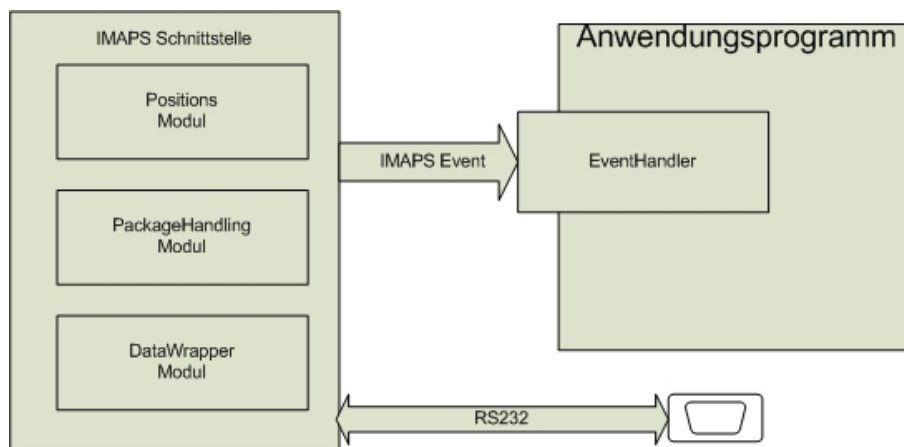


Abbildung 5.16: Aufbau Schnittstelle

Der dritte Bereich ist das Position - Modul. Dieses Modul wertet die intern gespeicherten Datensätze aus und errechnet die symbolischen oder physikalischen Positionsdaten. Für die Berechnung der physikalischen Positionsdaten verwendet dieses Modul das Jama Package (25). Wie bereits im Kapitel 4.3.1 beschrieben, verwendet IMAPS Multilateration zur Berechnung von physikalischen Positionsdaten. In Abbildung 5.17 ist der Algorithmus zur Berechnung physikalische Positionsdaten als Flussdiagramm dargestellt. Der Algorithmus überprüft zunächst, ob mindestens drei Datensätze unterschiedlicher Beacons vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, können keine physikalische Positionsdaten ermittelt werden und der Algorithmus bricht seine Berechnung ab, indem er Null zurück gibt. Wenn ausreichend Datensätze vorhanden sind, werden aus den Datensätzen die Matrix A und der Vektor \vec{b} erstellt, um die Gleichung $A\vec{x} = \vec{b}$ lösen zu können. Sollten genau drei Datensätze von unterschiedlichen Beacons vorhanden sein, dann überprüft der Algorithmus ob die Determi-

nante von A gleich null ist. Wenn dies der Fall ist, bricht der Algorithmus die Berechnung ab. Sollten mehr als drei Datensätze vorhanden sein oder sollte die Determinante von A ungleich null sein, dann führt der Algorithmus zu einer eindeutigen Lösung für den Vektor \vec{x} . Der Vektor \vec{x} enthält die x- und y-Koordinate des Benutzers. Um die z-Koordinate zu erhalten, werden die x- und y-Koordinate in die Gleichung $d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$ eingesetzt und nach z umgestellt. Zum Abschluss überprüft der Algorithmus ob z kleiner null ist. Sollte dies der Fall sein, so bricht der Algorithmus ab. Ansonsten liefert der Algorithmus die berechneten physikalischen Koordinaten, welche dann in ein ListenerBean gekapselt werden.

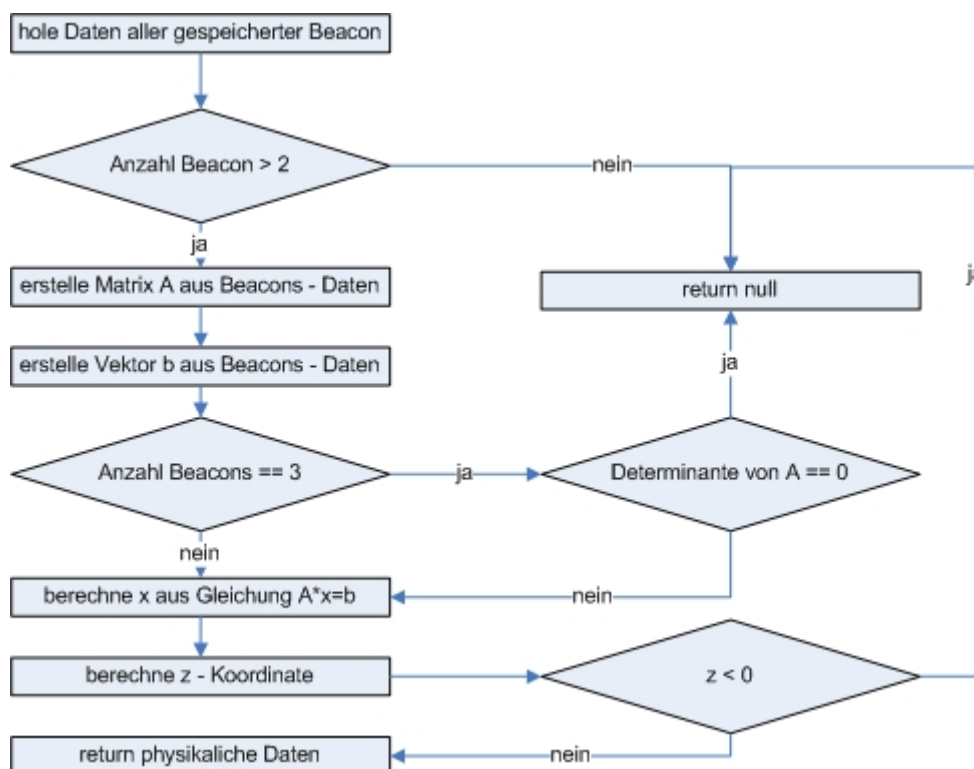


Abbildung 5.17: Algorithmus zur Berechnung physikalischer Positionsdaten

Die berechneten Positionsdaten werden der Anwendungssoftware als Event zur Verfügung gestellt. Es werden zwei Arten von Events bereitgestellt. Ein ListenerEvent, welches ListenerBean enthält und ein BeaconEvent, welches eine Summe von BeaconBeans enthält. In diesem ListenerBean sind die errechneten physikalischen und symbolischen Daten des Listener's hinterlegt. Ein BeaconsBean enthält die Informationen von einer Beacon und die Entfernung, die diese Beacon vom Listener entfernt ist. Wenn die Anwendungssoftware ein BeaconEvent anfordert, enthält dieses alle vom Listener in einer gewissen Zeitspanne emp-

fangenen Beaconinformationen, mit den dazugehörigen Abständen.

Das PositionModul ist als ein „TimerTask“ realisiert. Die Anwendungssoftware initialisiert das PositionModul mit eine Zeitspanne, nach der die Daten zyklisch ausgewertet werden sollen. Damit die Anwendungssoftware die Event der Schnittstelle empfangen kann, muss sie ein EventHandler zur Verfügung stellen, der das IMAPSHandler Interface implementiert. Dieser EventHandler wird der Java - Schnittstelle beim Start zusammen mit der Zeitspanne für die zyklische Auswertung, der Art von Events, die der EventHandler empfangen soll, und einer Beschreibung, an welcher seriellen Schnittstelle der Listener angeschlossen ist, übergeben.

6 Ergebnisse der Entwicklung

Um die Leistungsfähigkeit und die korrekte Funktionsweise der entwickelten Hardware (siehe Abbildung 6.1) und Treiber zu testen und zu analysieren, wurden verschiedene Tests durchgeführt. Diese Testläufe werden in diesem Kapitel genauer beschrieben und deren Ergebnisse diskutiert.

