



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Projektausarbeitung

Edyta Kutak

Hardwareplattform für Positionsbestimmung
innerhalb von Gebäuden

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Edyta Kutak

Hardwareplattform für Positionsbestimmung
innerhalb von Gebäuden

Projektausarbeitung im Rahmen der Veranstaltung Projekt
im Studiengang Masterinformatik
am Studiendepartment Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuer: Birgit Wendholt

Abgegeben am 15. Februar 2007

Edyta Kutak

Thema der Ausarbeitung

Projekt

Hardwareplattform für Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden

Stichworte

IMAPS, Flughafen Szenario, TDoA, physikalische und symbolische Position, Multilateration, Ultraschall und Funksignal

Kurzzusammenfassung

Bei dieser Arbeit wurde ein Teil des gesamten Systems „Flughafen“ beschrieben, mit welchem sich ein Autor im dritten Semester des Masterstudienganges beschäftigt hat.

Diese Ausarbeitung führt ins Gebiet der Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden ein, die eine zentrale Rolle bei der Aufgabe einnimmt, dem User ortsbezogene Dienste in einem Flughafen zu liefern.

Nach gründlicher Analyse der verschiedenen Verfahren und den verschiedenen Systemen zur Positionsbestimmung [Kutak 2006] hat der Autor sich entschieden das „*indoor distance measurement and positioning system*“¹ im Projekt umzusetzen, versucht es zu implementieren und zu testen.

Zum Schluss werden die gesammelten Erfahrungen des Autors berichtet und die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung dieses Themas aufgezeigt, welche in der Masterarbeit des Autors realisiert werden können.

¹ kurz IMAPS Modul, das von Sebastian Gregor an der HAW im Jahr 2006 entwickelt wurde

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Szenario	7
2.1	Einordnung des Hauptthemas in das Projekt.....	7
2.2.1	Hauptziele des Projektes	8
3	Grundlagen für Positionsbestimmung	8
3.1	Verständnisbegriffe	8
3.2	Positionsbestimmung mittels des IMAPS Systems.....	10
4.	Entwurf (Systemarchitektur)	10
5.	Konkrete Implementierung	11
5.1	Layout der Beacons (IMAPS Listener).....	11
6.	Erfahrungen	13
6.1	Stand der Arbeit	13
6.2	Erreichte Ziele und Schwierigkeiten im Laufe des Projektes	13
6.2	Fazit.....	14
7.	Ausblick auf die Masterarbeit	15
	Literaturverzeichnis	16

1. Einleitung

In der heutigen Zeit der Informationsgesellschaft sind Mobilität und Kommunikation von großer Bedeutung. Mit dem Einzug der modernen, mobilen Geräte (Smartphones, PDA, Ultramobile PC, moderne Telefone) in das alltägliche Leben eröffnen sich zahlreiche neue Möglichkeiten. Durch drahtlose Vernetzung und Flexibilität dieses Gerätes gewinnt der Benutzer an Mobilität. Fast jede Person besitzt ein mobiles Endgerät. Dieses kann man praktisch zu jeder Zeit und an jedem Ort einsetzen, um dem Benutzer die bestmögliche Unterstützung zu leisten.

Im Beispiel „großer Flughafen“ in Frankfurt, wäre es nützlich, intermodale Reiserouten zu ersetzen, was den Reisenden in unterschiedlichen Reisesituationen unterstützen könnte. Bei Situationen wie z.B. Ausfall des Fluges oder Umstieg steigt gleichzeitig der Bedarf an Möglichkeiten zum Informationszugriff. Neben den Informationen über Verkehrsmittel stellt sich oft die Frage nach der Route zu dem gewünschten Ziel (z.B. Restaurant, Reisebüro usw.) innerhalb solches großen Bauwerks.

Unser Projekt „Flughafen“ wurde mit dem Hauptziel entwickelt, den Anwendern ortsbezogene Dienste in der Metapher *Flughafen* anzubieten und ihn dort bestmöglich zu unterstützen. Der Prototyp wurde im 3. Semester des Masterstudienganges 2006/2007 von vier Studenten der Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg entwickelt:

Alewтина Schumann, Jan Napitupulu, Milen Koychev, Edyta Kutak. Die Teammitglieder waren jeweils mit den folgenden Hauptaufgaben beschäftigt:

- Alewtina Schumann – Entscheidungshilfe für Dienste
- Jan Napitupulu - Indoor Map Server
- Milen Koychev - Personalisierungssystem
- Edyta Kutak – Location Tracking System

Die Betreuung des Projektes erfolgte durch Birgit Wendholt.

