

Edyta Kutak

Systeme für eine Fußgängernavigation
innerhalb von Gebäuden

Seminar-Ausarbeitung im Rahmen der Veranstaltung Anwendungen 2
im Studiengang Master of Science Informatik
am Studiendepartment Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Betreuender Professor: Prof. Dr. Kai von Luck

Edyta Kutak

Thema der Seminausarbeitung Anwendungen 2

Systeme für eine Fußgängernavigation innerhalb von Gebäuden

Stichworte

Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden, Indoor, Navigationssysteme, Flughafen
Szenario

Kurzzusammenfassung

In vorliegender Ausarbeitung werden Grundlagen und Problemstellung des Themas „Positionsbestimmung von Fußgängern innerhalb von Gebäuden“ bzw. am Flughafen dargestellt. Außerdem werden aktuelle Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet vorgestellt und beurteilt. Anschließend wird ein Konzept für ein bestimmtes Szenario, sowie ein Ausblick auf die Masterarbeit gegeben.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Motivation.....	3
1.2 Zielsetzung.....	3
2 Grundlagen und Konzepte Positionsbestimmung	4
2.1 Einordnung des Themas.....	4
2.2 Einsatzgebiete und Beispielszenario.....	4
2.3 Problemstellung.....	5
3 Aktuelle Forschungsaktivitäten.....	7
3.1 Das Hermes2 System.....	7
3.2 Das biometrische System.....	8
3.3 E-Scavenger Hunt Game.....	8
3.4 Positionsbestimmung für Anwendungsszenario betreutes Wohnen.....	9
3.5 Awiloc.....	10
4 Projektbezug „Flughafen“	10
5 Fazit und Ausblick.....	12

1 Einleitung

1.1 Motivation

Derzeit spielt Mobilität als Phänomenen der Wissensgesellschaft eine immer wichtigere Rolle unseres Lebens und beeinflusst es immer stärker. Neben den technischen Optimierungen von Energieversorgung, Größe und Zuverlässigkeit drahtloser Kommunikation des mobilen Endgerätes, an denen Firmen aktuell arbeiten, entstehen zahlreiche Szenarien für den mobil agierenden Benutzer. Eines davon, welches die Autorin hier vorstellen und bearbeiten möchte, ist die Fußgängernavigation innerhalb eines großen Gebäudekomplex bzw. des Flughafens, wo dem potenziellen Kunden je nach Bedürfnis unterschiedliche ortsbezogene Dienste oder Dienstleistungen (z.B. Geldautomaten, Raucherbereiche, Restaurants), durch so genannte *Location Based Services* (LBS) dargestellt werden. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist außer Ort bzw. Position des verfügbaren Dienstangebots, die aktuelle Position des Benutzers (*Location Aware Computing*), weil die kontextbezogene Informationen immer von der Position eines oder mehrerer Objekte abhängt.

Nach der erfolgreichen Anwendung des *Global Positioning System* (GPS), welches unter freiem Himmel die eigene Position bestimmen kann, fördern den LBS Wunsch nach Systemen, die für den indoor Bereich geeignet sind. Viele Menschen verbringen ihre Zeit innerhalb von Gebäuden wie z.B. in Einkaufszentren, Büros, Flughäfen, Bahnhöfe, U-/S-Bahn Stationen oder Universitäten. Die Positionierung anhand des GPS Systems ist in vielen Situationen ausreichend, aber für die Lokation innerhalb von Gebäuden sind leider die Satellitensignale schlecht empfangbar. Prinzipiell ist eine Indoor-Positionierung seit langer Zeit möglich, allerdings ist sie zu noch zu schlecht und daher großes Forschungsgebiet.

Diese Ausarbeitung gib einen möglichen Überblick über die Positionsbestimmung von Personen innerhalb von Gebäudes. Dazu werden aktuelle Forschungsansätze und verwendete Verfahren dieses Gebietes genau beschrieben.