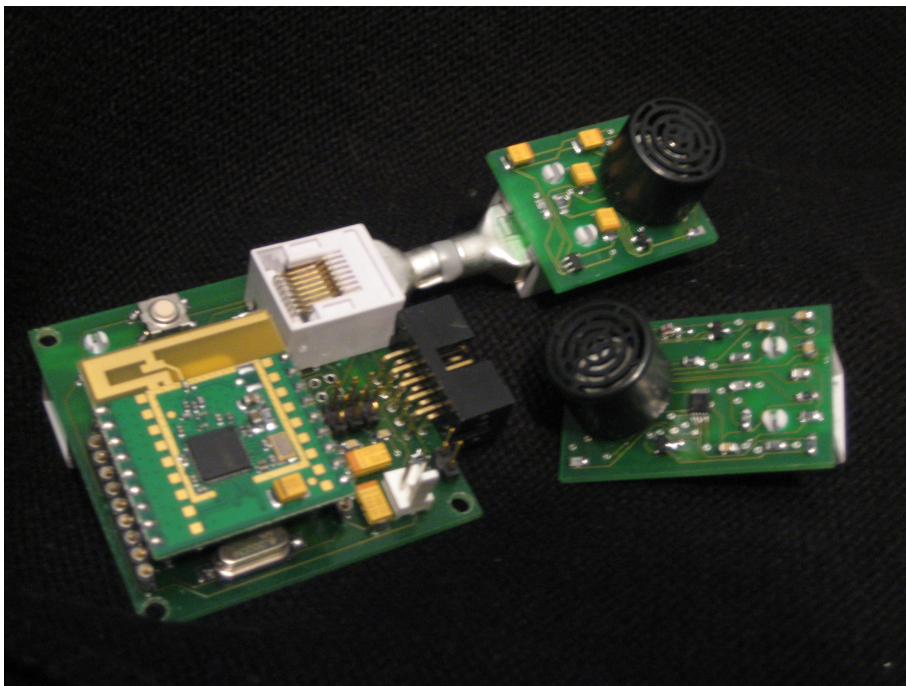


Abbildung 6.1: Hauptplatine mit verbundenem Ultraschallsendemodul und Ultraschallempfangsmodul

6.1 Genauigkeit bei der Entfernungsmessung

Bei dem ersten Test, der mit der entwickelten Hardware durchgeführt wurde, wurde die Genauigkeit der Hardware bei der Entfernungsmessung untersucht. Der Versuch wurde mit

einer Beacon, welche in 1 Meter Höhe auf Rollwagen fixiert wurde und einem in derselben Höhe fixierten Listener durchgeführt. Um Messfehler durch die Abschwächung des Ultraschallsignals zum Rande des Ausbreitungskegels zu verhindern, wurde der Ultraschallsender der Beacon und der Ultraschallempfänger des Listener so aufeinander ausgerichtet, dass sie direkt aufeinander zeigen. Bei dem Test wurde der Rollwagen in 10 Zentimeter Schritten vom Listener weg bewegt. Bei jedem dieser 10 Zentimeter Schritten wurden 100 Messungen genommen. Ab einer Entfernung von zwei Metern wurden die Schritte in denen die Entfernung gemessen wurden dann sukzessive erhöht. In der Abbildung 6.2 sind die Messwerte grafisch dargestellt und die Abweichungen zu erkennen. Auf der x-Achse sind in diesem Diagramm die tatsächlichen Abstände und auf der y-Achse die Abweichungen der gemessenen Distanzen von der tatsächlichen Entfernung abgebildet. Die senkrechten Linien stellen den Bereich dar, in dem die Messwerte variieren. Der Punkt markiert die mittlere Abweichung der 100 Messwerte. Wie man im Diagramm erkennen kann, nimmt die Ungenauigkeit mit steigender Distanz zu. Dies liegt vor allem an der zunehmenden Dämpfung des Ultraschallsignals bei größer werdender Entfernung von Sender und Empfänger. Bis zu einer Distanz von sechs Metern liegt der Messfehler bei unter 50 Millimeter und ist damit akzeptabel.

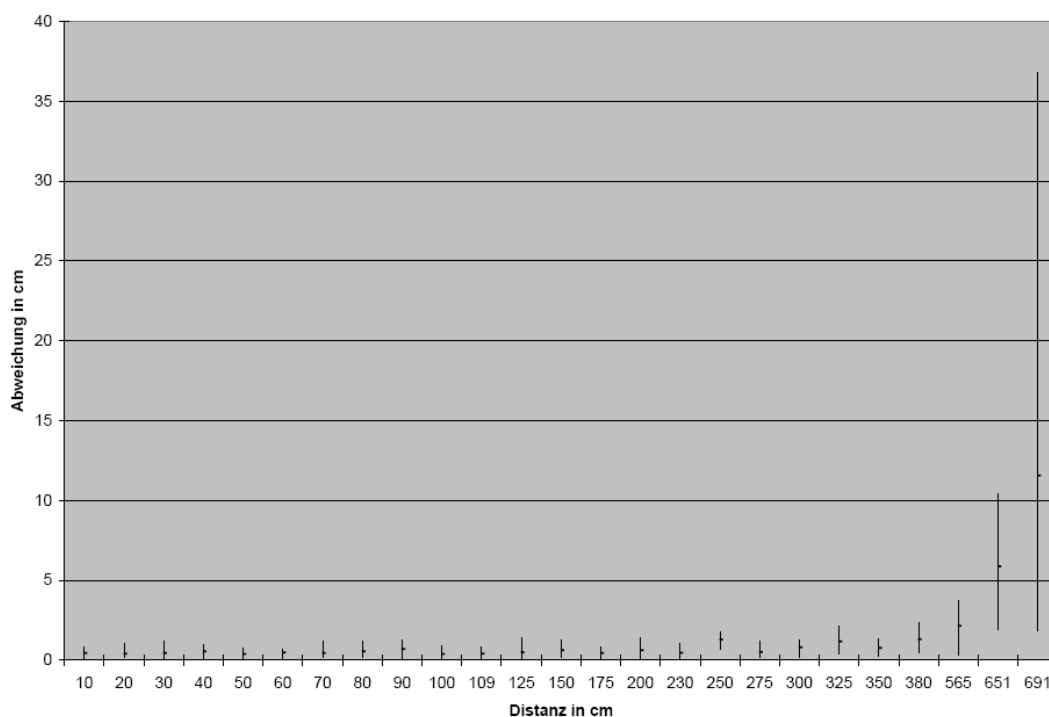


Abbildung 6.2: Genauigkeit bei der Entfernungsmessung

6.2 Test der Treiber

Bei diesem Test wurde die Funktionsweise des Treibers der Beacons in Bezug auf die Kollisionsvermeidung getestet. Es wurden 4 Beacons an der Decke, in der Höhe von 2 Metern über dem Listener, installiert und mit einem Listener 6000 Messwerte genommen.

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 6.3 dargestellt. In dieser Abbildung ist ein Ausschnitt aus einer schematischen Draufsicht eines Labores der HAW Hamburg zu sehen. Am linken Rand der Abbildung sind die Fenster des Raumes und, in der oberen linken Ecke des Bildes, ein Betonpfeiler zu erkennen. Die Beacons werden in der Abbildung durch ein B dargestellt. Die drei in Klammer gesetzten Zahlen stellen die Koordinaten der Beacons in einem virtuellen Koordinatensystem, in der Reihenfolge x-, y- und z-Koordinate, dar.

Der Listener wurde direkt unter Beacon 4 platziert. Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 6.1 zu sehen. Die ersten vier Spalten der Tabelle zeigt die jeweilige Anzahl der Signale, die die entsprechende Beacon abgegeben hat. Die 5. Spalte zeigt die Gesamtzahl der Messungen und die sechste Spalte gibt die Zeit an, die benötigt wurde, um die Anzahl der Messungen zu erfassen.

