

**Literaturübersicht und Forschungsrichtungen in
dem Bereich:**

**„Lokalisierung von Mobilgeräten in IEEE 802.11
Drahtlosen Netzen“**

– Praktikumsbericht –

im Rahmen vom 100-Jahre-Rotary Jubiläumsprogramm:
„Studienstipendien für mittel- und osteuropäische Studierende
in Deutschland“

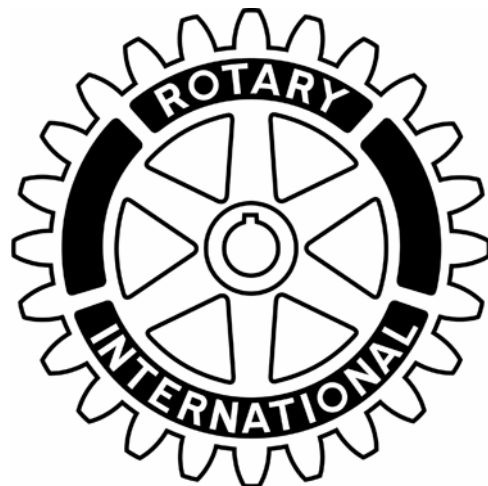
Svilen Ivanov

Otto-von-Guericke Universität – Magdeburg



Betreuung Otto-von-Guericke
Universität – Magdeburg

Prof. Dr. Edgar Nett



Betreuung ROTARY

Prof. Dr. Georg Paul

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Kontext dieser Praktikumsarbeit	5
1.2	Motivation, Ziel, und Aufgabe für die Arbeit	5
1.3	Gliederung	5
2	Beschreibung von Lokalisierungsverfahren	6
2.1	Klassifikation der Lokalisierungsverfahren.....	6
2.2	Beschreibung ausgewählte Lokalisierungssysteme.....	7
2.2.1	RADAR	7
2.2.2	Horus	9
2.2.3	Ekahau	14
2.2.4	Distanzmessung mit Laufzeit und konventionellen Geräten	15
2.2.5	Lokalisierung über Nachbarknoten-Information	16
2.3	Zusammenfassung und Bewertung	16
3	Ausrichtung für zukünftige Forschungsarbeiten.....	18
4	Fazit	19
5	Referenzen	20

1 Einleitung

1.1 Kontext dieser Praktikumsarbeit

Diese Praktikumsarbeit wird im Rahmen des 100-Jahre-Rotary-Jubiläumsprogramms „Studienstipendien für mittel- und osteuropäische Studierende in Deutschland“ durchgeführt. Die Arbeit ist Teil des Promotionsstudiums von Herr Svilen Ivanov an dem Institut für Verteilte Systeme, Otto-von-Guericke Universität – Magdeburg.

1.2 Motivation, Ziel, und Aufgabe für die Arbeit

Drahtlose Netze (der WLAN IEEE 802.11 Standard) für Datenübertragung werden in die Zukunft immer öfter angewendet[19]. Mit der Einführung von mobilen Geräten wie Notebooks und Smartphones, werden drahtlose Netze sowohl im Privatleben als auch in Unternehmen immer weiter verbreitet. Diese Verbreitung ermöglicht neue Anwendungen und somit einen höheren Nutzen von den drahtlosen Netzen.

Ein großer Teil dieser möglichen neuen Anwendungen basiert auf Informationen über die Position von mobilen Geräten in drahtlosen Netzen. Das sind z.B. Navigationssysteme in Museen und Bibliotheken, schnelles Finden von Parkplätze in einem Parkhaus[9], oder Verwaltung der Position von medizinischem Personal und Geräten für die optimale Funktionalität eines Krankenhauses[7]. Alle diese Anwendungen sind bei der Verwendung der existierenden Technologie GPS (Global Positioning System) schwer zu realisieren, da GPS eine nicht hinreichende Genauigkeit innerhalb von Gebäuden bietet. Andererseits existieren schon in vielen Gebäuden WLAN Infrastrukturen und es existieren auch viele Versuche in die Literatur und Technik ([1][2][3][4][5][7][8][9][17]) diese Netze als Basis für Ortung zu benutzen. Allerdings gibt es noch ungelöste Probleme auf diesem Gebiet, wie z.B. hohen Arbeitsaufwand für die Verwaltung eines WLAN Lokalisierungssystems, praktische Unrealisierbarkeit, oder fehlende Interoperabilität in heterogenen Systemen.

