

# Lokalisierungstechnologien für das Internet der Dinge

Michael Schär

ETH Zürich, Mai 2008

**Zusammenfassung** Immer mehr Anwendungen auf mobilen Endgeräten basieren darauf, dass der aktuelle Standort bekannt ist. Da GPS gewisse Einschränkungen beinhaltet, sind im Verlaufe der Jahre unterschiedlichste Systeme zur Bestimmung des Standortes aufgekommen. In dieser Arbeit werden zuerst Faktoren aufgezeigt, in denen sich diese Systeme unterscheiden. Anschliessend werden mit RADAR und Place Lab zwei konkrete Systeme erklärt und analysiert.

## 1 Einführung

Die massiv steigende Anzahl mobiler Computer wie Laptops, PDAs und insbesondere Mobiltelefone haben zur Folge, dass laufend neue Anwendungen erscheinen, die darauf ausgerichtet sind, dass sie von den Benutzern auch unterwegs genutzt werden können. Viele dieser Anwendungen basieren darauf, dass die aktuelle Position des Gerätes (ob nur relativ innerhalb eines Gebäudes oder absolut in Koordinaten) bekannt ist.

Das Internet der Dinge ist ein Begriff, der zunehmend an Bedeutung gewinnt. Gegenstände des Alltages tauschen dabei selbständig Informationen aus. Ein Ziel davon ist, insgesamt einen klaren Eindruck zu erhalten, in welchem Kontext sich die Gegenstände befinden. Ortsinformationen stellen einen wichtigen Teil dieses Kontexts dar. Dieses Wissen ermöglicht es Gegenständen beispielsweise, sich nach einem gespeicherten Schema zu verhalten, wenn sie bemerken, dass sie sich an einem bekannten Ort befinden. Somit ist Lokalisierung auch von grosser Bedeutung für das Internet der Dinge.

GPS ist sicherlich das bekannteste und auch weitverbreitetste System zur Ortsbestimmung. Leider sind einerseits noch lange nicht alle mobilen Geräte mit entsprechender Hardware ausgerüstet und andererseits erfüllt GPS nicht die Anforderungen aller Anwendungen. Dadurch ist es in den letzten Jahren zur Entwicklung verschiedenster alternativer Systeme gekommen, die gewisse Vorteile bieten und auf unterschiedliche Einsatzgebiete ausgerichtet sind. Zu ihnen gehören auch RADAR[1] und Place Lab[2].

In dieser Arbeit werden zuerst kurz die Funktionsweise von GPS und die damit verbundenen Einschränkungen erläutert. Danach werden Faktoren aufgezeigt, in welchen sich viele der aktuellen Systeme unterscheiden. Anschliessend werden RADAR und Place Lab erklärt und analysiert.

## 2 GPS

GPS (Global Positioning System) ist ein satellitengestütztes Navigationssystem, das Ende der 1980er-Jahre vom US-Verteidigungsministeriums zur weltweiten Positionsbestimmung entwickelt wurde.

### 2.1 Funktionsweise

Die Satelliten teilen über Funk ihre genaue Position und die Uhrzeit mit. Durch Erhalten einer solchen Nachricht kann ein Gerät aufgrund der Zeitdifferenz die Distanz zu einem Satelliten berechnen. Die bekannte Distanz zu drei Satelliten ergibt einen eindeutigen Punkt (inkl. Höhenangabe) auf der Erdoberfläche. Da kein GPS-Empfänger eine genügend genaue Uhr hat, muss in der Praxis allerdings noch ein vierter Satellit angefragt werden, um die genaue Zeit beim Empfänger festzustellen.

### 2.2 Einschränkungen

GPS funktioniert nur, wenn Sichtkontakt zu mindestens vier Satelliten herrscht. Dadurch muss man innerhalb von Gebäuden komplett darauf verzichten. Auch in Grossstädten können aufgrund der hohen Gebäude oft nicht vier Satelliten gleichzeitig erreicht werden.

Das entsprechende Endgerät benötigt einen GPS-Empfänger. Die Kosten dafür werden zwar immer günstiger, sind aber mit derzeit zweistelligen Dollar-Beträgen noch zu hoch für billigere Alltagsgegenstände. Um die gewohnte Genauigkeit zu erreichen, dürfen die Antennen der GPS-Empfänger ausserdem nicht zu klein sein. Somit ist GPS für kleine Gegenstände gar nicht geeignet.

Ungenauigkeiten von fünf Metern sind eher die Regel als die Ausnahme. Für viele Anwendungen ist dies zu ungenau.

## 3 Entscheidende Faktoren

Die vielen zur Zeit verfügbaren oder sich noch in der Entwicklung befindenden Systeme zur Ortsbestimmung unterscheiden sich in zahlreichen Faktoren. Im Folgenden werden einige davon aufgeführt und bei GPS und anderen Systemen analysiert.

**Geographische / symbolische Ortsangabe:** Ein Ort kann entweder geographisch oder symbolisch angegeben werden. GPS gibt Orte geographisch an durch Koordinaten, die weltweit eindeutig sind. Andere Systeme, die beispielsweise auf Kameras basieren können, die Räume überwachen, liefern nur symbolische Angaben. Dies kann durch Angabe des Raums geschehen, in dem sich eine Person gerade befindet. Geographische Werte können durch Angabe zusätzlicher Informationen auf symbolische abgebildet werden. Dies geschieht auch in dem wohl häufigsten Anwendungsszenario von GPS, einem Navigationssystem. Durch

lokal gespeicherte Landeskarten werden die geographischen Werte auf Strassen abgebildet und der Benutzer sieht, wie er sich darauf fortbewegt.