1.2 Zielsetzung

Zuerst werden im Verlauf dieser Ausarbeitung die grundlegenden Begriffe, die Einordnung des Themas und die Problemstellung vermitteln. Nach den Grundlagen und Konzepten der vorgestellten Thesis, werden aktuelle Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet beschrieben, anhand derer mögliche Lösungsstrategien analysiert und vorgeschlagen werden. Basierend darauf und den vorherigen Recherchen AW1 sowie dem gesammelten Basiswissen, soll anschließend ein Ausblick über ein Masterkonzept gegeben sein.

2 Grundlagen und Konzepte Positionsbestimmung

Die Grundlage für die indoor Positionsbestimmung findet man in den vorher geschriebenen Ausarbeitungen AW1 und Ringvorlesung der Autorin. Bei der Betrachtung der indoorbasierenden Positionsbestimmung geht es speziell um die genaue, physische Position, welche sich durch (x-, y-, z-) Koordinaten beschreiben lässt.

2.1 Einordnung des Themas

Innerhalb des Projekts „Flughafen“ wurde folgende Aufgabenverteilung (Abbildung 2.1) definiert: Location Tracking System, welches die Position einer Person ermittelt, Indoor Map Server, der das Gebäudemodell und die diversen Dienstangebote eines Flughafens verwalten soll, Profilingssystem, das Informationen aus dieser beiden Komponenten nutzt, um die Profildaten zu gewinnen und auszuwerten. Das Endziel dieses Projektes ist ein Indoor Navigation Service für Flughäfen.

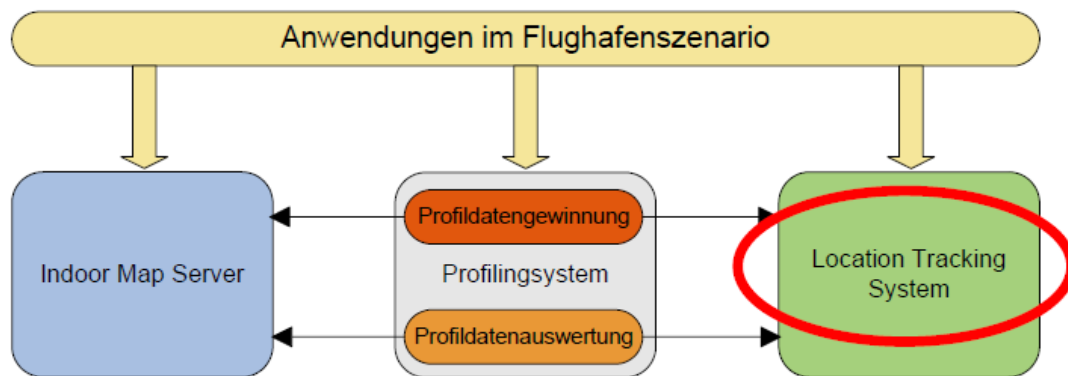


Abbildung 2.1 Einordnung des Masterthesis

Das Thema, mit dem sich die Autorin auseinandergesetzt hat und das in dieser Arbeit weiter betrachtet wird, ist das Location Tracking System d.h. es geht um Techniken- und Verfahren, die eine Positionierung einer Person innerhalb eines Gebäudes bzw. Flughafens erlauben.

2.2 Einsatzgebiete und Beispielszenario

In der aktuellen Forschung befinden sich die Einsatzgebiete für eine Positionsbestimmung in Gebäuden neben dem Fußgänger- und Touristen-Komfort in ortsfremden Gebäuden, bei einer Steigerung der Sicherheit besonders bei Evakuierungen aus großen Gebäudekomplexen. Dabei können auf mobilen Geräten wie z.B. PDA oder Handy, möglichst aktuelle, konkrete Informationen über verfügbare, nicht gesperrte Ausgänge, Fluchtwege geliefert werden. Damit kann das Gebäude schneller, sicherer, reibungsloser verlassen werden, was eine Panik vermeidet.