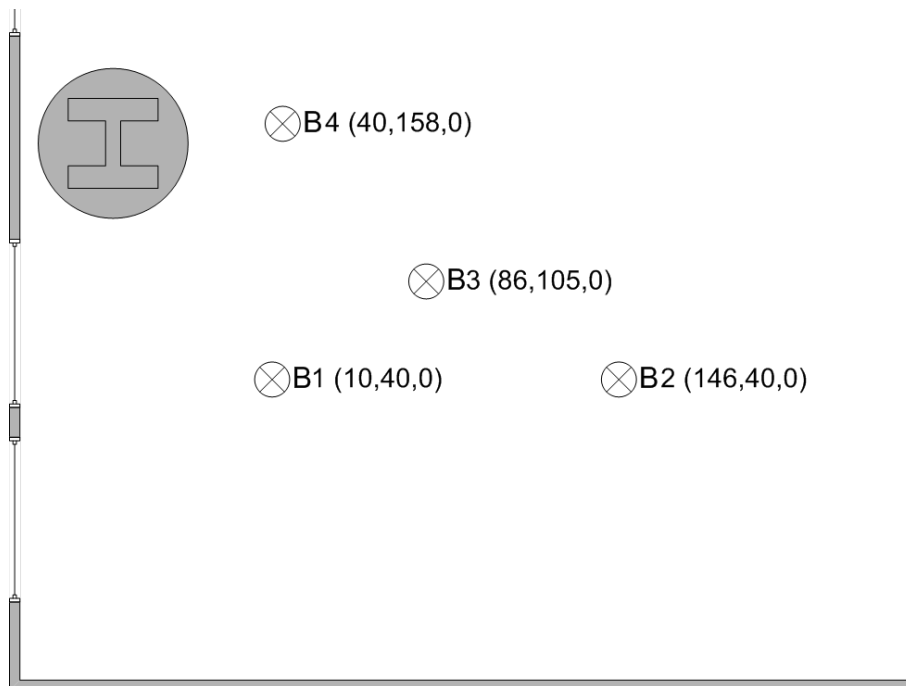


Abbildung 6.3: Aufbau Testbetrieb

Die der Tabelle 6.1 erfassten Messungen beinhalten nur gültige Messungen. Messungen mit defekten Funksignalen oder Interferenzen bei Ultraschallsignalen wurden vom Listener

verworfen. Mit einem Paketsniffer der Firma Chipcon (10) wurde der gesamte Test überwacht. Mit diesem Paketsniffer können Kollisionen bei Funksignalen erkannt werden. Solche defekten Signale können darauf hindeuten, dass zwei Beacons zur gleichen Zeit gesendet haben. Es wurden jedoch während des gesamten Test keinerlei Kollisionen vom Sniffer aufgefangen. Dies lässt darauf schließen, dass der Algorithmus zur Kollisionsvermeidung der Signale zufrieden stellend funktioniert. Eine weitere Erkenntnis aus dem Test ist, dass der Algorithmus der Beacon für die Kollisionserkennung und -vermeidung in Bezug auf die Anzahl der Signale der einzelnen Beacons gut skaliert. Im Idealfall sollten alle 4 Beacon auf jeweils eine Gesamtzahl von 1500 ausgesendeten Signalen kommen. Aus den Werten aus der Tabelle 6.1 ist zu sehen, dass die Beacon 4 die größte Abweichung von diesem Idealfall aufweist. Dies kann mit der unmittelbarer Nähe der Beacon zu einem Betonpfeiler erklärt werden. Dieser Pfeiler erhöht die Wahrscheinlichkeit von reflektierten Ultraschallsignalen. Diese Reflektionen können zu Interferenzen führen und die Signal werden verworfen. Bei den anderen drei Beacons ist diese Gefahr geringer, da in einem Radius von jeweils einem Meter um die Beacons kein Gegenstand befindet, an dem sich die Ultraschallsignale reflektieren können. Die geringere Messrate bei der Beacon 4 lässt sich somit auf den Algorithmus zur Interferenzerkennung zurückführen.

Beacon 1	Beacon 2	Beacon 3	Beacon 4	Gesamt	t in ms
130	124	129	117	500	62950
133	113	125	129	500	67978
140	121	116	123	500	65614
136	119	126	119	500	61298
130	130	127	113	500	65074
131	133	120	116	500	69951
120	130	136	114	500	62800
124	124	131	121	500	65744
128	122	120	130	500	58440
124	125	132	119	500	62801
118	130	134	118	500	64473
116	123	134	127	500	65163
1530(25,5%)	1494(24,9%)	1530(25,5%)	1446(24,1%)	6000(100%)	772295

Tabelle 6.1: Signalverteilung 4 Beacons

Eine weitere Erkenntnis aus diesem Test ist die durchschnittliche Zeit, in der ein Listener 500 Messungen auffängt. Nach den gemessenen Werten werden im Durchschnitt alle 128 Millisekunden ein Messwert vom Listener zur Verfügung gestellt. Eine hohe Taktzahl von zur Verfügung gestellten Messwerte ist vor allem bei der Positionserkennung von sich bewegenden Listenern sehr wichtig. Obwohl in dieser Arbeit das Problem der Positionserkennung

bei sich bewegenden Listnern nicht genauer untersucht wird, deutet die hohe Taktzahl der Messungen darauf hin, dass ein solches Problem mit dem IMAPS erfolgreich untersucht und gelöst werden kann.

6.3 Winkelabhängigkeit

In diesem Test wurde die Genauigkeit der Entfernungsmessung von IMAPS in Abhängigkeit des Winkels in denen eine Beacon und ein Listener zueinander stehen. Zu diesem Zweck wurden eine Beacon und ein Listener in zwei Meter Entfernung direkt aufeinander ausgerichtet. Die Beacon wurde dann, wie in Abbildung 6.4 zu sehen, in fünf Zentimeter Schritten versetzt und 100 Messungen genommen, bis der Listener keine Signale der Beacon mehr aufnehmen konnte.

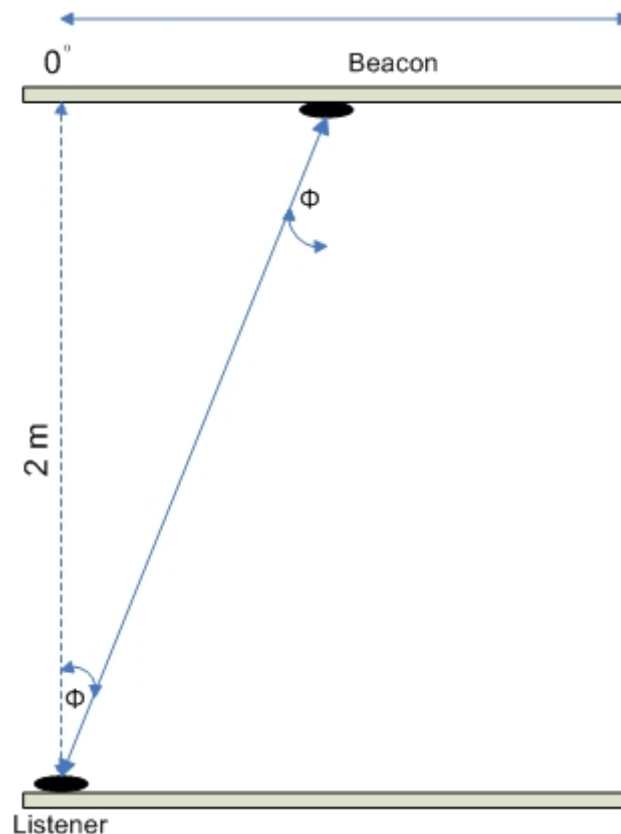


Abbildung 6.4: Winkeltest

In der Abbildung 6.5 sind die gemessenen Entfernungen in Abhängigkeit vom Winkel, in denen die Beacon und der Listener zueinander stehen, dargestellt. Die senkrechten Geraden

beschreiben alle bei dem jeweiligen Winkel gemessenen Entfernungen. Die Punkte auf den senkrechten Geraden stellen den Mittelwert aller gemessenen Distanzen dar. Die Messgenauigkeiten und die Abweichungen zwischen den gemessenen minimalen und maximalen Entfernungen nehmen mit größer werdenden Winkel zu. Ab einer Versetzung der Beacon von 130 Zentimetern wird die Ultraschallwelle so stark gedämpft ist, dass der Listener diese nicht mehr als Ultraschallsignale einer Beacon erkennt.