Eine wichtige Voraussetzung für ortsbezogene Dienste ist die Positionsbestimmung eines Benutzers, das so genannte *Location Aware Computin*, da die kontextbezogenen Informationen immer von der Position eines oder mehrerer Objekte abhängen.

Diese Ausarbeitung gibt einen Überblick über die Erfahrungen und Erkenntnisse des Autors bezüglich des Themas Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden. Dieses Thema lässt sich in einen Ortungssysteme einordnen, welches man in die drei folgenden Bereiche einteilen kann: Satellitennavigation (GPS, GALILEO), Positionierung innerhalb von Gebäuden (Ultraschall, Infrarot, Funk) sowie die Netzwerkgestützte Ortung (WLAN, GSM).

Die Grundidee der Funktionsweise des Projektes ist, dass dem Benutzer, der sich auf dem Flughafen befindet, für ihn relevante Dienste anzubieten und seine aktuelle Position auf dem Endgerät anzuzeigen. Außerdem soll das System einen Routenplaner erstellen sowie die Wege des Benutzers dokumentieren, um nachvollziehen zu können, welche Dienste er in Anspruch genommen hat. Ein User wird mit dem IMAPS Empfänger (Abschnitt 3.2) ausgestattet, der an dem Endgerät angeschlossen wird. Dadurch kann man seine Position ermitteln und ihn bei der Navigation unterstützen.

Im Kapitel 2 wird das Szenario zum besseren Verständnis zusätzlich mit weiteren Details unseres Projektes erneut vorgestellt. Basierend auf der vorherigen Analyse der verschiedenen Verfahren in dem Bericht [Kutak2006], wird nur eine ausgewählte und eingesetzte Technik im Kapitel 3 näher betrachtet. Den Entwurf des gesamten Systems findet man im Kapitel 4. Im vorletzten Kapitel 5 wird die konkrete Implementierung des Systems im Detail beschrieben. Kapitel 6 liefert eine Zusammenfassung der Ergebnisse. Die Arbeit beschließt mit Kapitel 7 einem Ausblick auf die weitere Entwicklung des eigentlichen Themas.

2. Szenario

In diesem Kapitel wird das genaue Szenario vom Projekt „Flughafen“ beschrieben.

Ein Geschäftsmann aus Hamburg kommt mit dem Taxi zum Flughafen und meldet sich mit seinem PDA beim Flughafen-System an. Der PDA teilt ihm mit, dass sein Flug nach Genf aufgrund einer Reparaturmaßnahme mindestens 3 Stunden Verspätung hat. Mit Hilfe des PDA setzt der Geschäftsmann seine Geschäftspartner in Genf über die Verspätung in Kenntnis und benachrichtigt den Abholservice. Er versucht die Zeit zu nutzen und sucht nach einer für ihn interessanten Veranstaltung. Hunger hat er zudem auch noch. Tatsächlich läuft im Flughafen eine Messe, welche er besuchen möchte. Außerdem schlägt der PDA 3 Restaurants vor, die auf dem Weg zur Messe liegen und dem Geschmack des Geschäftsmanns entsprechen. Er entscheidet sich für das mit italienischer Küche woraufhin ihm der PDA einen Tisch reserviert. Auf dem Weg zum Restaurant bekommt er über seinen PDA profilbezogene Werbung. Ein Rolex-Angebot ist sehr verlockend, er will sich die Uhr ansehen. So weicht er von der Route ab. Der PDA zeigt die neue Route an, storniert die alte Tischreservierung und bucht einen neuen Tisch für eine spätere Uhrzeit.

Auf der Messe, wo er glücklich angekommen ist und schon einige Sachen angeschaut hat, bekommt der Geschäftsmann eine Nachricht mit der genauen Abflugzeit, da die Reparaturen mittlerweile abgeschlossen sind. Von der Messe geht er zu seinem Terminal. Da die Abflugzeit und damit auch die Ankunftszeit bekannt sind, teilt der PDA den Geschäftspartnern in Genf diese mit und bestellt gleichzeitig ein Taxi in Genf.