**Ort der Berechnung:** Im Wesentlichen gibt es zwei Ansätze, wo der Ort eines Objektes berechnet werden kann: Entweder beim Objekt selbst oder in der Infrastruktur, die für die Ortsbestimmung notwendig ist. Bei GPS wird zwar eine Infrastruktur in Form von Satelliten verwendet, die Berechnung des Aufenthaltsortes wird jedoch basierend auf den Nachrichten der Satelliten beim Endgerät direkt vorgenommen. Der Ansatz, die Berechnung lokal vorzunehmen, bietet sowohl einen grossen Vorteil wie auch einen Nachteil. Einerseits wird die Privatsphäre gewährt, da der Aufenthaltsort des Objektes nur nach aussen sichtbar ist, wenn er explizit bekanntgegeben wird. Andererseits kann die Berechnung des Ortes aufgrund von Information der Infrastruktur ziemlich rechen- oder platzaufwendig sein. Dies fällt besonders dann ins Gewicht, wenn es um sehr kleine mobile Geräte geht.

**Genauigkeit:** Dieser Faktor ist leider nicht immer nur als einzelner Wert anzugeben, da er bei den meisten Systemen nicht in allen Umgebungen gleich hoch ist. Um die verschiedenen Systeme zu vergleichen, sollte deshalb die Genauigkeit zumindest mit einem Prozentsatz, in dem sie effektiv erreicht wird, angegeben werden. GPS erreicht eine Genauigkeit von mindestens 15 Metern in 95% aller Fälle. Für Navigationssysteme ist dies meist ausreichend, in seltenen Fällen kommt es jedoch dazu, dass bei zwei parallelen Strassen die falsche erkannt wird. Für andere Anwendungen wird jedoch eine höhere Genauigkeit benötigt. Ein Extrembeispiel stellt MotionStar[3] dar. Es wird verwendet für das sogenannte Motion-Capturing. Dabei wird beispielsweise ein Mensch mit Sensoren am ganzen Körper ausgestattet. Seine Bewegungen können so gespeichert werden, was es ermöglicht, die Bewegung des Menschen nahezu identisch am Computer nachzuahmen. Dabei wird beinahe in 100% aller Fälle eine Genauigkeit von unter 1 mm erreicht.

**Skalierbarkeit:** Die Skalierbarkeiten der verschiedenen Systeme unterscheiden sich durch die Grösse der Umgebung, in der sie angewendet werden können. Dies kann weltweit sein oder limitiert auf kleinere Flächen, wie ein Campus einer Universität, ein spezielles Gebäude oder gar nur ein einzelner Raum. Ausserdem zeichnet sich ein skalierbares System dadurch aus, dass die Anzahl der Objekte, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer kleinen Umgebung geortet werden können, praktisch unbegrenzt ist, ohne dass dafür die Infrastruktur extra entsprechend angepasst werden muss. Skalierbarkeit ist die grosse Stärke von GPS. 24 Satelliten reichen aus, um Geräten weltweit die benötigten Informationen für die Lokalisierung gleichzeitig zu senden. Beispiele schlechter Skalierbarkeit liefern gewisse Tag Readers, die kein einziges Tag mehr lesen können, sobald sich mehrere im erreichbaren Umkreis befinden.

**Kosten:** Die Gesamtkosten setzen sich einerseits zusammen aus reinen Hardwarekosten der gesamten Infrastruktur und mobilen Geräte, andererseits auch aus Personalkosten für die Installation und Instandhaltung eines Systems. Bei GPS dominieren insgesamt die Kosten für die benötigten Empfänger mit einer Antenne in jedem mobilen Gerät.

## 4 RADAR

RADAR[1] entstand vor bald zehn Jahren bei Microsoft Research. Es spezialisiert sich auf Lokalisierung von Objekten innerhalb eines Gebäudes. Zu diesem Zeitpunkt gab es bereits mehrere Systeme, die dies ermöglichten. Die meisten basierten auf Infrarot-Sendern und -Sensoren. Das Active Badge System[4] als wohl bekanntestes dieser Art ermöglicht es, den Raum, in dem sich eine Person befindet, festzustellen.

Das Ziel von RADAR war nicht primär, höhere Genauigkeiten zu liefern, vielmehr ging es darum ein System zu entwickeln, das frei war von den grossen Nachteilen von Systemen wie dem Active Badge System: Die speziell benötigte Hardware. Einerseits müssen innerhalb eines Raumes Infrarot-Sensoren angebracht werden, andererseits müssen alle Objekte, deren Aufenthaltsort zu bestimmen ist (in den meisten Anwendungsfällen Menschen), durch entsprechende Infrarot-Sender ausgestattet werden. Dies führt nicht nur zu ordentlichen Kosten, sondern hat auch zur Folge, dass jede Person, deren Aufenthaltsort bestimmt werden soll, einen Sender, der nur für diese Anwendung gebraucht wird, tragen muss. RADAR umgeht diese Nachteile dadurch, dass es eine bereits existierende Infrastruktur nutzt, nämlich das WLAN. Mehrere Access-Points sind in vielen Gebäuden bereits vorhanden und immer mehr Geräte sind WLAN-tauglich.

Im Folgenden werden anhand einer konkreten Testumgebung zwei verschiedene Verfahren vorgestellt, um eine Person anhand von WLAN-Signalen zu orten. Die beiden Verfahren werden fortlaufend analysiert.

### 4.1 Sammeln der Messdaten

Die verwendete Testumgebung ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie besteht aus einem ganzen Stockwerk eines Gebäudes. Es ist 43.5 m lang, 22.5 m breit und enthält über 50 Zimmer. Drei WLAN-Basis-Stationen (BS) wurden so angeordnet, dass sie insgesamt das ganze Stockwerk abdecken.