Auch in öffentlichen Gebäuden wie Bahnhöfen oder Flughäfen können unterschiedliche Dienste nutzbar sein wie Infoterminals mit Speisplänen, Wegfindung zu einem bestimmten Ort z.B. zu Geschäften, aber auch Stauerkennung. Das interessanteste Einsatzgebiet ist eine benutzerspezifische Führung mit Informationen zu konkreten Objekten z.B. im Museum oder Tierpark. Ähnliche Systeme werden in Szenarien wie Personenortung in Seniorenresidenzen

[1] oder in Krankenhäusern [2], wo sie das Auffinden von Geräten, Diensten und Patienten ermöglichen, verwendet. Außer der Positionsbestimmung von Personen- oder Diensten können auch Güter und Waren in Lagern lokalisieren werden. Ein anderes Einsatzgebiet dieses Themas ist das so genannte intelligente Haus, wo Temperatur oder Licht anhand des Aufenthaltsortes des Bewohners gesteuert werden kann.

Das Beispielszenario, welches in der folgenden Arbeit betrachtet wird, ist folgendes:

Szenariobeschreibung:

Ein Geschäftsmann aus Hamburg, der über ein mobiles Gerät z.B. PDA über verschiedene Kommunikationsschnittstellen (WLAN¹, Bluetooth, Infrarot, GPRS²) verfügt, 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 Darstellung der Dateien zu bekommen.

Neben einer Umfeldarchitektur spielt eine Positionierung des Menschen in dem oben genannten Szenario eine wesentliche und grundsätzliche Rolle. Das nächste Kapitel zeigt Problemstellung und Konzepte indoor basierender Positionierung auf.

2.3 Problemstellung

In diesem Unterkapitel werden Problemstellungen bezüglich der indoor Positionsbestimmung dargestellt. Die ersten Systeme haben die Autonavigationstechnik GPS benutzt. Aktuelle Forschungen sagen, dass In- und Outdoornavigation ganz andere Anforderungen und Rahmenbedingungen haben. Gleichzeitig ist GPS alleine zu ungenau für die indoor Positionierung. Bei der Fußgängernavigation kommt zusätzlich Fußgängerverhalten hinzu, das schwer bei der Indoornavigation nachzuvollziehen ist, da es auf Fußgängerwegen keine

¹ *Wireless Local Area Network*

² *General Packet Radio Service*

klare Richtung wie bei der Straße gibt. Außerdem geht es beim fußgänger Szenario nicht immer um die optimale Route von A nach B, das gesuchte Objekt ist oft nur ein Zwischenziel.

Zu den alternativen Kommunikationsschnittstellen (Abbildung 2.3) zur GPS Positionierung für den indoor Bereich gehören z.B. Laser Tracker Systeme, *Bluetooth*, WLAN, GPRS, RFID³, *Ultraschall/Funk* (Cricket, IMAPS⁴, Active Bat), *Infrarot* (Active Badge) usw.