Die mögliche hohe Nutzbarkeit von WLAN-Lokalisierungssystemen und die damit verbundenen Probleme motivieren die Praktikumsarbeit im Rahmen dieses Promotionsstudiums. Ziel dieser Praktikumsarbeit ist das Erkennen von dem Stand der Technik in dem Bereich von WLAN Lokalisierung und die Identifizierung von möglichen Forschungswegen für das Promotionsstudium.

Die Aufgabestellung ist die existierenden Methoden für Lokalisierung in WLAN zu klassifizieren, deren Funktionalität, Stärken und Schwächen zu beschreiben, und Ideen für zukünftige Arbeit in dem Gebiet zu beschreiben.

1.3 Gliederung

Der Praktikumsbericht hat die folgende Struktur: In Abschnitt 2 wird den Stand der Technik im Gebiet von Lokalisierung in drahtlosen Netzen präsentiert. Die Vor- und Nachteile von einzelnen Methoden werden ebenfalls betrachtet. Auf Basis dieser Vorstellung werden in Abschnitt 3 mögliche Forschungsrichtungen für zukünftige Arbeiten identifiziert. Abschnitt 4 beendet den Bericht mit Zusammenfassung und Danksagung.

2 Beschreibung von Lokalisierungsverfahren

Hier wird zuerst eine Klassifikation der bekannten Methoden dargestellt. Dann werden die Gruppen dieser Klassifikation mit Vorstellung von Algorithmen in Detail präsentiert. Am Ende folgt eine Zusammenfassung und Bewertung von den vorgestellten Verfahren.

2.1 Klassifikation der Lokalisierungsverfahren

Um einen allgemeinen Überblick zu verschaffen stellt dieser Abschnitt eine Klassifikation der bekannten Lokalisierungsverfahren in drahtlosen Netzen dar. Abbildung 1 zeigt diese Klassifikation. Zuerst sind die Verfahren nach dem für die Lokalisierung benutzten physikalischen Phänomen eingeteilt.

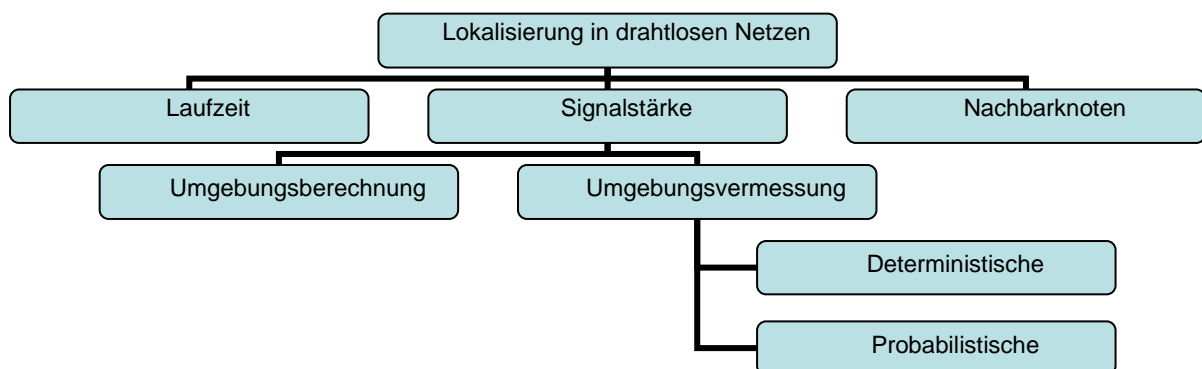


Abbildung 1: Klassifikation von Lokalisierungsverfahren

Eine Gruppe von Methoden ([8]) berechnet die relative Position eines mobilen Gerätes via Messungen der Laufzeitverzögerung eines Radiosignals. Aus der Laufzeit und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Radiosignals berechnet man die Distanz zu einem festen Objekt (meistens einem Access Point). Aus vier Distanzen zu feststehenden Objekten berechnet man die relative Position eines fünften Objektes in 3D-Raum mittels Trilateration. Diese Verfahren versprechen eine gute Schätzung weil die Abhängigkeit der Distanz von Laufzeit und Geschwindigkeit bekannt ist. Aber die meisten Schwierigkeiten hier kommen aus der unpräzisen Messung der Laufzeit. Meistens sind Änderungen der existierenden Hardware, oder Installation von neuer Hardware erforderlich. Abschnitt 2.2.4 beschreibt ein Verfahren aus dieser Gruppe.