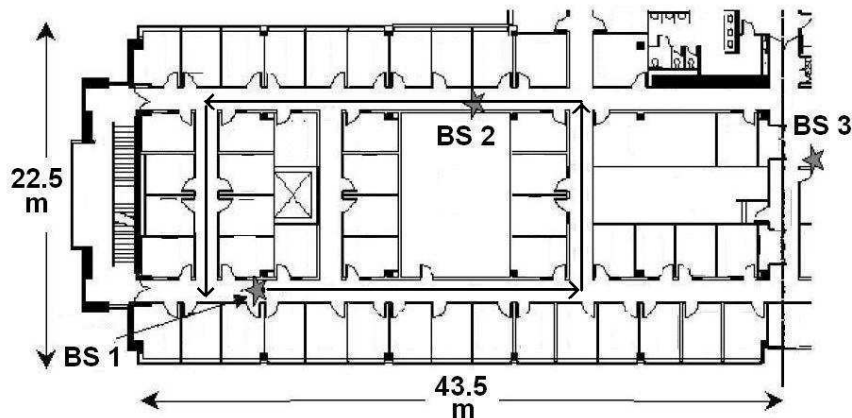


Abbildung 1. Verwendete Testumgebung [1]

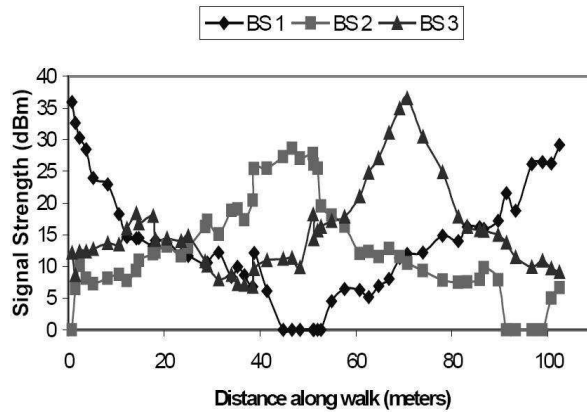


Abbildung 2. Signalstärken während eines Rundgangs durch die Gänge [1]

Während der Messungen sendete ein Laptop UDP-Pakete per Broadcast an die Access-Points, bei denen die Signalstärken davon gemessen und gespeichert wurden. Sämtliche Messungen können in zwei Phasen unterteilt werden. Die *Off-Line-Phase* wird benötigt, um das System zu kalibrieren. Während der *Real-Time-Phase* kann der Aufenthaltsort einer Person vom System berechnet werden.

Beim Durchführen der Messungen der *Off-Line-Phase* musste der Aufenthaltsort des Laptops durch Klicken auf eine Karte angegeben werden. Zusätzlich wurde noch die Richtung, in der die Person stand, als Norden, Osten, Süden oder Westen eingetragen. Pro gemessenem Aufenthaltsort wurden jeweils 20 Messungen durchgeführt, wovon der Schnitt der gemessenen Signalstärken zusammen mit dem Standort und der Richtung in einer Datenbank gespeichert wurde.

## 4.2 Grundidee

Um während der *Real-Time-Phase* den Aufenthaltsort einer Person zu bestimmen, werden lediglich die aktuell bei den drei Access-Points gemessenen Strahlungswerte verwendet. Um so erfolgreich den Aufenthaltsort zu bestimmen, wird natürlich vorausgesetzt, dass die Strahlungswerte an allen Positionen unterschiedlich sind.

In Abbildung 2 sieht man diese Werte während eines Rundgangs vom 1. Access-Point aus durch den äusseren Gang aus Abbildung 1 im Gegenuhrzeigersinn. Man sieht, dass die Anforderung erfüllt ist, da keine zwei Punkte innerhalb des Ganges die gleichen Werte für alle drei Access-Points aufweisen. Das Diagramm kann allerdings auf den ersten Blick einen zu optimistischen Eindruck hinterlassen. Würde man die Messungen erneut durchführen, ist damit zu rechnen, dass die Werte ein wenig abweichen, da sich die Umgebung leicht geändert hat. Dies kann beispielweise durch Objekte (insbesondere auch Menschen) geschehen, die sich nun an einer anderen Stelle auf dem Stockwerk befinden. Ausserdem ist es sehr entscheidend, wie der Laptop im Vergleich zum Körper gehalten wird, da die verschiedenen Stoffe im Körper (z.B. Wasser) die Fortbewegung der Strahlen stark beeinflussen. Dies ist auch der Grund, weshalb die Richtung bei den Messungen während der *Off-Line-Phase* angegeben wird.

Bereits im Diagramm selbst fällt negativ auf, dass zwar tendentiell die Signale bei einem Access-Point stärker sind, wenn die Person näher dazu steht, dass dies aber keineswegs der einzige Einfluss sein kann, da die Werte zu wenig stetig sind. Gründe hierfür sind wiederum Einflüsse von Objekten (das Signal kann an einem Gegenstand (z.B. einer Wand) abprallen oder auch hindurchgehen), Einflüsse mehrerer gleichzeitiger Signale (diese können sich sowohl verstärken wie auch abschwächen) und die Tatsache, dass ein Signal über mehrere Wege ans Ziel kommen kann.

Aufgrund dieser Probleme wurden für RADAR zwei Methoden entwickelt. Die erste ist rein empirisch, vergleicht also nur vorher gemessene Werte mit dem aktuellen. Die zweite versucht die Signalstärken anhand eines Modelles zu schätzen.