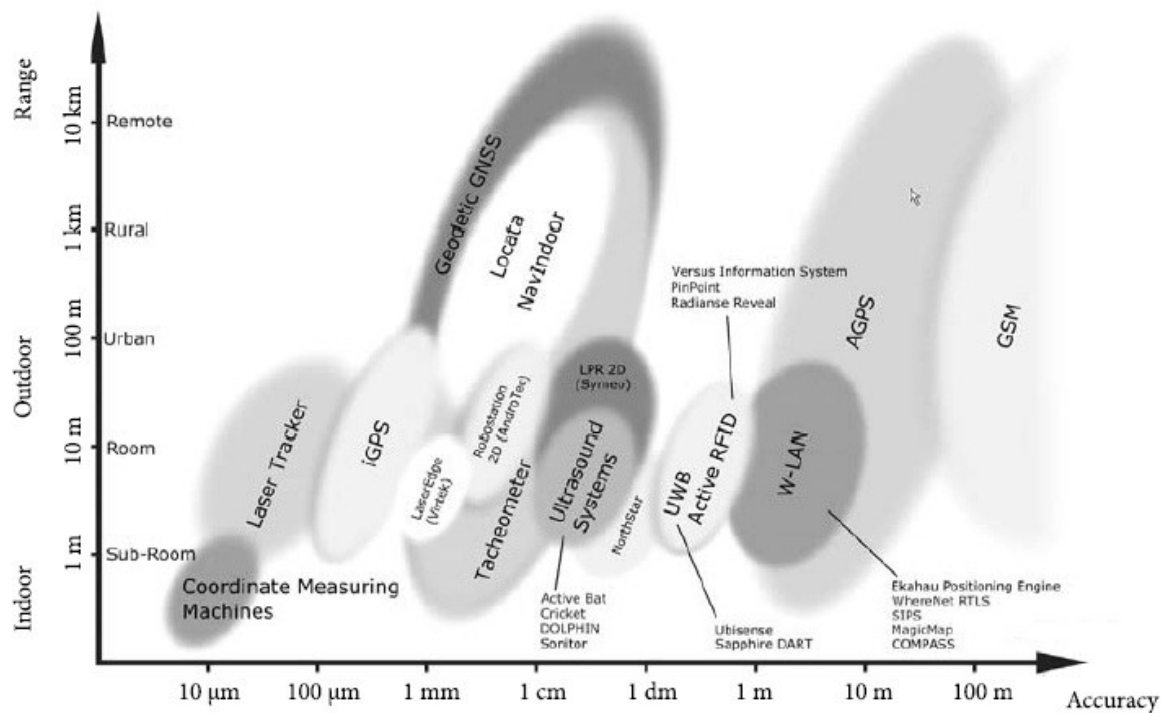


Abbildung 2.3: Technologien für die indoor Positionsbestimmung [5]

Diese benötigen oft hohe Investitionen in eine geeignete Infrastruktur oder zusätzliche Aufwand (Ultraschall), um die Positionsgenauigkeit zu verbessern. Einige davon geben relativ niedrige Genauigkeit (WLAN), andere bieten eine hohe Genauigkeit, aber benötigen dafür eine bestimmte Verteilung von Lesegeräten (RFID) oder funktionieren nur bei dem entsprechenden Anwendungsszenario (*Bluetooth*). Infrarot Systeme haben einen geringen Wartungsaufwand, da aber ständig ein Signal gesendet und überwacht wird, kommt es zu einer starken Batteriebelastung.

Zusammenfassend zu den Anforderungen, die bei der Auswahl des geeigneten Fußgängernavigationsmodells berücksichtigt sein müssen, gehören das individuelle Verhalten mobile Benutzer. Außerdem soll ein passendes Verfahren folgende Eigenschaften beinhalten:

- für indoor Gebäude bzw. Flughafen geeignet sein.
- an das oben gestellte Szenario angepasst d.h. die Fußgängerposition soll bis zu einigen Zentimetern genau sein.
- Hardware soll geringen Batterieverbrauch, Kosten und Ausstattungsaufwand besitzen.
- Das System soll benutzerfreundlich, hilfreich und bedienerfreundlich sein.

³ Radio Frequency Identification

⁴ Indoor Distance Measurement And Positioning System

3 Aktuelle Forschungsaktivitäten

Nachdem bisher Grundlagen, Anforderungen an das geplante System, aber auch Problemstellungen der indoor Positionsbestimmung mit dem Hintergrund des „Flughafen“ Szenario vorgestellt wurden, werden hier noch einige aktuelle Forschungsaktivitäten, die sich mit einem ähnlichen Thema beschäftigen, vorgestellt und analysiert. Zu diesem Zweck werden wesentliche Aspekte und Besonderheiten, die für das geplante Projekt-Szenario interessant und einsetzbar sein können, aufgezeigt.

3.1 Das Hermes2 System

Das Hermes2 System [4] wurde an der Lancaster Universität entwickelt und dort getestet. Dabei werden die Besucher des Infolab21 Gebäudes bei der Wegfindung zu dem gewünschten Ziel z.B. zu bestimmten Professoren unterstützt. Dafür wurden folgende Komponenten (Abbildung 3.1) genutzt:

- Digitale Displays für die Darstellung der Navigationshinweise, aber auch der Notizen von Mitgliedern bzw. Professoren und dem Person Locator Kiosk, wo das gewünschte Ziel, Art der Landkarte (2D oder 3D) und Art der Routenhinweise (auf den Hermes2 digitalen Displays oder auf das Handy) ausgewählt werden kann.
- Handys, auf die Besucher digitale 2D und 3D Navigationsinformationen zu dem gewünschten Zielen über Bluetooth herunterladen können.
- Statische digitale 2D und 3D-Landkarten des Gebäudes im JPEG⁵ Format für die Navigation.