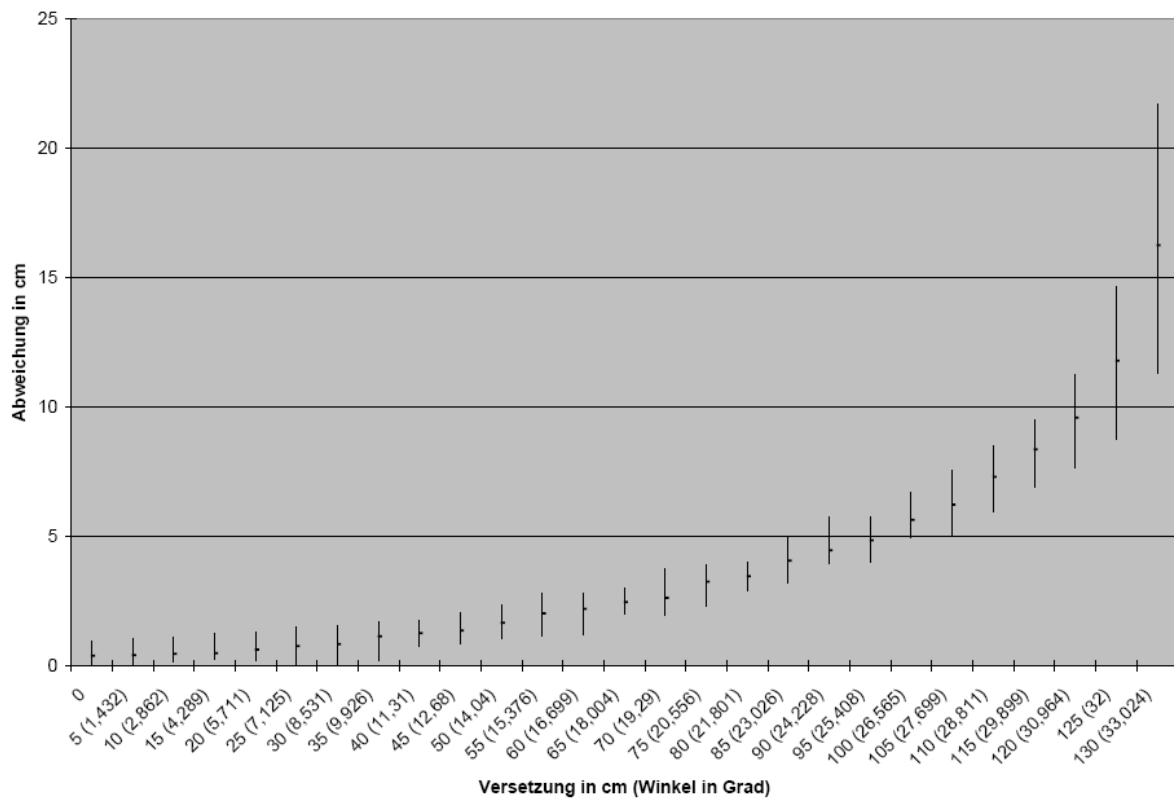


Abbildung 6.5: Ergebnisse Winkeltest

Die Erkenntnisse aus diesem Test haben Einfluss auf das Raster, in dem die Beacon platziert werden sollten, wenn in einer IMAPS Installation physikalische Positionsdaten ermittelt werden sollen. Um möglichst genaue Werte erzielen zu können, sollten die IMAPS Beacons nicht weiter als 120 Zentimeter auseinander platziert werden. Bei einer größeren Distanz zwischen den Beacons nimmt der Fehler in den Maßen zu, dass das System zu ungenau wird und die Daten unbrauchbar sind. Ab einem Winkel von über 33 Grad empfängt der Listener keine Werte mehr von der Beacon. Bei einer Installation von IMAPS, die symbolische Positionsdaten ermitteln soll, sollten die Beacons aus demselben Grund eine geringere Entfernung als 120 Zentimeter zueinander haben.

6.4 Schnittstelle

Bei diesem Test wurde die Funktionsfähigkeit der Positionsberechnung durch die Java Schnittstelle überprüft. Zu diesem Zweck wurde ein Testprogramm geschrieben, welches vier Beacons simuliert. Das Programm simuliert dann einen Listener der sich 150 Centimeter unter der ersten Beacon befindet. Bei diesem Test wurden die Positionsdaten des Listeners korrekt ermittelt. Es traten lediglich einige Rundungsfehler auf, welche auf die Verwendung von Java und deren interne Abbildung von Gleitkommazahlen beruhen.

Nachdem die korrekte Funktionsweise des Algorithmus überprüft war, wurde ein Test nach dem Versuchsaufbau aus Kapitel 6.2 durchgeführt. Da die Funktionsweise des Algorithmus bereits getestet wurde und die Einflussfaktoren auf die Genauigkeit bei der Positionsbestimmung von physikalischen Koordinaten durch die oben beschriebenen Tests bereits untersucht wurden, diente dieser Test der Überprüfung des Zusammenspiels aller Komponenten. Der Test liefert erfolgreich physikalische Positionsdaten und zeigte somit, dass alle Komponenten im IMAPS erfolgreich zusammen arbeiten.

7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und ein Resümee zur Arbeit gegeben. Im zweiten Abschnitt „Verbesserungsvorschläge und Zukunftsaussichten“ werden Verbesserungspotentiale angesprochen und es wird versucht, eine Zukunftsprognose über die Verwendung und Weiterentwicklung des IMAPS zu geben.

7.1 Resümee

Ziel dieser Arbeit war es eine Basis für ein Indoor Positionierungssystem zu entwickeln, welches sich an dem Prinzipien des Cricket Systems orientiert. Im Verlauf dieser Arbeit wurden drei Hardwareplattformen und Software zum betreiben dieser Hardware erstellt, mit deren Hilfe Positionsinformationen innerhalb von Gebäuden ermittelt werden kann. Die abschließenden Tests haben gezeigt, dass das hier geschaffene IMAPS funktionsfähig ist und die Arbeit damit erfolgreich abgeschlossen wurde.

Trotz des erfolgreichen Abschlusses gab es dennoch einige Problem, die anders angegangen oder besser gelöst werden könnten. Konzeptionell ist die Auswahl der Hardware - Schnittstellen zu nennen. Die CAN - Schnittstelle wurde in das Layout integriert, damit das Modul als Funkmodul für mobile Roboter mit einem Aksen - Board als Kontrolleinheit verwendet werden kann. Sie wird jedoch im IMAPS nicht verwendet. Im Nachhinein betrachtet, wäre es sinnvoller gewesen, anstelle der CAN - Schnittstelle eine USB - Schnittstelle zu verwenden. Dies hätte zwei Vorteile mit sich gebracht. Zum einen werden viele Laptops, PDAs und Smartphones nicht mehr mit einer seriellen Schnittstelle bestückt, aber es gibt so gut wie kein Gerät was keinen USB - Anschluss besitzt. Somit wäre mit einer USB - Schnittstelle eine bessere und zukunftssichere Möglichkeit gegeben um eine Listener an ein solches Gerät anzuschließen. Zum anderen bietet USB die Möglichkeit den Listener mit Energie zu versorgen. Damit könnte auf die Stromversorgung mit einem Batteriepack verzichtet werden, was den Listener handlicher machen würde.

Aber nicht nur Konzeptionell, sondern auch bei der Umsetzung des Konzeptes in ein Hardware - Layout sind Fehler aufgetreten, bei deren Analyse und Korrektur viel Zeit in Anspruch genommen haben. Bei vier der acht erstellten Hauptmodule wurde Senden und Empfangen beim Konnektor für den Programmieradapter vertauscht. Der selbe Fehler ist ebenfalls bei der RS232 - Schnittstelle aufgetreten. Zusätzlich zu dem Vertauschen der Leitung bei

der RS232 Schnittstelle kommt hinzu, das bei vier Platinen ein falsches PCB - Layout für den Konnektor verwendet wurde. Durch diese Fehler ist eine Kompatibilität nicht vollständig gewährleistet. Die genannten Fehler wären leicht durch ein saubereres Layout und eine bessere Kontrolle zu verhindern gewesen und hätten viel Zeit einsparen können. Grundsätzlich ist zu sagen, dass auch ohne die Zeit für die Lösung der genannten Fehler, der zeitliche Aufwand für die Entwicklung und vor allem für die Inbetriebnahme der Hardware unterschätzt wurde.

7.2 Verbesserungsvorschläge und Zukunftsaussichten

Das in dieser Arbeit entwickelte IMAPS ist in seiner Form zwar schon einsetzbar, dennoch gibt es viel Potential für Verbesserungen und Weiterentwicklungen. Viele der in Kapitel 4.1 genannten Designkriterien sind aufgrund der begrenzten Zeit, die für diese Arbeit zur Verfügung stand, noch nicht voll erfüllt. Diese Punkte sind der angestrebte geringe Installations- und Verwaltungsaufwand und die Ermittlung der physikalischen und symbolischen Koordinaten.