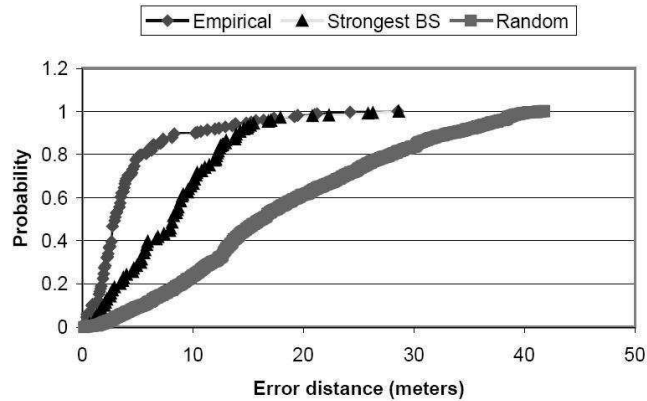
### 4.3 Empirische Methode

Während der Off-Line-Phase wurden 70 uniform auf dem Stockwerk verteilte Punkte vermessen. In der Datenbank wurde somit für jeden Punkt und jede Himmelsrichtung ein Eintrag mit den Strahlungsstärken bei den drei Access-Points abgelegt, insgesamt also 280 Einträge. Während der Real-Time-Phase wurden Messungen durchgeführt an einem jeweils zufällig gewählten Punkt, der bereits in der Off-Line-Phase verwendet wurde. Um die Messungen nicht positiv zu verfälschen, wurden die Einträge des Punktes, an dem die aktuelle Messung stattfand, ignoriert und somit als Vergleich nur die 69 anderen Messpunkte verwendet.

Für die Schätzung des Aufenthaltsortes wurden zwei verschiedene Analyse-Verfahren verwendet. Das eine gibt als Resultat jenen Punkt unter den 69 gespeicherten zurück, von dem die Signalstärken der drei Access-Points bei einer der vier Himmelsrichtungen am wenigsten von der aktuellen Anfrage abweichen. Als Abweichung der drei Signalstärken wird die euklidische Distanz verwendet. Das zweite Analyse-Verfahren verwendet eine variable Anzahl von Datenbank-Einträgen, deren gemessene Signalstärken am nächsten an jenen der Anfrage liegen. Von diesen Punkten wird anschliessend die Mitte berechnet und als Resultat ausgegeben. Der Gedanke ist, dass oft mehrere gemessene Punkte nahe am zum bestimmenden liegen. Dieser Ansatz liefert ausserdem einen Aufenthaltsort, der nicht mehr einem der 70 Messpunkte entsprechen muss.

Abbildung 3 zeigt die Verteilung des Fehlers des ersten Verfahrens. In 25% aller getesteten Fälle war der Fehler unter 1.92 m, in 50% unter 2.94 m. Als Vergleich werden in der Abbildung auch die Werte von einem Verfahren angegeben, das jeweils jenen der 3 Access-Points mit der höchsten Signalstärke als Resultat zurückgibt, und einer zufälligen Wahl irgendeines Ortes auf dem Stockwerk. Das empirische Verfahren schneidet wesentlich besser ab.

Für das zweite Analyse-Verfahren gibt es leider keine ausführlichen Resultate. Für eine kleine Anzahl von nahen betrachteten Einträgen in der Datenbank gibt es kaum eine Verbesserung gegenüber der ersten Methode, da oft verschiedene Himmelsrichtungen an derselben Stelle gewählt wurden. Für die 5 naheliegendsten betrachteten Einträge verkleinert sich der Fehler entscheidend. In 25% aller



**Abbildung 3.** Fehlerverteilung bei Wahl des nächstgelegenen Punktes [1]

Fälle liegt er unter 1.5 m und in 50% unter 2.75 m. Dies entspricht einer Verbesserung von 22 resp. 9% im Vergleich zur ersten Methode. Leider fehlt eine Angabe wie gross die Fehler in den anderen 50% werden können. Ein kleinerer Fehler in seltenen Fällen kann oft schlimmer sein in der Praxis als eine leichte Einbusse der Genauigkeit im Normalfall, da in diesen Fällen dem Benutzer ein völlig falscher Raum angezeigt wird und er dem System unter Umständen fälschlicherweise vertraut.

#### 4.4 Modell der Fortbewegung der Funkstrahlen

Es gibt verschiedene Modelle, welche die Fortbewegung von Funkwellen zu beschreiben versuchen. Aufgrund der vielen bereits erwähnten Einflüsse ist kein in der Praxis verwendbares exakt. Die Entwickler von RADAR entschieden sich für *Floor Attenuation Factor*[5] mit einigen Abänderungen.

Durch Verwendung eines Modells fallen die aufwendigen Messungen an den 70 Punkten während der Off-Line-Phase weg. Stattdessen werden die Strahlungswerte an diesen (oder beliebigen anderen) Punkten auf dem Stockwerk durch das Modell geschätzt. Trotzdem kommt auch dieses Verfahren nicht komplett ohne Off-Line-Phase aus. Für das Modell müssen verschiedene Parameter pro Access-Point gesetzt werden. Beim Experiment geschah dies, indem für jeden Access-Point einige Messungen in unterschiedlicher Entfernung und mit unterschiedlicher Anzahl Mauern zwischen dem Access-Point und dem Laptop durchgeführt wurden.

Abbildung 4 zeigt die Schätzung der Signalstärke an einem der drei Access-Points für jeden der 70 Punkte im Vergleich zu den korrekten Werten. Die Abweichung hält sich jeweils in Grenzen. Was jedoch auffällt, ist, dass die Schätzungen viel stetiger sind als die Realität.