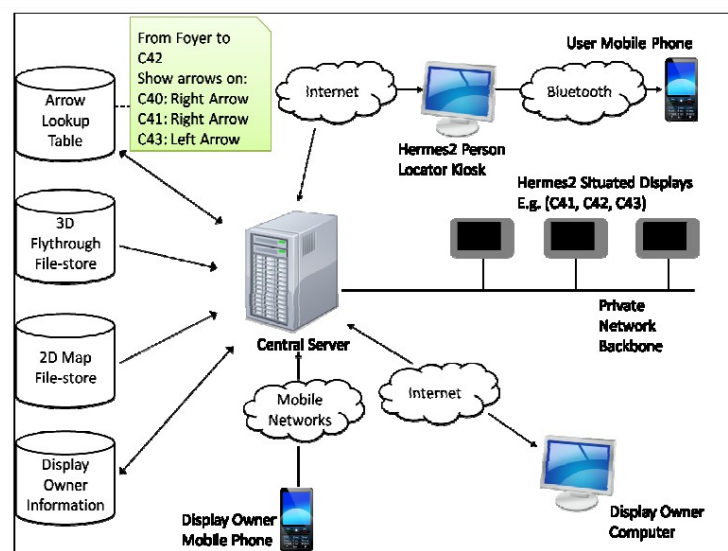


Abbildung 3.1: Architektur des prototypischen Systems [4]

Das Hermes2 System verwendet das GAUDI⁶ System [6] für die Positionsbestimmung, welches den Schwerpunkt auf der Anwendung einer dynamischen Beschilderung legt und den A* Algorithmus für die Wegfindung sowie eine MySQL Datenbank benutzt.

⁵ Joint Photographic Experts Group

⁶ Grid of Autonomous Displays

3.2 Das biometrische System

Das biometrische System [3] wurde an der L'Aquila Universität in Italien entwickelt, um Zugang zu Sperrgebieten mit einem hohen Maß an Sicherheit und Kontrolle zu ermöglichen. Die Hauptkomponente des Systems ist ein drahtloser biometrischer Ausweis (Abbildung 3.2), der folgende Aufgaben erfüllen kann:

1. Lokalisierung und Verfolgung der Personen innerhalb eines Gebäudes
2. Scannen, Überprüfung und Speichern der Fingerabdrücke des Nutzers
3. Überprüfung der Identität und Zugehörigkeit des biometrischen Ausweis zum Nutzer

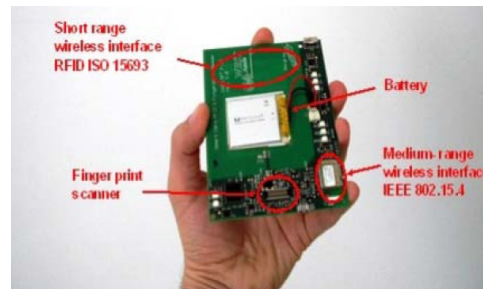


Abbildung 3.2: Das biometrische Modul [3]

Das oben genannte Modul benutzt einen ESD ⁷ Algorithmus, welches aus einer Erweiterung des SD Algorithmus entstanden ist (ESD ist schneller als der SD Algorithmus). Mehr darüber findet man in der Arbeit von S. Tennina [3].

3.3 E-Scavenger Hunt Game

Bei diesem Projekt handelt es sich um ein Indoor-Evakuierungssystem. Hierfür sind an den Wegkreuzungen und der Mitte von langen Fluren RFID Lesegeräte, QR-Codes⁸ und Displays platziert.

An das System Nutzer anmelden und bekommen eine eindeutige ID auf einer RFID Karte.

Positionsinformationen werden dem System über die RFID Karte oder über den mit dem Handy eingelesenen QR-Code übermittelt. Für die Übermittlung dieser Positionsinformation über das Handy steht eine Webapplikation bereit. Diese stellt über WLAN⁹ Informationen zum Standort, das Ziel und Anweisungen vom System bereit.