Eine andere Gruppe von Verfahren ([2][3][17][18]) benutzt die Abschwächung von Radiosignalen zwischen dem Sender und dem Empfänger um Distanz zu schätzen. Die existierende WLAN IEEE 802.11 Hardware misst die Radiosignalstärke als Teil ihrer normalen Operation. Deswegen lassen sich solche Methoden mit herkömmlicher und existierender Hardware realisieren. Allerdings ist die Abhängigkeit der Distanz von der Signalabschwächung schwierig vorhersagbar und umgebungsspezifisch. Nicht nur die Distanz, sondern auch z.B. die Wände und die Türen eines Gebäudes, Möbel und die Körper der Menschen beeinflussen die Signalabschwächung zwischen dem Sender und dem Empfänger. Deswegen ist es hier notwendig Umgebungsinformation zu nutzen um die Distanz oder Position aus der Signalstärke zu schätzen.

Diese Verfahren sind nach der Art der benutzten Umgebungsinformation in zwei Gruppen geteilt: Umgebungsberechnung und Umgebungsvermessung. Die Umgebungsberechnung benutzt mathematische Methoden, die auf Basis von

Umgebungsinformation (Position der Access Points, deren Sendeleistung, Wände, usw.) die Signalstärke zu jedem Ort in der Umgebung berechnen. Die Methoden mit Umgebungsvermessung benutzen das Prinzip von maschinellem Lernen. Diese sind in zwei Phasen geteilt. In der ersten Phase werden die Signalstärken mehrerer Access Points in der Umgebung vermessen, und zu bestimmten Orte assoziiert. Aus diesen Kenntnissen und aktuellen Signalstärken wird in der zweiten Phase die Position abgeleitet. Es sind auch Kombinationen von Umgebungsvermessung und Umgebungsberechnung bekannt, wie z.B. [3].

Die Vermessungsmethoden sind nach der Art der Bearbeitung der Daten wieder in zwei Klassen unterteilt: deterministische und probabilistische Verfahren. Die deterministischen Verfahren bearbeiten die Signalstärken als Skalar-Werte, während die probabilistischen Methoden die Information mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen verwalten. Die probabilistischen Verfahren sind in der Regel präziser als die deterministischen, weil sie die umgebungsspezifischen Variationen der Radiosignalstärke genauer abbilden [15]. Abschnitt 2.2.1 beschreibt ein typisches deterministisches Lokalisierungssystem (RADAR [2]). Die Gruppe von probabilistischen Verfahren ist weiter verbreitet und deswegen werden sie hier auch näher betrachtet. Abschnitt 2.2.2 beschreibt das Horus Lokalisierungssystem [17] – ein Beispiel von dem aktuellen Stand der Forschung in diesem Bereich. Abschnitt 2.2.3 stellt das Ekahau Positionierungssystem [7] dar. Das ist ein kommerzielles Produkt, das der probabilistische Gruppe zugeordnet ist.

Methoden in einer anderen Gruppe verwenden Information für die Nachbarknoten eines Knotens um sein Position zu schätzen. Ein einfaches und triviales Beispiel ist die Assoziation eines Knotens zu einem Access Point. Diese Methoden haben eine relativ geringe Genauigkeit, sind aber auch weniger rechenaufwendig. Diese Verfahren sind für Sensornetze geeignet. Die WCL und CGLCD Verfahren sind Beispiele von solchen Methoden[4][5]. Diese werden in Abschnitt 2.2.5 näher betrachtet.

2.2 Beschreibung ausgewählte Lokalisierungssysteme

2.2.1 RADAR

RADAR ist eine Arbeit von Microsoft Research, die im Jahr 2000 publiziert wurde[1]. Das ist eines der ersten Versuche für Lokalisierung in IEEE 802.11 drahtlosen Netzen, die aus der Literatur bekannt sind. Bezüglich der in Abschnitt 2.1 gegebenen Klassifikation ist RADAR ein System mit Signalstärkemessung. Es kann entweder bei den Verfahren mit Umgebungsberechnung, oder bei diesen mit deterministischer Umgebungsvermessung eingeordnet werden. Das heißt, es gibt zwei Varianten für die Lernphase. Diese kann entweder mit Berechnung, oder mit Vermessung von den Signalstärken ablaufen.

Während der ersten Phase (auch offline oder Lernphase genannt) werden die Signalabschwächungen vom mobilen Gerät zu Access Point bestimmt. Das Ziel ist die Stärken der von den Access Points empfangenen Signale zu bestimmen, wenn ein mobiles Gerät Broadcast-Pakete verschickt. Hier werden die beiden Möglichkeiten dazu kurz erläutert.