Mit dem bereits bei der empirischen Methode verwendeten Analyse-Verfahren, das nur den nächsten Eintrag in Betracht zieht, wurden Messungen durchgeführt. In 50% aller Fälle wird eine Genauigkeit von unter 4.3 m (empirische Methode: 2.94 m) erzielt, in 25% gar eine Genauigkeit von unter 1.86 m (empirische Methode: 1.92 m).

Dass das Verfahren besser abschneidet bei Werten unter 25%, halte ich persönlich nicht für einen Vorteil gegenüber der empirischen Methode. Einerseits erscheinen mir die 0.06 m statistisch nicht allzu signifikant, andererseits kann ich mir vorstellen, dass bei der Analyse des Modells auch die Schätzung des zu suchenden Punktes betrachtet wurde, der bei der empirischen Methode ignoriert wurde. Leider wird darüber keine Aussage gemacht.

Überrascht war ich auch, dass keine Vergleiche für das Analyse-Verfahren, das mehrere nahe Punkte in Betracht zieht, durchgeführt wurden. Dies sollte meiner Meinung nach keinen grossen Aufwand darstellen, da der Algorithmus bereits vorhanden ist und auch keine neuen Messungen durchgeführt werden müssten.

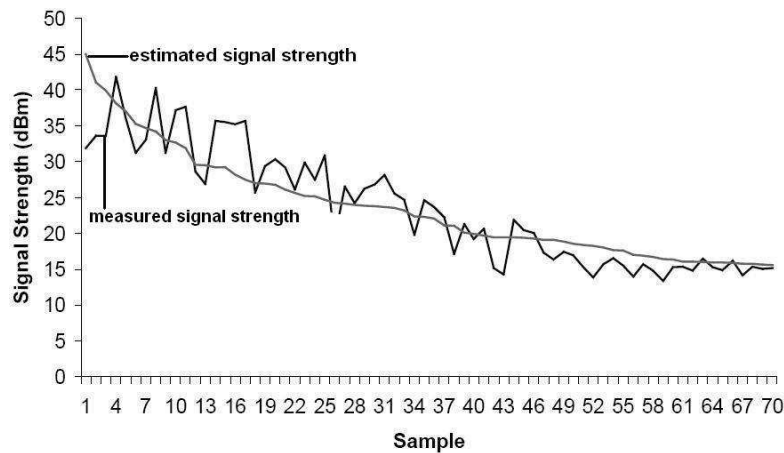


Abbildung 4. Vergleich der geschätzten Signalstärke mit der effektiven [1]

#### 4.5 Fazit

RADAR bietet eine gute Alternative zu anderen Ortungssystemen innerhalb eines Gebäudes, da grosse Kosten und die Ausstattung der Personen mit zusätzlichen Sendern wegfallen. Die Genauigkeiten von wenigen Metern geben einem einen guten Indiz dafür, wo man sich aufhält, man hat aber keine Garantie dafür, dass das korrekte Zimmer gefunden wird.

Der grösste Nachteil des Systems besteht darin, dass viele Messungen durchgeführt werden müssen, bevor es verwendet werden kann. Ausserdem sollten diese Messungen von Zeit zu Zeit wiederholt werden, damit die Genauigkeit nicht allzu stark abnimmt. Das Verfahren, das auf einem Modell der Ausbreitung der Funkstrahlen basiert, bietet einen Tradeoff, da zwar weniger Messungen durchgeführt werden müssen, die Genauigkeit darunter jedoch leidet.

Die Idee von Radar wurde von vielen anderen Systemen übernommen. Die Ziele waren jeweils eine höhere Genauigkeit zu erreichen und eine Minimierung



der benötigten Messungen während der Off-Line-Phase. CMU-TMI[6] gibt an trotz Verwendung von weniger als einem Achtel der Messpunkte vor Verwendung des Systems genauere Resultate als RADAR zu erhalten.

## 5 Place Lab

Place Lab[2] ist vor wenigen Jahren bei Intel Research entstanden. Es verfolgt im Gegensatz zu allen bisher erwähnten Systemen eine ganz eigene Philosophie und konzentriert sich dazu auf zwei Punkte.

Das erste Ziel ist, einen möglichst grossen Bereich des Alltags abzudecken. Der Vorwurf an bestehende Systeme besteht darin, dass sie oft genau da in der Praxis nicht funktionieren, wo sich die Leute meist aufhalten. Dies kann der Arbeitsweg, beim Einkaufen oder im Ausgang sein. Wie bereits erwähnt, erfüllt GPS dieses Ziel nicht, da es nur ausserhalb von Gebäuden einsetzbar ist und in Grossstädten auch teils dort scheitert. Auch RADAR erfüllt diesen Punkt nicht, weil es meist nur auf einer sehr kleinen Fläche (z.B. einem Stockwerk) verwendet wird.

Das zweite Ziel von Place Lab ist, den Aufwand sowohl für Benutzer wie auch für Entwickler von Applikationen, die Ortsbestimmung verwenden, zu minimieren. GPS erfüllt dies grösstenteils, der Benutzer benötigt jedoch zum Gebrauch Geräte, die über eine entsprechende Karte und Antenne verfügen. RADAR versagt auch hier komplett aufgrund der vielen Messungen, die benötigt werden, bevor das System effektiv verwendet werden kann.

Da Place Lab weiträumig eingesetzt werden will, kümmert es sich ausserdem um die Privatsphäre der Nutzer.