In Flugzeug will der Geschäftsmann einige Verträge und eine Präsentation anschauen. Er überträgt die Darstellung von seinem PDA auf einen im Sitz eingebauten Bildschirm, um eine bessere Ansicht auf die Dateien zu bekommen.

2.1 Einordnung des Hauptthemas in das Projekt

Das Bild soll einen Überblick über die Kernkomponenten des gesamten Systems geben, welches in der Einleitung kurz beschrieben wurde. Das Thema, mit dem sich der Autor in dem Projekt beschäftigt hat, ist das Indoor-Location Tracking². Im Unterabschnitt 2.1.1. werden die Hauptziele des Projektteils dem Benutzer vorgestellt.

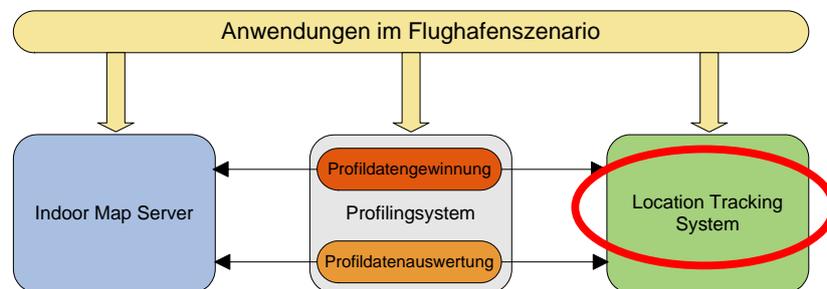


Abbildung 2.1: Einordnung im Projekt

² Positionsermittlung einer Person, die sich über die Zeit bewegt.

2.1.1 Hauptziele des Projektes

Der Autor hat sich folgende Ziele im Rahmen des Projektes gestellt:

- IMAPS Module zu produzieren, zum Laufen zu bringen und ihre Funktionalität zu analysieren
- Die Position einer Person mit Hilfe des HAW-IMAPS Systems innerhalb der vorher erstellten Infrastruktur von Räumen zu bestimmen
- eine Schnittstelle für Kommunikation zwischen dem Server und dem Endgerät zu entwickeln, um Positionsdaten zu bearbeiten
- Java-Anwendung in C# zu konvertieren & auf einem Endgerät (wie z.B. PDA) einzusetzen
- Auswertung der Profildaten
 - Routenabweichung
 - Wie lange hält sich eine Person an einem Ort auf?

3. Grundlagen für Positionsbestimmung

Die grundsätzliche Darstellung und Analyse der verschiedenen Verfahren wurde schon in der vorherigen Ausarbeitung des Benutzers [Kutak 2006] beschrieben. In diesem Kapitel wurden nur verwendete Verfahren und Verständnisbegriffe bezüglich der IMAPS Anforderungen vorgestellt.

3.1 Verständnisbegriffe

Physikalische Position (genaue oder manchmal physische Position genannt) ist eine Position, welche sich durch (x-, y-, z-) Koordinaten beschreiben lässt. Es bedeutet, dass Positionen als Punkte in einem n-dimensionalen Koordinatensystem und seinem Ursprung definiert werden. Um eine physikalische Position mittels des IMAPS Systems zu bestimmen, verwendet sie dazu Multilateration³. Dieses Verfahren braucht man, um die Distanzen zwischen den Baken und dem Listener (Abschnitt 3.2) zu berechnen was durch Laufzeitunterschied zwischen einem Ultraschall- und Funksignal erreicht wird. Außerdem braucht man mindestens 3 Baken, zwischen denen ein Abstand von 1,2 m zueinander ist. Das hängt von dem Winkel des IMAPS Senders ab. Die IMAPS Sendeder (Ultraschall) strahlen nur in einem 30° Kegel aus.

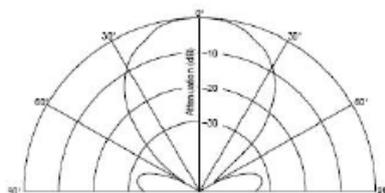


Abbildung 3.1.1: Ultraschallkegels

³ Das ist ein mathematisches Verfahren, mit dem man eine absolute Position errechnen kann. Mehr darüber im [Gregor 2006]

3.2 Positionsbestimmung mittels des IMAPS Systems

IMAPS Module basieren auf Cricket-System, die sowohl Ultraschall- als auch Funksignal senden. Die Grundlage von diesem System bilden Beacon (Sender) und Listener (Empfänger). Beacons werden an der Decke gemäß einer bestimmten Infrastruktur befestigt. Der Empfänger wird über eine serielle Schnittstelle mit dem Endgerät verbunden, welches ein Benutzer mit sich führt.