Lernphase mit Umgebungsberechnung

Für die Berechnung von Signalstärken benutzen die Autoren das „Floor attenuation factor“ Verbreitungsmodell [10]. Dieses Modell erlaubt die Signalabschwächung zwischen dem Sender und Empfänger zu berechnen, wobei es die Wände und Flure eines Gebäudes berücksichtigt. Das Modell basiert auf Gleichung (1).

$$(1) \quad P(d) = P(d_0) - 10 * N * \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - \begin{cases} W * WAF & W < C \\ C * WAF & W \geq C \end{cases}$$

$P(d)$ ist die berechnete Radiosignalstärke bei dem Empfänger auf Distanz d von dem Sender. $P(d_0)$ ist die Signalstärke auf einer Referenzdistanz d_0 . N ist die Rate der Verringerung der Signalstärke $P(d)$, wenn die Distanz d steigt. W ist die Anzahl der Wände zwischen dem Sender und dem Empfänger, und WAF (Wall Attenuation Factor) ist der Grad der Abschwächung des Signals von einer Wand. C ist der Grenzwert ab welchem die Anzahl der Wände einen relativ geringen Effekt auf die Signalabschwächung hat. Nach dem Model ist ab diesem Wert die Signalausbreitung im freien Raum entscheidender für die Signalstärke als die Anzahl der Wände.

Die Parameter $P(d_0)$, N , WAF und C sind in dieser Arbeit empirisch bestimmt wurden. $WAF_{0,1}$ ist z. B. die Differenz zwischen der empfangene Signalstärke mit keiner und einer Wand zwischen dem Sender und dem Empfänger. Der in Radar benutzten WAF ist der Durchschnitt von $WAF_{i-1,i}$ für Wände von 1 bis C .

$$(2) \quad WAF = \frac{1}{C} * \sum_{i=1}^C WAF_{i-1,i}$$

In die Arbeit werden die Werte von $WAF = 3.1dBm$ und $C = 4$ benutzt. Die Anzahl der Wände W zwischen Sender und Empfänger wird anhand einer Karte des Gebäudes berechnet. Weitere Details für die Lernphase mit Umgebungsberechnung sind im [2] (Abschnitt 4.2) zu finden.

Lernphase mit Umgebungsvermessung

Bei dieser Variante der Lernphase werden die Referenzdaten via Messungen in der Umgebung gesammelt. Es sind 70 verschiedene Orte an einer Etage eines Gebäudes für die Kalibrierung gewählt. Auf jedem Ort verschickt ein mobiler Rechner etwa 80 Broadcast-Pakete, jeweils 20 in jede Ausrichtung (West, Nord, Ost, Süd). Die Autoren weisen darauf hin, dass die Position des Operators im Bezug zu dem Client und den Access Points Unterschiede bis zu 5dBm (etwa 5-10% von der gesamten Skala) in der vermessenen Signalstärke verursachen kann. Deswegen ist es notwendig bei einer Kalibrierung Referenzdaten von jedem Ort mit verschiedenen Ausrichtungen zu bekommen.

Das Ergebnis von der Lernphase ist eine Menge von gemessener Signalstärke für jedes von den 70 Orten der Umgebung. Daraus werden die Mittelwerte abgeleitet und hauptsächlich mit diesem Datenset gearbeitet:

$$(3) \quad \begin{array}{cccccc} L_1 & SS_{11} & SS_{12} & \dots & SS_{1n} \\ L_2 & SS_{21} & SS_{22} & \dots & SS_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_m & SS_{m1} & SS_{m2} & \dots & SS_{mn} \end{array}$$

L_i ist ein Ort in der Umgebung, und SS_{ij} ist die Signalstärke, die ein Access Point j von Ort L_i empfängt.

Online-Phase

Die zweite Phase des Algorithmus ist die Online-Phase. Während dieser Phase sendet der mobile Rechner wieder Broadcast-Pakete, diesmal bestimmt aber RADAR seine Position anhand der in der ersten Phase gewonnenen Daten. Diese

Daten verwaltet er als ein Signalraum. Der Signalstärkeraum hat so viele Dimensionen wie die Anzahl von Access Points in der Umgebung (siehe Abbildung 2).