In den folgenden Abschnitten wird auf die Architektur und Implementation des Systems eingegangen. Anschliessend wird es anhand von Experimenten in einer Grossstadt analysiert.

### 5.1 Implementation und Architektur

Place Lab ist für viele Betriebssysteme und Architekturen erhältlich. Der Code ist grösstenteils in Java 2 Micro Edition (J2ME)[7] geschrieben. Applikationsentwicklern steht deshalb unter anderen Aufrufsmöglichkeiten eine Java Library zur Verfügung. Abbildung 5 zeigt den Aufbau der Architektur. Sie lässt sich in folgende drei Hauptkomponenten aufteilen:

- Radio-Beacons
- Beacon-Datenbanken
- Client

**Radio-Beacons:** Unter Radio-Beacon versteht man im Allgemeinen ein Gerät an einer bekannten Stelle, das ein regelmässiges und eindeutiges Signal sendet. Place Lab unterstützt folgende drei Typen von Beacons: WLAN-Access-Points, fixierte Bluetooth-Geräte und GSM-Sendetürme. Alle senden global oder

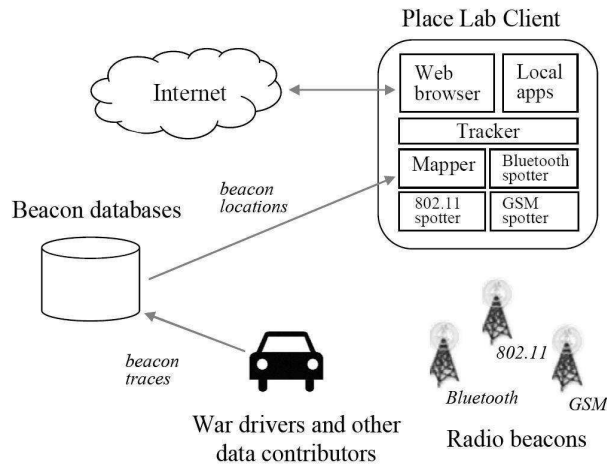


Abbildung 5. Architektur im Überblick [2]

zumindest lokal eindeutige IDs.

**Beacon-Datenbanken:** Aufgrund der ID eines Beacons kann nur dann von der Client-Software auf einen Aufenthaltsort geschlossen werden, wenn dessen Standort abgefragt werden kann. Dazu werden die Beacon-Datenbanken verwendet. Hier ist absichtlich der Plural gewählt, denn Place Lab hat nicht das Ziel, eine einzige separate Datenbank für das System anzulegen, sondern lässt den Applikationsentwicklern freie Wahl, welche Datenbank oder gar Datenbanken sie benutzen. Place Lab hat zwar auch eine eigene Datenbank angelegt, diese ist aber verhältnismässig sehr klein. Weitere Werte über Beacons werden von Firmen, Universitäten und Departementen zur Verfügung gestellt.

Den Grossteil der Daten liefern aber sogenannte *War-Driver*. Dabei fahren Leute mit einem Laptop, der GPS, WLAN und manchmal auch GSM oder Bluetooth unterstützt, durch die Gegend und suchen in regelmässigen Zeitabständen erreichbare Beacons. Dadurch ergibt sich eine Folge von Aufzeichnungen, die jeweils die Koordinaten der GPS-Messung und die Beacons mit der Signalstärke der Funkwellen enthalten. Durch dieses Verfahren haben sich riesige Datenbanken angesammelt.

Die grösste davon findet man unter *wigle.net*. Sie ist rein auf WLAN spezialisiert und enthält zur Zeit über 13.5 Millionen Einträge. Im Schnitt kommen alle 3 Monate eine Million neue Einträge hinzu. Dies ist einer grossen Community zu verdanken, die durch persönliche Statistiken auf der Homepage angespornt wird. Die beste Abdeckung wird in den USA erreicht, doch auch in Europa sind mit England, Holland und Deutschland einige Länder zumindest an gewissen Stellen stark vermessen worden. Bei uns in der Schweiz findet man jedoch nur wenige gespeicherte Beacons vor.

Das Verwenden dieser Datenbanken schränkt jedoch die Genauigkeit des Systems bereits ein. Da die Messungen mit GPS vorgenommen wurden, sind höhere Genauigkeiten als die von GPS unmöglich.

**Clients:** Dabei handelt es sich um die Software, die auf den mobilen Geräten läuft. Da Place Lab ein flexibles und erweiterbares System darstellen will, sind die Clients in drei logische Einheiten unterteilt:

- Spotters
- Mapper
- Tracker

Die *Spotters* hören jeweils die Funkwellen eines Protokolls ab und leiten dabei gehörte Beacon-IDs an andere Systemkomponenten weiter. Dadurch dass bei diesem Vorgehen die Clients lediglich die Signale in der Umgebung abhören und keine eigenen auszusenden brauchen, sollte die Privatsphäre geschützt sein. In der Praxis ist dies jedoch nicht der Fall, da viele WLAN-Treiber regelmässig ihre Existenz per Broadcast der Umgebung mitteilen und sich Handies per GSM bei der naheliegendsten Antenne anmelden.

Der *Mapper* ist dafür zuständig, zu Beacons zusätzliche Informationen zu liefern. Darin enthalten sind immer die Koordinaten. Das Alter der Daten, die Höhe einer Antenne oder die Signalstärke der Sendeanlage können beispielsweise zusätzlich enthalten sein. All diese Informationen stammen aus der Beacon-Datenbank. Aus Gründen der Effizienz und der Privatsphäre ist es jedoch von Vorteil, einen möglichst grossen Bereich der Umgebung vor den Ortsanfragen des Benutzers bereits bei der Datenbank abzufragen und dann jeweils die Daten aus dem Cache zu verwenden.