Der Installationsaufwand ist in seiner jetzigen Form sehr hoch, da die symbolischen Positionsdaten, sowie die physikalischen Koordinaten jeder Beacon per Hand in die Treibersoftware eingegeben werden müssen. Dadurch muss der Treiber für die Beacons jedes mal neu kompiliert und in den Kontroller der Beacon geladen werden. Dies beansprucht einen sehr großen Zeitraum. Das gleiche Problem ergibt sich, wenn sich symbolische Räume oder physikalische Koordinaten einer Beacon ändern. Auch hier müssen die neuen physikalischen und symbolischen Positionsdaten der Beacon in der Treibersoftware direkt geändert und in den Kontroller geladen werden. Um den Installationsaufwand zu senken, muss der Treiber der Beacon in der Art weiterentwickelt werden, dass die physikalischen und symbolischen Positionsdaten einer Beacon per Funk mitgeteilt und somit auch geändert werden können.

Wie die Test in dieser Arbeit gezeigt haben, funktioniert die Ermittlung der symbolischen und physikalischen Positionsdaten durch das IMAPS. Dennoch ist die Performanz der Positionsermittlung verbesserungsfähig. Dies gilt sowohl für die Hardware, als auch für die Software. Der Einsatzbereich von IMAPS bei der Ermittlung von physikalischen Positionsdaten wird zu diesem Zeitpunkt vor allem durch die starke Winkelabhängigkeit der Ultraschallsignale begrenzt. Dies führt dazu, dass man eine sehr große Anzahl an Beacons benötigt damit ein Listener z.B. in einem Museum flächendeckend physikalische Positionsinformationen ermitteln kann. Dadurch entstehen hohen Kosten, was gegen eine Nutzung von IMAPS sprechen kann. Um die Kosten zu verringern und IMAPS damit in großen Installationen einsetzbar zu machen, muss der Winkel, in dem der Listener Reichweiten mit einer möglichst kleinen Abweichung ermitteln kann, vergrößert werden. In wie weit der Winkel vergrößert

werden kann und welche Änderungen dazu an der Hardware von IMAPS vorgenommen werden müssen, muss einer der nächsten Schritte bei der Weiterentwicklung von IMAPS sein. Daneben ist es notwendig den Einsatz Filteralgorithmen bei der Ermittlung von physikalischen Positionsdaten zu evaluieren. Die Auswirkungen von Messfehlern kann zu stark verfälschten Positionsangaben führen. Um diese Effekte abzuschwächen ist es sinnvoll, bei der Weiterentwicklung Filteralgorithmen in den Positionsberechnungsalgorithmen von IMAPS einzubauen.

Die in dieser Arbeit erstellten Hardware- und Softwarebestandteile von IMAPS sind als Prototypen anzusehen. Die Entwicklung als Prototypen lässt auch die Kosten für das Entwicklungssystem, mit ca. 600 Euro für insgesamt 8 Beacons und Listenern, sehr hoch ausfallen. Diese Kosten können bei einer Fertigung in größerer Stückzahl und wenn man die Zigbee - Module in einer eigenen Kleinserie fertigen würde um einiges gesenkt werden. Bei der Weiterentwicklung des Systems sollte, vor allem um größere Installationen zu ermöglichen, auf eine Kostensenkung geachtet werden.

IMAPS hat das Potential ein kostengünstiges System zur indoor Positionsbestimmung zu werden, dass in großen Installationen eingesetzt werden kann. Voraussetzung dafür ist die Lösung, der in diesem Abschnitt genannten Probleme.

Literaturverzeichnis

- [1] *RF Technologies - PinPoint*. –
<http://www.pinpointco.com/appcommercial/pinpoint.htm>
- [2] BAHL, Paramvir (Hrsg.) ; PADMANABHAN, Venkata N. (Hrsg.): *RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System*. 2000. –
<http://research.microsoft.com/padmanab/papers/infocom2000.pdf>
- [3] 802.15 WORKING GROUP, IEEE: *IEEE Std 802.15.4-2003*. –
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.42003.pdf>
- [4] ARMEL: *Atmel - AT90CAN128 Datenblatt*. –
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4250.pdf
- [5] BALAKRISHNAN, Hari ; BALIGA, Roshan ; CURTIS, Dorothy ; GORACZKO, Michel ; MIU, Allen ; PRIYANTHA, Bodhi ; SMITH, Adam ; STEELE, Ken ; TELLER, Seth ; WANG, Kevin: *Lessons from Developing and Deploying the Cricket Indoor Location System / MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory*. 2003. – Forschungsbericht.
<http://cricket.csail.mit.edu/V1Exp.pdf>
- [6] BALIGA, Roshan B.: *Rapid Coordinate System Creation and Mapping Using Crickets*, Massachusetts Institute of Technology, Materarbeit, 2004. –
<http://cricket.csail.mit.edu/roshanthesis.pdf>
- [7] CALLAWAY, E. ; GORDAY, P. ; HESTER, L. ; GUTIERREZ, J.A. ; NAEVE, M. ; HEILE, B. ; BAHL, V.: Home networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks. In: *Communications Magazine, IEEE* (2002), August, S. 70 – 77
- [8] CHAKRABORTY, Anit: *A Distributed Architecture for Mobile, Location-Dependent Applications*, Massachusetts Institute of Technology, Materarbeit, 2000. –
<http://nms.lcs.mit.edu/papers/achakrathesis.pdf>
- [9] CHIPCON: *2420 - ZigBee-ready RF Transceiver*. –
http://www.chipcon.com/files/CC2420_Data_Sheet_1_4.pdf
- [10] CHIPCON: *Chipcon - Paket Sniffer v2.2.06*. –
http://www.chipcon.com/files/Package_Sniffer_2_2_0_06.zip

- [11] FACHHOCHSCHULE BRANDENBURG, Fachbereich Informatik und M. *Nutzerhandbuch AKSEN-Board v1.04*
- [12] FISCHER, Christian: *Entwicklung von ZigBee-Modulen für spontane Funknetzwerke*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, 2005. – <http://users.informatik.hawhamburg.de/ubicomp/arbeiten/bachelor/fischer.pdf>
- [13] FLEUREN, Tino: *Location Sensing für ortsabhängige Dienste auf Basis von Web-Services*, TU Kaiserslautern, Diplomarbeit, 2004
- [14] FLEXIPANEL: *EasyBee - IEEE 802.15.4 compliant RF transceiver*. – http://www.flexipanel.com/Docs/EasyBee_DS4808_Cover_Page.pdf
- [15] FOUNDATION, Eclipse: *Eclipse Homepage*. – <http://www.eclipse.org>
- [16] HARTER, Andy (Hrsg.) ; HOPPER, Andy (Hrsg.) ; STEGGLES, Pete (Hrsg.) ; WARD, Andy (Hrsg.) ; WEBSTER, Paul (Hrsg.): *The Anatomy of a Context-Aware Application*. 1999
- [17] HIGHTOWER, Jeffrey (Hrsg.) ; BORRIELLO, Gaetano (Hrsg.): *Location Systems for Ubiquitous Computing*. 2001 . – <http://www.cs.wustl.edu/~ju/cs537s/Papers/hightower2001location.pdf>
- [18] INC., Google: *Google Maps*. – <http://maps.google.de/>
- [19] LEMELSON, Hendrik: *Eine übersicht über In- und Outdoor Positionierungssysteme*. 2005. – http://www.informatik.uni-mannheim.de/pi4/lectures/ws0506/seminar/Ausarbeitung_PositionierungUebersicht_Indoor_und_Outdoor_Positionierungssysteme.pdf
- [20] LIMITED, Altium. – <http://www.protel.com>
- [21] MICHALAKUS, Nikolaos: *Location-aware Access Control for Pervasive Computing Environments*, Massachusetts Institute of Technology, Materarbeit, 2003. – <http://nms.lcs.mit.edu/~nikos/work/thesis.pdf>
- [22] MICROSYSTEMS, Sun: *Java Technology Homepage*. – <http://java.sun.com/>
- [23] MIU, Allen Ka L.: *Design and Implementation of an Indoor Mobile Navigation System*, Massachusetts Institute of Technology, Materarbeit, 2002. – <http://nms.lcs.mit.edu/publications/cricketnavthesis.pdf>
- [24] MURATA: *Murate - Ultraschall Sensoren*. – http://www.murata.co.jp/auto/pdf/14ma40_e.pdf