Die Abbildung 3.3 zeigt die gestammte Architektur der *Scavenger Hunt* Applikation, die sich im Prinzip aus drei Subsystemen besteht (DBMS¹⁰, RFID und QR-Kode Subsystem).

⁷ Enhanced Steepest Descent

⁸ Quick Response Barcode

⁹ Wireless Local Area Network

¹⁰ Database Management System

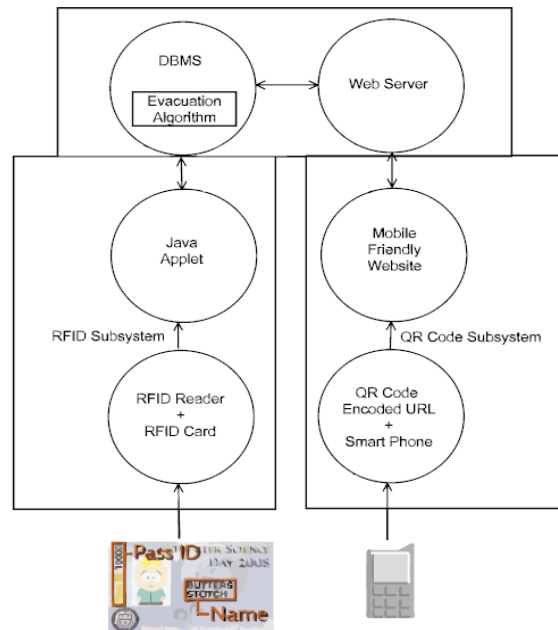


Abbildung 3.3: Architektur von der scavenger hunt Applikation

Im RFID Subsystem wird anhand des RFID Empfängers eine aktuelle Position der durch RFID Karte identifizierenden Person und ihr nächstes Zwischenziel mit den bisher gespeicherten Daten in Datenbank überprüft bzw. korrigiert. Dafür wird ein *SCAVY* Algorithmus benutzt, der die Personen im Notfall durch sichere, kürzeste Wege navigiert, indem es die unsicheren und gestauten Wege sofort löscht. Außerdem lässt sich damit beobachten, welche Personen zu welchen Ausgängen gehen.

Das QR-Code Subsystem enthält eine Sammlung mit einzigartigen QR-Codes, die von vielen Handys ausgelesen werden können und eine Website, wo sich ein Benutzer beim ersten Mal legitimieren muss. Die ID des angemeldeten Users wird auf seine RFID Karte gedruckt.

Das MySql Datenbanksystem ist der Kern des Projekts, da es die wichtigste Evakuierungsinformation beinhaltet. Dabei werden Positionen archiviert, die durch den *SCAVY* Algorithmus für eine grafische Darstellung (der edge-weighted vertex-weight Graph) der Navigation bearbeitet werden. Dadurch dass RFID und QR-Kode Subsystemen direkt mit dem Datenbanksystem verbunden sind, ist bei dem Ausfall des Einens der Andere verfügbar und erreichbar.

3.4 Positionsbestimmung für Anwendungsszenario „betreutes Wohnen“

Das System [7] für das Szenario „betreutes Wohnen“ ist an der Fachhochschule Dortmund entwickelt und getestet. Die Hauptziele bestehen darin mit Hilfe verschiedener drahtloser Sensoren (Feuchtigkeit, Strom, Geräusche, Temperatur, Rauch), Lokalisierung und Beobachtung des Verhaltens der Bewohner, Telemonitoring, Erkennung von Gefahrensituationen im Notfall, bestimmte Prozeduren wie z.B. Auslösen einer Alarmmeldung, Steuerung bzw. Abschalten von Strom und/oder Wasser, usw. durchführen zu können. Um die oben genannte Funktionen abdecken zu können, wurden zunächst stationäre Knoten für die Erfassung von Sensordaten (Abbildung 3.4) im Gebäude positioniert.