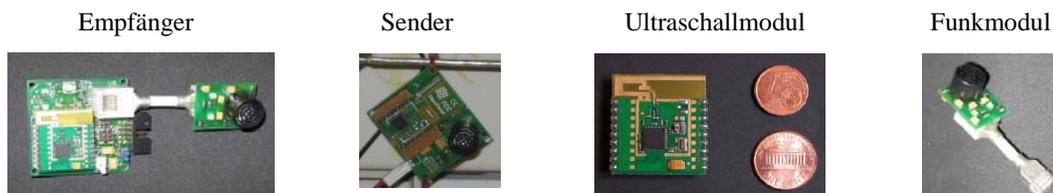


Abbildung 3.2: Hauptkomponente des IMAPS Systems

Die Position wird mittels einer Trilateration (Abstandmessung) und der Laufzeitmessungen (Abschnitt 3.1) bestimmt. Durch Zeitdifferenz wird die Entfernung der Sender zum Empfänger mittels TDoA, also durch den Unterschied der Laufzeiten berechnet. Das ist möglich, weil Funksignale schneller als Ultraschall sind. Danach kann man eine genaue Position ermitteln. Da die Funksignale sich über Raumgrenzen überschneiden können, ist es sehr wichtig deutliche Grenzen zwischen Räumen zu definieren.

4. Entwurf (Systemarchitektur)

In der Abbildung 4 ist die entstandene Architektur vorgestellt.

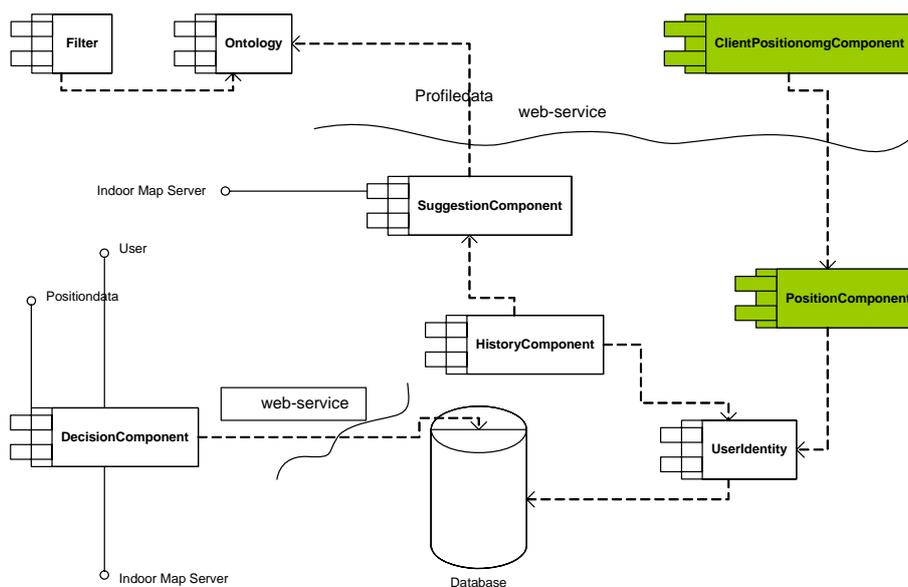


Abbildung 4 : Architektur des gesamten Systems

Wie schon oben erwähnt besteht unser Raummodell (Abb.5.1) aus 3 Räumen und einem Flur. Dort wird sowohl eine symbolische als auch eine physikalische Position (Abschnitt 3.1) für die Positionsbestimmung berechnet.