- [25] NIST: *JAMA - A Java Matrix Package*. –
<http://math.nist.gov/javanumerics/jama/>
- [26] NOGUERAS, Jorge R.: *A Stream Redirection Architecture for Pervasive Computing Environments*, Massachusetts Institute of Technology, Masterarbeit, 2001. –
<http://nms.lcs.mit.edu/publications/RafaThesis.pdf>
- [27] PRIYANTHA, Nissanka B. ; BALAKRISHNAN, Hari ; DEMAINE, Erik ; TELLER, Seth: *AnchorFree Distributed Localization in Sensor Networks*. 2003. –
<http://cricket.csail.mit.edu/papers/TechReport892.pdf>
- [28] PRIYANTHA, Nissanka B. ; CHAKRABORTY, Anit ; BALAKRISHNAN, Hari: The Cricket Location-Support System. In: *Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, 2000
- [29] PRIYANTHA, Nissanka B. ; MIU, Allen K. L. ; BALAKRISHNAN, Hari ; TELLER, Seth: The Cricket Compass for ContextAware Mobile Applications. In: *6th ACM MOBICOM Conference*. Rome, Italy, July 2001
- [30] PRIYANTHA, Nissanka B.: *Providing Precise Indoor Location Information to Mobile Devices*, Massachusetts Institute of Technology, Masterarbeit, 2001. –
<http://nms.lcs.mit.edu/publications/bodhithesis.ps>
- [31] PRIYANTHA, Nissanka B.: *The Cricket Indoor Location System*, Massachusetts Institute of Technology, Doktorarbeit, 2005. –
<http://nms.lcs.mit.edu/papers/bodhithesis.pdf>
- [32] REICHENBACH, Frank: *Positionsbestimmung in drahtlosen Ad-Hoc Sensor-Netzwerken*, Universität Rostock, Diplomarbeit, 2004. –
http://rtl.technik.uni-rostock.de/~frei/websitefileadmin/paper/2004_03_31_-_Master_Thesis__Positionsbestimmung_in_drahtlosen_AdHoc_Sensor-Netzwerken.pdf
- [33] RICHTER, Rolf: *Lokalisierung*, Fraunhofer IIS, Seminararbeit, 2005. –
<http://www7.informatik.uni-erlangen.de/~dressler/lectures/seminarsensornetze-ss05/paperrolfrichter.pdf>
- [34] RICKENS, Helge: *Ein ZigBee-Funkmodul zur Kommunikation unter autonomen Robotern*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Diplomarbeit, 2005. –
http://users.informatik.haw-hamburg.de/~kvl/rickens/Diplomarbeit_Rickens.pdf
- [35] SETH TELLER, Jiawen Chen und H.: *Pervasive Pose-Aware Applications and Infrastructure*. 2003. –
<http://cricket.csail.mit.edu/papers/IEEECGAPervasive.pdf>

- [36] SMITH, Adam ; BALAKRISHNAN, Hari ; GORACZKO, Michel ; PRIYANTHA, Nissanka B.: Tracking Moving Devices with the Cricket Location System. In: *2nd International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*. Boston, MA, June 2004. – http://nms.lcs.mit.edu/papers/tracking_mobisys04.pdf
- [37] TAUBER, Joshua A. (Hrsg.): *Indoor Location System for Pervasive Computing*. 2002 . – <http://theory.lcs.mit.edu/~josh/papers/location.pdf>
- [38] WANG, Kevin J.: *An Ultrasonic Compass for Context-Aware Mobile Applications*, Massachusetts Institute of Technology, Materarbeit, 2004
- [39] WANT, R. ; HOPPER, Andy ; FALCÃO, Veronica ; GIBBONS, Jonathan: The active badge location system. In: *ACM Transactions on Information Systems* (1992), Januar, S. 91 – 102
- [40] WEDDINGTON, Eric ; WUNSCH, Joerg [u. a.]: *WinAVR Homepage*. – <http://winavr.sourceforge.net/>
- [41] WELCH, Greg ; BISHOP, Gary ; VICCI, Leandra ; BRUMBACK, Stephen ; KELLER, Kurtis ; COLUCCI, D'nardo: the hiball tracker: high performance Wide-Area Tracking for Virtual and Augmented Environments. In: *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (1999), Dezember, S. 1 – 11