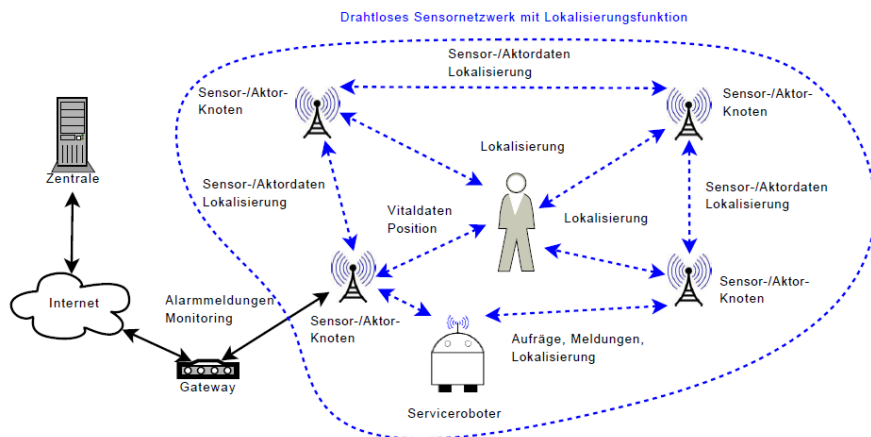


Abbildung 3.4: Architektur des Systems [7]

Die Bewohner wurden über mobile Sensorknoten in das drahtlose Sensornetzwerk integriert, welches über ein Gateway mit dem Internet verbunden ist. Darüberhinaus lassen sich Lokalisierung und Vitaldaten (Blutdruck, Puls, Schweißsekretion und Atemfrequenz) des Bewohners abfragen und monitorieren. Für Echtzeit Lokalisierung und drahtlose Kommunikation, die auf Chirp-Modulationstechnik CSS¹¹ basiert, wurde das nanoLOC System [8] verwendet. Das dabei benutzte SDS-TWR¹² Ranking Verfahren, welches keine zeitliche Synchronisierung zwischen Sensorknoten benötigt, ermöglicht eine metergenaue Positionsbestimmung des mobilen Benutzers. Für die Positionsfilterung wurde der Erweiterte Kalman-Filter (EKF [9]) eingesetzt.

3.5 Awiloc

Das Awiloc System [10] des Fraunhofer Institut für Informatik (IIS) für Positionsbestimmung basiert auf dem so genannten Fingerprinting und nutzt dafür die vorhandenen Funknetzwerke (WLAN, GSM, UMTS). Am weitesten sind die Funknetzwerke des IEEE 802.11 Standards verbreitet und wird hier benutzt. Die empfangenen WLAN-Informationen, die auf einem Server hingelegt werden, werden von mobilen Benutzern auf Handy geladen. Daraus und anhand des Algorithmus des IIS wird die aktuelle Position berechnet. Dabei entscheidet der Benutzer, ob er die für sich behandelt oder einem zentralen Dienst zur Verfügung stellt. Das System ist einiger Meter genau.

4 Projektbezug „Flughafen“

Die vorgestellten Projekte erhalten Teilweise Lösungen für die Problemstellung der indoor Positionierung. Oftmals sind sie auf einen konkreten Anwendungsbereich beschränkt.

In der ersten Arbeit „das Hermes2 System“ wurde ein interessantes Konzept für ortsbezogene Dienste vorgeschlagen, wo ein Benutzer selbst sein Objektziel aus einer verfügbaren Liste auf dem öffentlichen Display wählt. Außerdem kann er dort eine Route in sehr genaue 3D-Visualisierung anschauen und die in vereinfachte 2D Form auf sein Handy laden, was für sich das Flughafen Szenario eignet, da keine zusätzliche Hardware benötigt wird. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, dass die Position des verfügbaren Objektes ist ganz genau bestimmt und der Installationsaufwand der Displays gering ist. Zum Nachteil gehört, dass eine Steuerung bzw. dynamische Unterstützung des Benutzers vom System beim Routen. D.h.

¹¹ Chirp Spread Spectrum

¹² Symmetrical Double-Sided Two Way Ranging

Wenn der User einen falschen Weg wählt nicht möglich ist. Es gibt keine Möglichkeit den Nutzer zu informieren und die Richtung zu korrigieren bzw. neue Routen zu erstellen.