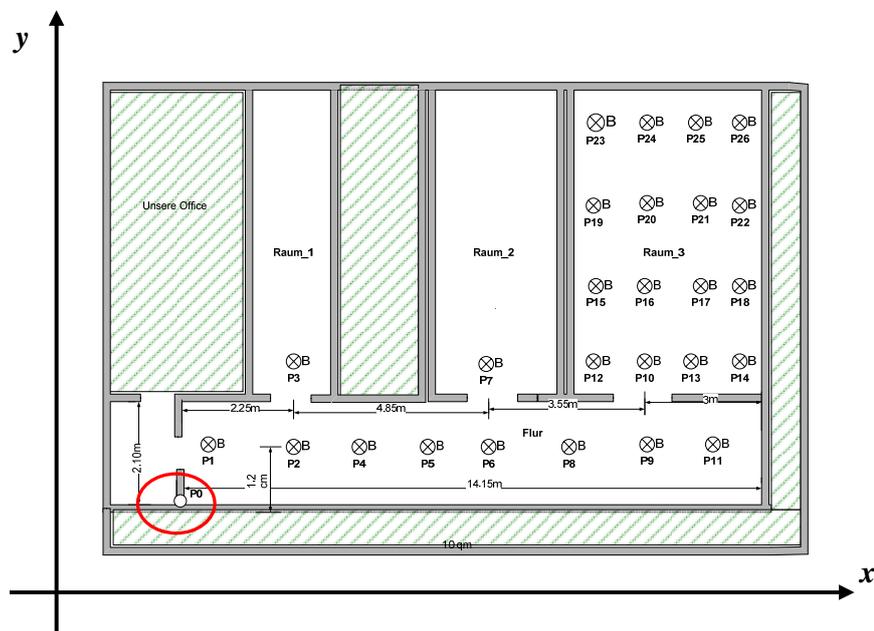


Abbildung 5.1: Layout der Beacons im Flughafen Prototyp

Wie man aus dem Bild (Abb. 5.1) erkennen kann gibt es im Raum 3 viele eng gesetzte Beacons. Dies bedeutet, dass man dort eine sehr genaue Position berechnet. Bei der Erstellung dieses Verfahrens sind die Winkel von IMAPS Sendern wichtig. D.h. wenn die Beacons an der Decke angebracht werden und die Listener sich durchschnittlich 2 m unter den Beacons bewegen, nimmt der Empfänger ab einer Versetzung von 1.3 m (30°) keine Signale mehr wahr. Deswegen muss man alle Sender, welche sich in diesem Raum befinden, mit einem Abstand von 1,2 m voneinander platzieren.

Im Raum 1 und 2 wird nur der Wechsel von Räumen erkannt. Es geht also nur um eine symbolische Position, hier wird festgestellt, wann eine Person den Raum betritt bzw. verlässt. Hierbei sind die Listener an den Raumgrenzen paarweise und mit gleichem Abstand angeordnet, um sicher zu stellen, dass der Wechsel des Raumes jedes Mal exakt erkannt wird.

Die Beacons für den Flur sind mit verschiedenen Abständen aufgehängt, um festzustellen, was für eine Aussage man bekommt, wenn man die Abstände größer als 1,2 m macht.

Bei diesen Beacon-Erstellungen wird also geprüft, welche Aussagen zu treffen mir welche Installation erlaubt.

6. Erfahrungen

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über den Stand der Arbeit mit erreichten und nicht erreichten Zielen gegeben. Außerdem werden Schwierigkeiten, die bei der Realisierung der vorgestellten Ziele (Abschnitt 2.1.1) aufgetreten sind, beschrieben. Dieser Abschnitt wird mit der allgemeinen Erfahrung des Benutzers abgeschlossen.

6.1 Stand der Arbeit

Das Hauptziel des Prototyps wurde im Projektrahmen des dritten Semesters (16 Wochen bei 8 Stunden pro Woche) fast erreicht. Es wurde eine Infrastruktur für Beacons erschaffen (Abbildung 5.1) in welcher man eine Position mittels IMAPS Systems ermitteln, jedoch leider nicht auf dem PDA anzeigen lassen konnte. Der User konnte seine aktuelle Position in der Landkarte⁵ auf dem Bildschirm der anderen Endgeräte (in diesem Fall sind das der Laptop und Ultramobile PC) sehen.

Der IMAPS Empfänger wurde über US232R Kabel an Ultra Mobile PC (Modell Samsung Q1-SSD mit 5 kleinen Batterien) angeschlossen. Auf dem Client wurde die Java Applikation gestartet und mittels IMAPS Module eine aktuelle Position des Benutzers berechnet. Diese Positionsdaten wurden durch den Socket Mechanismus⁶ mittels drahtloser Netzwerkverbindung (Bluetooth) auf dem Server (Microsoft SQL Server 2005) gespeichert, von wo aus man sie weiter bearbeiten können.

Die Architektur des zu erreichenden, gesamten Prototypprojekts wurde in der Abbildung 4 vorgestellt.