A Schematische Layouts

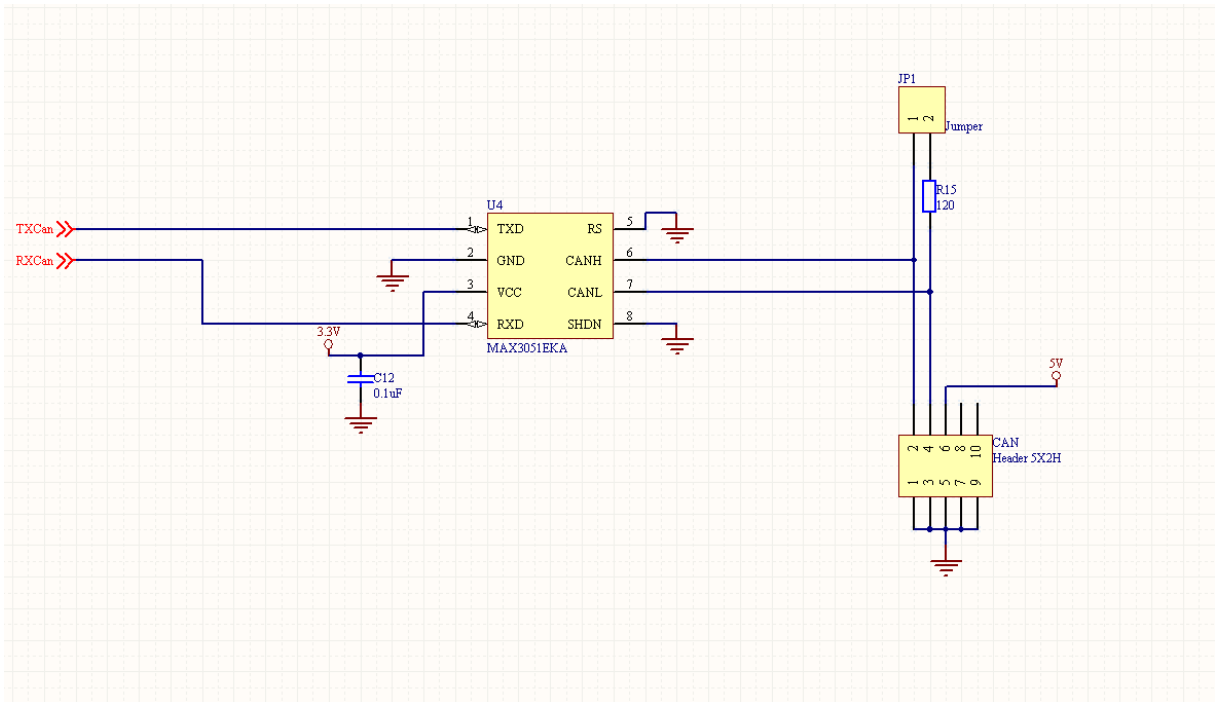


Abbildung A.1: Schematische Darstellung: Hauptplatine - CAN Schnittstelle

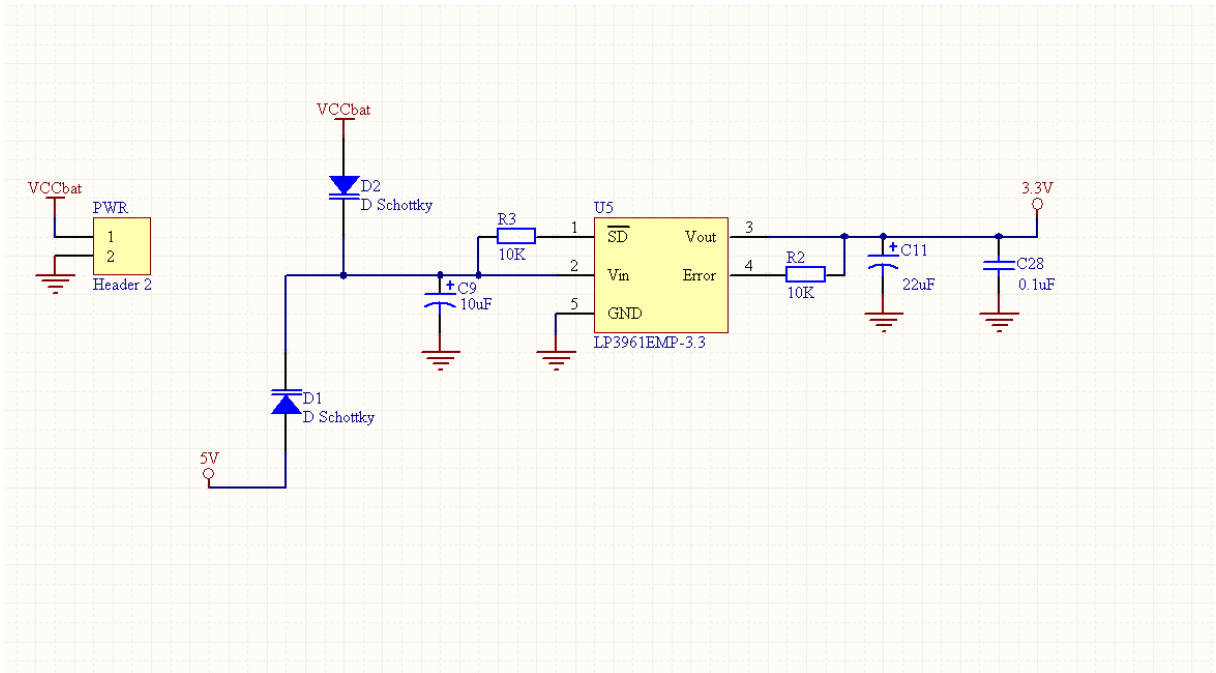


Abbildung A.2: Schematische Darstellung: Hauptplatine - Stromversorgung

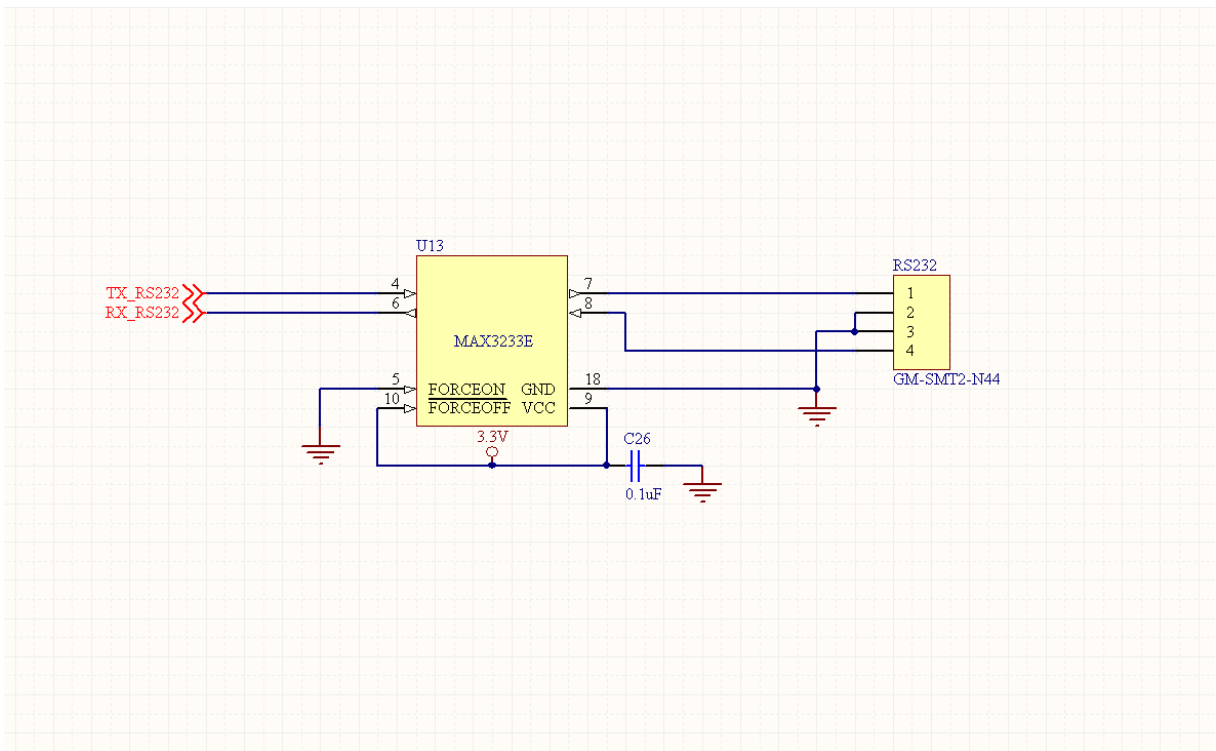


Abbildung A.3: Schematische Darstellung: Hauptplatine - serielle Schnittstelle

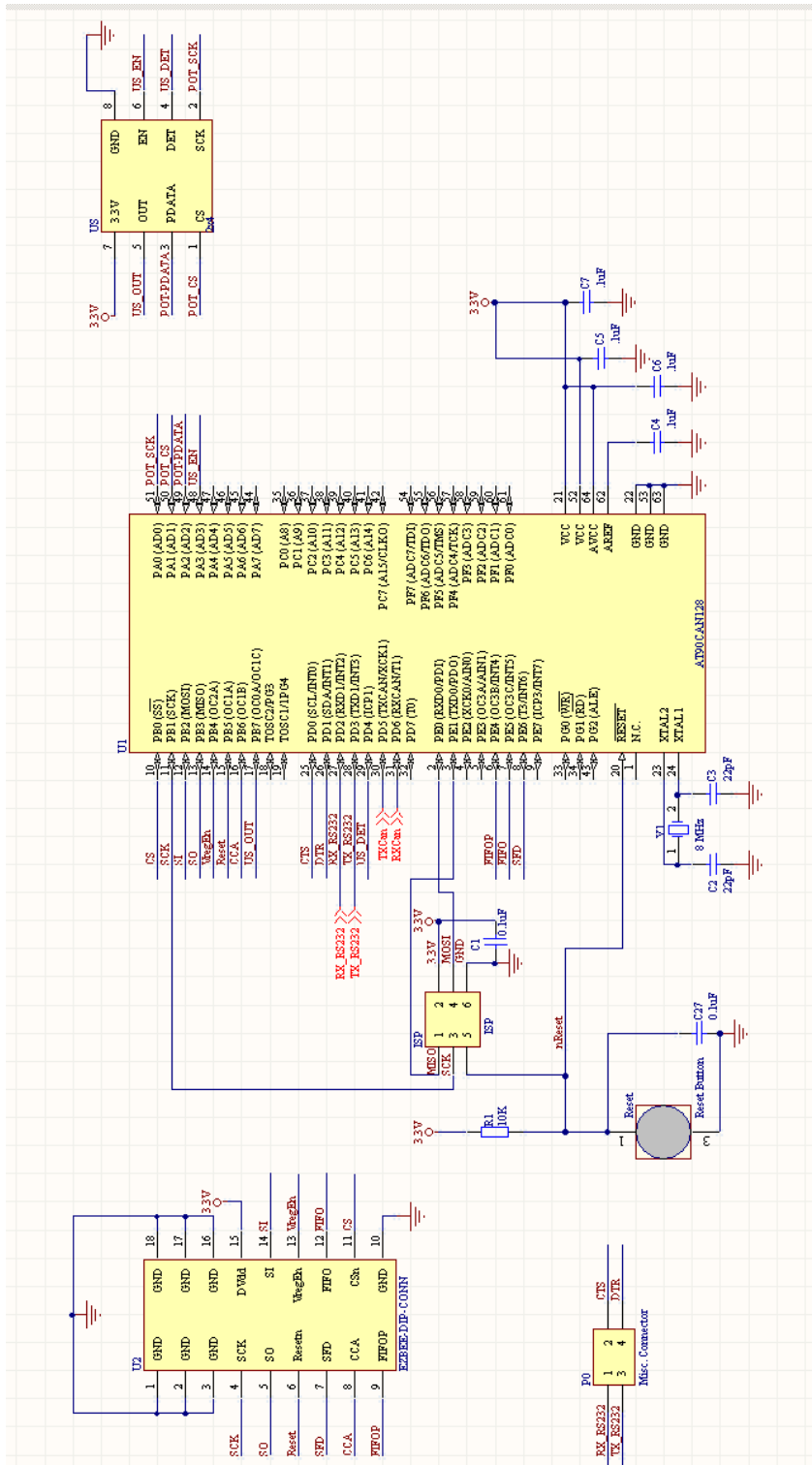