Bei der „E-Scavenger Hunt Game“ ist die Platzierung von RFID Lesegeräten auf den Wegkreuzungen und die Ausrüstung mit der nötigen Hardware aufwändig. Damit ist es für die gewünschte Genauigkeit in anderem Szenario zu teuer. Zusätzlich stellt die Signalstärke der Lesegeräten ein mögliches Problem dar welches auch in der Arbeit „betreutes Wohnen“ entstanden ist, wo stationäre Sensorknoten möglichst eng installiert werden mussten. Ebenso ist eine Ausbreitung des Sensorsignals begrenzt. D.h. bei der hohen Decke kann das Sensorknotensignal schlecht oder kaum erreichbar sein.

Der Vorteil von Awiloc ist, dass dabei beliebige Kommunikationsnetze angepasst werden können. Allerdings ist Genauigkeit der Positionsbestimmung nicht befriedigend.

Alle oben vorgestellten Systeme haben sowohl Vorteile als auch Nachteile im Bereiche der Positionsgenauigkeit, dem Hardwareaufwand und der Störungsfälligkeit. Sie sind alle mehr oder weniger vom gewünschten Optimum entfernt.

5 Fazit und Ausblick

In den letzten Kapiteln wurden verschiedene Lösungsansätze für die indoor Lokalisierung beschrieben und bewertet. Daraus lässt sich feststellen, dass es bisher kein System gibt, das als Standard wie GPS für jede Situation geeignet ist. Wie in Abschnitt 2.3 geschrieben, sind Sensorsysteme im Gegensatz zu WLAN Netze aufgrund der Kosten und dem Aufrüstungsaufwand nicht besonders für das „Flughafen“ Szenario geeignet. Dadurch, dass keines dieser Techniken ein überzeugendes Ergebniss für mein Projekt liefert, nutze ich eine Kombination aus ihnen. Als Einstiegspunkt werden Forschungsprojekte wie MobileWALK [11], COMPASS [12] und iNav [13] genommen, die gleichzeitig mehrere Techniken als Plugins einbinden und benutzen können.

Neben den vorgestellten Anforderungen, können auch andere interessante Ideen und Aspekte für das „Flughafen“ Szenario betrachtet und untersucht werden. Dazu gehören: Navigation einer Person und seines Gepäcks, Stauerkennung und dabei Vorschlag besserer staufreier Wege- oder ein „intelligentes“ Schild d.h. die Darstellung einer bestimmten Nachricht und/oder Werbezone zu der vorher erkannten Person.

Literatur

- [1] <http://www.sicherheit.info/si/cms.nsf/si.ArticlesByDocID/1101919?Open>
- [2] Sonitor Technologies Inc., www.sonitor.com, Bothell WA 98011, Januar 2010
- [3] „Demo Abstract: Integrated GPS-denied Localization, Tracking and Automatic Personal Identification”, 2009 ACM
- [4] „Formative Studies for Dynamic Wayfinding Support with In-Building Situated Displays and Mobile Devices”, 2009 ACM
- [5] „Overview of Current Indoor Positioning Systems”, 2008
- [6] „Adaptive navigation support with public displays”. In Proc. of the 10th international Conference on intelligent User interfaces, 2005
- [7] „Drahtlose Sensornetzwerke mit Lokalisierungsfunktion für Anwendungen im betreuten Wohnen”, Fachhochschule in Dortmund, 2010
- [8] „nanoLOC TRX: Präzise Abstandsbestimmung und Lokalisierung mittels Laufzeitmessungen (RTOF) durch Einsatz der 2,4 GHz Chirp Spreiztechnologie (CSS)”, VDI Verlag, 2008
- [9] „Lokalisation in der Lagerverwaltung – Nutzenpotentiale drahtloser Sensornetzwerke zur Positionsbestimmung sowie Genauigkeitsoptimierung mit dem Kalman-Filter”, 2008
- [10] <http://www.awiloc.de>
- [11] http://www.it2media.de/de/desktopdefault.aspx/tabid-133//206_read-1847/
- [12] „The compass location system”, A. Bernauer, F. Kargl, First International Workshop LoCA, 2005
- [13] „The inav indoor navigation system”, F.Flerlage, F. Kargl, S. Geßler, Universität Ulm, 2007