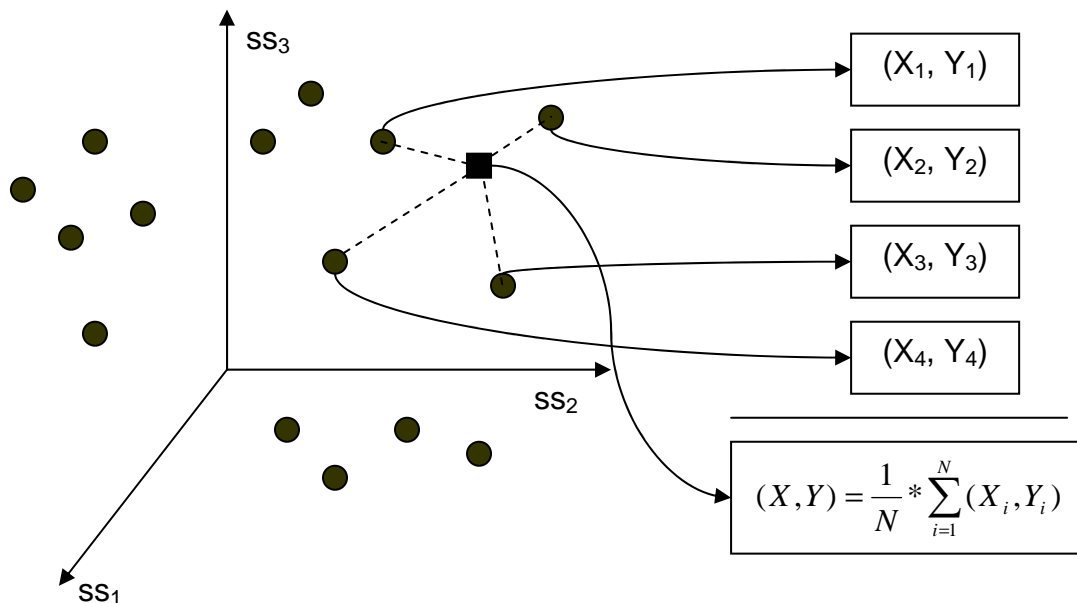


Abbildung 2: Position Bestimmung in Signalstärkeraum

Jeden Punkt im Signalstärkeraum ist ein Referenzpunkt aus der ersten Phase. Seine Koordinaten im Signalraum repräsentieren die durchschnittliche empfangene Signalstärke von jedem Access Point von diesem Referenzpunkt. Jeder Referenzpunkt hat auch geographische Koordinaten im physikalischen Raum zugeordnet (die X_i und Y_i Koordinaten). Wenn die Access Points in der Umgebung drei oder mehr sind, gilt die Annahme dass nahe liegende Punkte im Signalraum liegen auch nah im physikalischen 2D Raum. Die Koordinaten der mobilen Rechner sind als Durchschnitt von den Koordinaten der k am nächsten liegenden Nachbarn in Signalstärkeraum berechnet (in dem Beispiel von Abbildung 2 $k=4$).

Die Berücksichtigung von mehreren Nachbarn kann die Genauigkeit sowohl positiv, als auch negativ beeinflussen. Einerseits sind die Referenzpunkte eine diskrete Umgebung, weshalb die Berücksichtigung von mehr als einem Referenzpunkt den Diskretisierungsfehler vermindert. Wenn andererseits die Anzahl der Nachbarn zu hoch ist, kommen auch Referenzpunkte in betracht, die geographisch zu weit entfernt sind. Die Autoren haben eine optimale Genauigkeit bei drei bis vier Nachbarn erreicht.

Ergebnisse

Das RADAR System lokalisiert mobilen Geräten mit einer durchschnittlichen Präzision von 2.9 Meter in der Variante mit Umgebungsvermessung. Die durchschnittliche Genauigkeit ist 4.3 Meter wenn die Referenzdaten mittels Umgebungsrechnung gesammelt sind [2]. Der Kompromiss (tradeoff) an dieser Stelle ist klar. Der ist zwischen höhere Präzision bei der Umgebungsvermessung und weniger Aufwand für die Kalibrierung bei der Umgebungsrechnung.

2.2.2 Horus

Das Horus WLAN Lokalisierungssystem [17] ist eine wissenschaftliche Arbeit von der Universität in Maryland. Horus benutzt Signalstärkemessung, Lernphase mit Umgebungsvermessung und probabilistische Verwaltung von Daten. Mit einer Reihe

von vielfältigen Veröffentlichungen ([13][14][15][16][17][18]), die verschiedene Aspekte des Systems präsentieren, ist Horus ein gutes Beispiel für aktuelle probabilistische Lokalisierungssysteme. In diesem Abschnitt werden die von den Autoren beobachtenden Eigenschaften der Radiosignalstärke erläutert. Dann werden die Hauptmodule des Horus Systems und die Ergebnisse präsentiert.