6.2 Erreichte Ziele und Schwierigkeiten im Laufe des Projektes

Die IMAPS Module wurden gelötet, zum Laufen gebracht und mit verschiedenen Abständen voneinander getestet. Es wurde wie bereits erwähnt eine prototypische Infrastruktur (Abb.5.1) mit Beacons, die man bezüglich dieser Architektur programmiert und an der Decke im Raum 501 an der HAW befestigt wurde, aufgebaut. Man hat den Programmieradapter AVRISP USB der Firma Atmel, AVR Studio 4 und WinAVR Software benutzt.

Bei diesen Aufgaben hat der Autor einige Probleme wie z.B. die anfänglich 4-mal höheren Werte für den Abstand der Beacons zwischen Sender und Empfänger, festgestellt. Einige Beacons haben überhaupt keine Werte gezeigt. Um diese und andere Fehler zu finden hat man mehr Zeit als erwartet benötigt. Zum Glück war es uns möglich diese Aufgaben dennoch zu lösen.

Ein weiterer Punkt, der Schwierigkeiten gemacht hat, war eine Positionsbestimmung in virtuellen Räumen (3.1). Dieses Problem träte nicht bei den normalen Räumen auf, da ein Ultraschall keine Gegenständen oder Wände durchdringt, sondern von ihnen reflektiert wird. Dort müsste man zusätzliche Algorithmen in einigen Schwerpunkten der Infrastruktur schreiben.

⁵ Die Landkarte wurde von Jan Napitupulu erstellt Mehr darüber findet man in seinem Projektbericht unter: <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master06-07-proj/berichte.html>

⁶ <http://pvs.uni-muenster.de:8014/pvs/lehre/WS06/mnj/8-06Print.pdf>

Die Kernschwierigkeit war die Implementierung des Java Codes in C#. Zurzeit hat man die Positionsbestimmung nur auf dem Laptop und Ultra Mobile PC getestet. Auf dem PDA hat es wegen Schwierigkeiten bei der Umsetzung von Java-Anwendung in C# bisher nicht funktioniert. Eigentlich könnte man die Positionsbestimmung auf dem PDA direkt mittels Java-Anwendung versuchen, da sich das Projektteam jedoch bereits für C# (z.B. .NET hat bessere Werkzeuge für Softwareentwicklung auf mobile Endgeräte und für GUI) entschieden hatte, wäre eine solche Implementierung sinnlos.

Einige Schritte sind dennoch erfolgreich gewesen, um Java in C# zu implementieren. Es wurde nämlich eine mathematische Bibliothek (numerical_library_0_2 -> dnAnalytics und nli_0.9.1) für die Berechnung der Algorithmen (für Matrizen, um die Position zu berechnen) gefunden und erfolgreich in C# umgesetzt. Dann wurde der gesamte Java-Code in C# umgeschrieben, jedoch bekommt man leider keine wirklichen Werte. Es kann daran liegen, dass der Empfänger keine Werte von Sendern liest, sondern irgendwelche, die vom Programm produziert werden. Wegen nur vorhandener Basiskenntnisse von C# und Zeitmangel wurde diese Implementierung nicht weiter entwickelt.

Dieses Problem hat man teilweise durch den Socket Mechanismus gelöst, welcher eine Kommunikation zwischen Client und Server ermöglicht. Dies ist nötig um die Positionsdaten vom Empfänger weiterzuleiten. Dadurch konnten Positionen des Empfängers auf dem Server gespeichert werden, was anderen Teamkollegen ermöglichte auf diese Daten zugreifen und für eigene Anwendungen weiter zu bearbeiten. Der Vorteil dieser Lösung ist, dass die Stromversorgung ein wenig reduziert worden ist. Andererseits hatte man eigentlich keine andere Möglichkeit mittels Java solche Kommunikation zu bauen.

Der letzte Punkt, also die Auswertung der Profildaten (Abschnitt 2.1.1), wurde aus zeitlichen Gründen leider überhaupt nicht geschafft.

6.3 Fazit

Der Autor hat folgende Erfahrungen im Verlauf des Projektes gesammelt. Bei der Untersuchung des gesamten Systems ist dem Autor aufgefallen, dass die Akkuleistung des Endgeräts schnell nachlässt ist, sie ist z.B. beim Ultra Mobile PC mit dem Standardakku 3,5h, hat aber nur 2h bei unserer Anwendung geschafft (obwohl die Positionsdaten auf dem Server und nicht auf dem Client bearbeitet werden). Leider konnte dieses Problem für mobile Geräte kritisch und leider konnte bisher noch nicht gelöst werden.