Der *Tracker* kombiniert die von den Spottern gemeldeten Beacons mit den dazu erhältlichen Information des Mappers, um eine Schätzung über den aktuellen Aufenthaltsort zu liefern. Dazu können ausserdem weitere Daten wie Strassenkarten oder Gebäudeinformationen verwendet werden. Mit welchem Verfahren der Aufenthaltsort bestimmt wird, legt Place Lab nicht fest. Ein einfaches Verfahren kann zu mehreren WLAN-Beacons den Mittelpunkt bestimmen, es gibt allerdings auch viel komplexere und rechenaufwendigere denkbaren Modelle.

## 5.2 Experimentelle Resultate

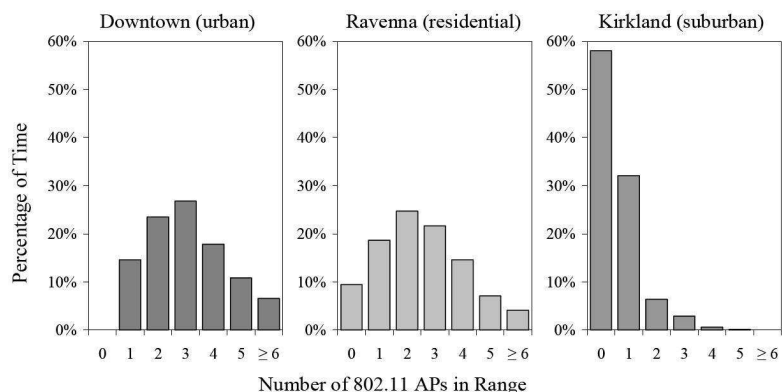
Da eines der grossen Ziele von Place Lab nicht eine hohe Abdeckung einer Fläche (z.B. eines Staates) sondern des Aufenthaltsortes eines Menschen im Alltag ist, ist es schwierig repräsentative Experimente durchzuführen. Dazu dass es kaum möglich ist, die Aufenthaltsorte eines Durchschnittsmenschen im Alltag festzulegen, kommt, dass die Anzahl verwendbarer Beacons sehr stark von der Umgebung und der davon vorhandenen Daten abhängig ist. Deshalb stehe ich den folgenden Resultaten sehr kritisch gegenüber. Bluetooth wurde ausserdem bei den Resultaten ignoriert, da kaum Signale von stationären Geräten erkannt wurden.

In einem ersten Experiment sollte rein die Abdeckung der Standorte innerhalb des Alltags gemessen werden. Dazu wurden drei Kollegen der Entwickler von Place Lab in Seattle mit dem System ausgestattet. In ein wenig mehr als 30 Stunden sowohl während ihres Alltages wie auch in der Freizeit wurden einmal pro Minute die Erreichbarkeiten von GSM, WLAN und GPS überprüft. Nur in

4.5% der Zeit war GPS abrufbar. WLAN mit 94.5% und GSM mit 99.6% erzielten viel bessere Werte. Wie bereits angedeutet, halte ich diese Werte nicht für sehr repräsentativ, insbesondere da lediglich drei Personen während wenigen Stunden vermessen wurden. Selbst das Wetter dürfte einen enormen Einfluss auf die Werte von GPS haben. Bei Regen während dieser Tagen ist anzunehmen, dass sich die drei Kollegen kaum in der freien Natur aufhalten, was zu massiv schlechteren Werten für GPS führt. Trotzdem zeichnen sich gewisse Tendenzen heraus. GSM ist beinahe immer erreichbar. Der Wert von WLAN ist mit beinahe 95% allerdings auch sehr hoch. Dies ist sehr wichtig, da wir im nächsten Abschnitt sehen werden, dass dadurch viel höhere Genauigkeiten erzielt werden als nur mit GSM.

Das zweite Experiment ging in eine ähnliche Richtung. Diesmal wurden jedoch systematisch drei Regionen in Seattle mit unterschiedlich hoher Bevölkerungszahl gewählt und mit dem Auto abgefahren. Hier wurde ausserdem zusätzlich zur Abdeckung die Genauigkeit der Messungen analysiert. Die Resultate wurden meiner Meinung nach ins Positive verzerrt, da die Informationen über die Beacons nicht aus einer verfügbaren Datenbank stammten, sondern kurz vor dem eigentlichen Experiment durch Abfahren der exakt gleichen Strecke erlernt wurden. Grosse Datenbanken wie wigle.net bieten zwar für gewisse Regionen ähnlich gute Abdeckungen der Beacons, die Werte sind aber jeweils veraltet und deshalb nicht mehr so genau.

Abbildung 6 zeigt die Anzahl WLAN-Access-Points, die jeweils in Reichweite waren. Die linken Werte stammen aus dem Stadtzentrum, die mittleren aus einem Wohnbezirk und die rechten aus einem vorstädtischen Bezirk. Im Stadtkern war jeweils mindestens ein Access-Point zu sehen. Je weiter man davon weggeht, desto kleiner wird allerdings die Anzahl der erkannten WLAN-Beacons. Wie sich bei der Berechnung der Genauigkeiten zeigte, ist dieser Wert sehr entscheidend. Bei drei oder mehr sichtbaren Access-Points ergab sich ein Durchschnittsfehler von 15 bis 20 Metern. Dies entspricht ungefähr der doppelten durchschnittlichen Ungenauigkeit von GPS. GSM alleine ergab eine Durchschnittsgenauigkeit von 100 bis 200 Metern.