Abbildung A.4: Schematische Darstellung: Hauptplatine

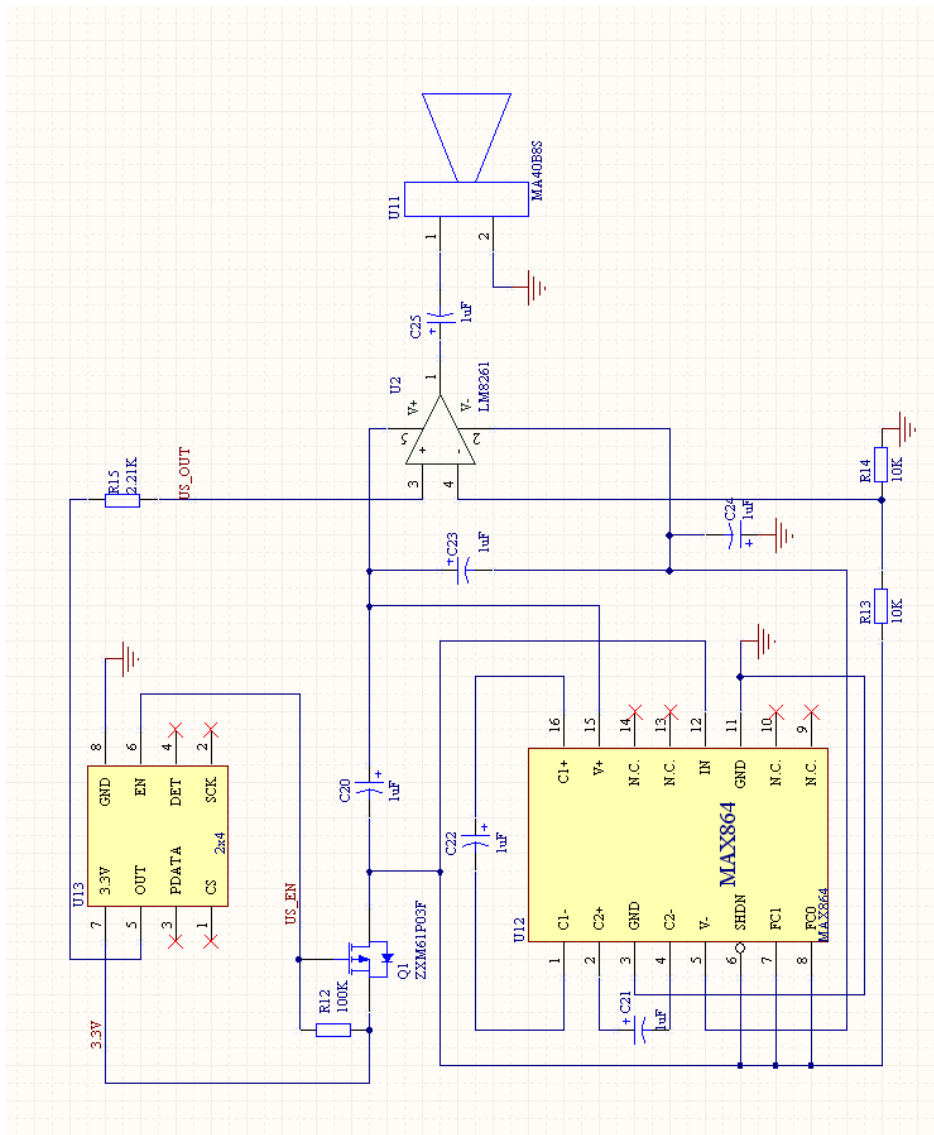


Abbildung A.5: Schematische Darstellung: Sendeplatine

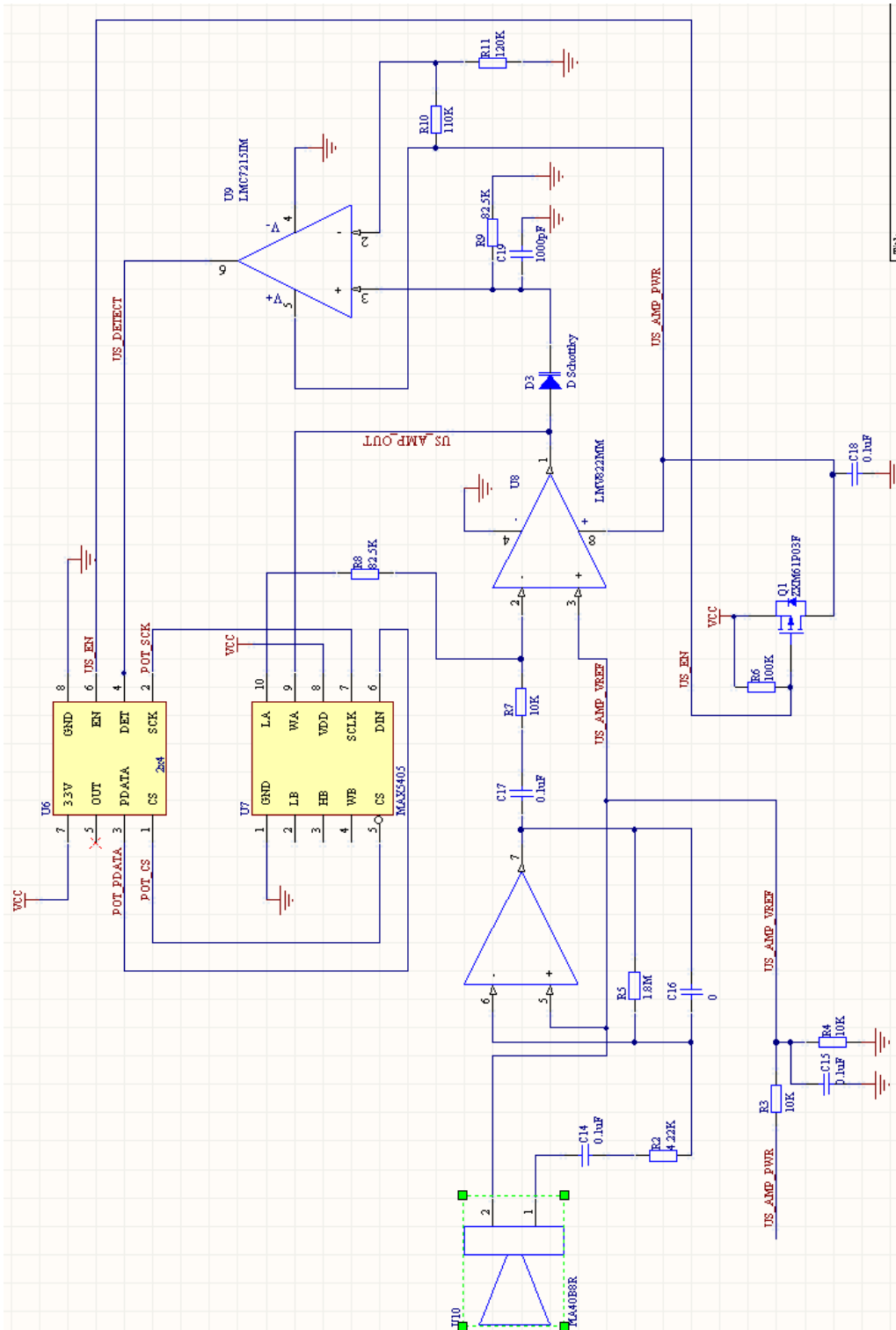


Abbildung A.6: Schematische Darstellung: Empfangsplatine

Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §24(5) ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 28. August 2006

Ort, Datum

Unterschrift