Die Positionsbestimmung betreffend hat sich gezeigt, dass die Position im Raum 3 mit dem absoluten Verfahren bis auf 2 cm genau ermittelt werden konnte. In anderen Räumen wie z.B. auf dem Flur ist sie hingegen recht ungenau. Manchmal braucht es etwas Zeit, bis das wirkliche Signal ankommt. Das liegt daran, dass man in diesem Bereich weniger Beacons installiert. Beim Laufen durch den Flur bekommt man keine fließende Route in der Landkarte, sondern werden nur Anfang- und Ende-Werte von Beacons gezeigt.

Das IMAPS Module ist recht gut für genaue Position geeignet. Der Nachteil dieses Systems besteht darin, dass man eine Menge von Beacons beim großen Gebiet braucht, um genaue Position zu ermitteln. Außerdem gibt es kein Ausschalten dieses Moduls per Kommando möglich. Beim Aufhängen muss man die gesamte Applikation neu starten. Schließlich ist es unbequem solches Endgerät mit dem angeschlossenen Empfänger dabei zu tragen.

7. Ausblick auf die Masterarbeit

Der Prototyp ist grundsätzlich erfolgreich gewesen. Der Autor hat einige Sachverhalte überprüft wovon ausgehend sich noch andere interessante Aufgaben für zukünftige Bearbeitung gezeigt.

Der Autor hat IMAPS Module in verschiedener Umgebung der Beacons getestet. Es wäre auch interessant diese Module in hohen Zimmern zu prüfen, um festzustellen, ob man in Höhe von beispielsweise 7m immer noch ein Signal bekommt und wie deutlich dieses ausfällt. Außerdem würde es sinnvoll sein, eine neue Infrastruktur für Beacons zu bauen, diesmal mit mehreren wirklichen Räumen und vielleicht auf mehreren Stockwerken (also mit 3D Landkarte). Dafür muss man zusätzliche Beacons produzieren.

Im Rahmen des Projekts wurde Tracking auf Laptop und Ultra Mobile PC getestet. Es wäre auch sinnvoll, solche Anwendungen noch auf PDA und Handy zu bringen. Hierbei könnte man das sowohl in Java als auch C# Umgebung testen und die Ergebnisse vergleichen.

Dafür sollte man zunächst die passenden seriellen Kabelverbindungen recherchieren, um Empfänger an PDA & Handy anzuschließen. Bei diesem Punkt wäre auch interessant, Akkuleistung von verschiedenen Geräten zu vergleichen. Leider ist dies ein Problem bei solchen Geräten, welches immer noch nicht gelöst ist.

Wenn man an das Flughafen-Szenario denkt, sollte die Anwendung in der Lage sein, mehrere Leute zu steuern. Dazu gehören folgende Aufgaben: Routenplanung im Flughafengebäude, Abweichungskorrekturen von der Route, Ermittlung der Aufenthaltszeit einer Person in einem definierten Gebiet bzw. Nutzungsdauer eines Dienstes.

Dafür braucht man zusätzliches Equipment (Empfänger, PDA's usw.), um festzustellen, wie sich IMAPS bei der Positionsermittlung in einer solchen Situation verhält. Außerdem könnte man versuchen eine Stauererkennung einzubauen und eine Strategie diesen zu beheben.

Wie man also sieht gibt es noch viele Aufgabe & Themen in diesem Gebiet zu bearbeiten. Weil es noch so viel zu tun gibt, hat sich der Autor entschieden ein paar obig beschriebener Punkte zu realisieren, z.B. die Anwendung auf PDA zu bringen, IMAPS mit mehreren Empfängern zu testen und Stau zu erkennen.

Literaturverzeichnis

- [Kutak 2006] Kutak E.: *Entwicklung eines Location Tracking System für die Indoor Navigation*
Seminararbeit, HAW Hamburg, 2006
<http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2006>
- [Gregor2006] Gregor S.: *Entwicklung einer Hardwareplattform für die Ermittlung von Positionsdaten innerhalb von Gebäuden*
Bachelorarbeit, HAW Hamburg, 2006
<http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/bachelor/gregor.pdf>