**Abbildung 6.** Verteilung der gemessenen Access-Points [2]

Abbildung 7 fasst die Resultate zusammen. Insgesamt wurde eine Abdeckung von 100% erreicht. Der durchschnittliche Fehler hält sich dabei mit 21.8 m und 13.4 m in den stärker bewohnten Gebieten und mit 31.3 m im Vorstadtbezirk einigermaßen in Grenzen. Unverständlich ist für mich, dass beim Wohnbezirk eine wesentlich höhere Genauigkeit als im Stadtzentrum erzielt wurde, obwohl im Schnitt weniger Access-Points zur Verfügung standen. Leider fand ich dazu keine Erklärung.

	802.11		GSM		802.11 + GSM	
	accuracy	coverage	accuracy	coverage	accuracy	coverage
<b>Downtown Seattle (Urban)</b>	20.5 m	100.0%	107.2 m	100.0%	21.8 m	100.0%
<b>Ravenna (Residential)</b>	13.5 m	90.6%	161.4 m	100.0%	13.4 m	100.0%
<b>Kirkland (Suburban)</b>	22.6 m	42.0%	216.2 m	99.7%	31.3 m	100.0%

Abbildung 7. Genauigkeiten pro Protokoll und Umgebung [2]

### 5.3 Fazit

Place Lab ist das erste grosse System, das es durch Verwendung verschiedener Sensoren (insbesondere GSM und WLAN) ermöglicht, ohne grossen Aufwand ortsabhängige Applikationen zu entwickeln und zu nutzen. Die Genauigkeit ermöglicht zwar im Allgemeinen nicht, den konkreten Raum zu bestimmen, aber ein oftmals erreichter Fehler von unter 30 Metern reicht für viele Applikationen aus. Die Anzahl der Orte an denen es angewendet werden kann, steigt durch immer mehr WLAN-Access-Points und Erfassung davon täglich.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Trotz etabliertem GPS ist Ortsbestimmung ein sehr breites Gebiet, bei dem viele unterschiedliche Faktoren von Bedeutung sind. Deshalb sind im Laufe der Jahre verschiedenste Systeme entstanden, die auch nebeneinander eine Daseinsberechtigung haben.

RADAR stellt ein System dar, das es ermöglicht ohne zusätzliche Infrastruktur Lokalisierung innerhalb eines Gebäudes anzubieten. Dafür sind allerdings aufwendige Messungen vor Inbetriebnahme notwendig.

Place Lab stellt weniger ein konkretes System als vielmehr ein Framework dar, das es ermöglicht, Lokalisierung da anzubieten, wo sie täglich gebraucht wird. Dies stellt sowohl für die Entwickler wie auch für die Benutzer von ortsabhängigen Applikationen einen leichten Einstieg dar.

Nun da verschiedenste Systeme existieren, die Schätzungen über den Aufenthaltsort liefern, ist es ausserdem an der Zeit, eine Ebene höher zu gehen und mit den Schätzungen mehr zu machen als sie einfach nur direkt auszugeben. Ein Problem liegt beispielsweise darin, dass meist nur der Ort angegeben wird, der Benutzer dann aber keine Ahnung hat, wie genau diese Schätzung ist. In [8] wird dazu ein Verfahren gezeigt, das Messungen in Cluster unterschiedlicher Grösse einteilt. Ein Cluster stellt dabei die Umgebung dar, in welcher man sich mit grosser Wahrscheinlichkeit befindet. Diese Cluster werden ermittelt, indem die Sequenz von ausgegebenen Standorten bei Personen analysiert werden, die sich fortbewegen. Dabei wird überprüft, ob diese Reihenfolge von Koordinaten einem Pfad in der Umgebung entspricht. Durch Ausgabe des Clusters erhält man daher nicht nur eine Schätzung für den Aufenthaltsort, sondern gleich eine Angabe über die Unsicherheit davon.

Ich denke, dass in Zukunft weiterhin viele Systeme mit unterschiedlichen Ansätzen aufkommen werden. Ich hoffe, dass die meisten davon auf Spezialgebiete ausgerichtet sind und sich ein einziges System weltweit für die wohl zurzeit grösste Lücke durchsetzt: Lokalisierung an den Stellen, an denen man sich im Alltag aufhält. Place Lab hat meiner Meinung nach das Potential, dieses System zu werden. Damit dies aber weltweit möglich wird, sind viele Beacons wie WLAN-Access-Points und insbesondere auch gespeicherte Informationen darüber nötig. Zur Zeit fehlen diese Informationen jedoch noch in vielen Ländern, auch bei uns in der Schweiz.

## Literatur

1. Bahl, P., Padmanabhan, V.: Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. In: Proceedings of IEEE INFOCOM, Tel-Aviv, Israel (2000) 775–784
2. LaMarca, A.e.a.: Place lab: Device positioning using radio beacons in the wild. In: Pervasive 2005, LNCS 3468. (2005) 116–133
3. <http://www.ascension-tech.com/products/motionstarwireless.php>
4. Want, R.e.a.: The active badge location system. In: ACM Trans. Information Systems. (1992) 91–102
5. Seidel, S., Rapport, T.: 914 mhz path loss prediction model for indoor wireless communications in multi-floored buildings. In: IEEE Trans. on Antennas and Propagation. (1992)
6. Smailagic, A., Kogan, D.: Location sensing and privacy in a context-aware computing environment. In: IEEE Wireless Communications. (2002)
7. J2ME. Wikipedia, die freie Enzyklopaedie, zugegriffen am 14.4.08 auf <http://de.wikipedia.org/wiki/J2ME>
8. Anderson, I.: Towards qualitative positioning for pervasive environments. In: Eurocon 2005. (2005)