Eigenschaften von RSSI

Das Horus System benutzt RSSI (Received Signal Strength Indication) für die Lokalisierung. Das ist in diesem Fall die von mobilen Rechnern empfangene Signalstärke des Radiosignals, das einen Access Point sendet.

Verteilung des empfangenen RSSI

Der empfangenen RSSI hat eine zeitliche Varianz und ändert sich auch wenn beide Teilnehmer ihre Positionen festhalten. Die Autoren haben eine ähnliche Verteilung beobachtet wie die in Abbildung 3 dargestellte.

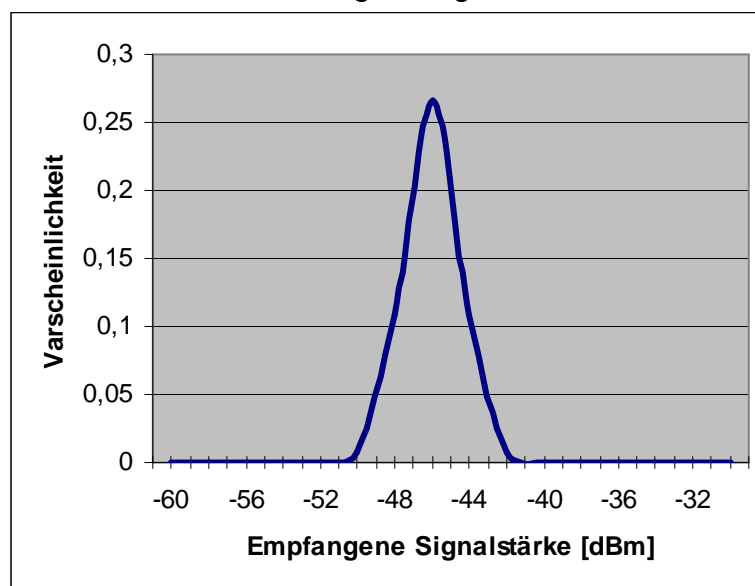


Abbildung 3: Verteilung empfangenen RSSI

Diese Verteilung zeigt dass die von einem mobilen Gerät empfangenen RSSI-Werte können auch bei einer feste Position bis zu 10dBm variieren. 10dBm ist eine relativ große Varianz, da die typischen Werten zwischen -25dBm und -80dBm liegen. Da die beobachtete Varianz ungefähr 15 bis 20 Prozent von dieser Skala ausmacht ist sie eine Ursache für geringe Genauigkeit bei der Lokalisierung.

Diese Erkenntnis hat zwei Folgen. Erstens wird das Horus System die Varianz in dem Model der Umgebung repräsentieren. So wird es möglich diese Varianz bei der Berechnung der Position zu berücksichtigen. Und zweitens sind während der Online-Phase mehrere Messungen des RSSI notwendig um das Vertrauen auf die gemessenen Daten zu erhöhen. Zum Beispiel eine Messung von -50dBm im Bezug auf Abbildung 3, wird bedeuten dass diese Position wenig möglich ist. Wenn aber die nächste 3 bis 4 Messungen in dem Intervall [-44...-48dBm] liegen, ist diese Position möglicher.

Variationen bei große Distanz Änderung

Diese Eigenschaften zeigen die Abhängigkeit der empfangenen Signalstärke von Änderungen der Distanz in einer Größenordnung von 1-2 Meter. Die Autoren haben die am Abbildung 4 angezeigte Abhängigkeit beobachtet. Die Abbildung zeigt die Abhängigkeit der durchschnittlichen Signalstärke von der Distanz. Es gibt Bereiche wo verschiedene Werte für RSSI, verschiedenen Werten der Distanz zugeordnet

sind (z.B. bei 3-6 und 9-12 Meter). Hier kann man die Distanz anhand von RSSI-Werten besser schätzen. In anderen Bereichen aber sind relativ gleiche Werte für RSSI verschiedenen Werten für die Distanz zugeordnet (z.B. bei 6-9 und 12-15 Meter). Hier kann man von einem durchschnittlichen Wert für RSSI schwieriger zwischen den beiden Distanzen unterscheiden. Deswegen sind Angaben von mehreren Access Points nötig um diese umgebungsspezifische Abhängigkeit zu kompensieren.

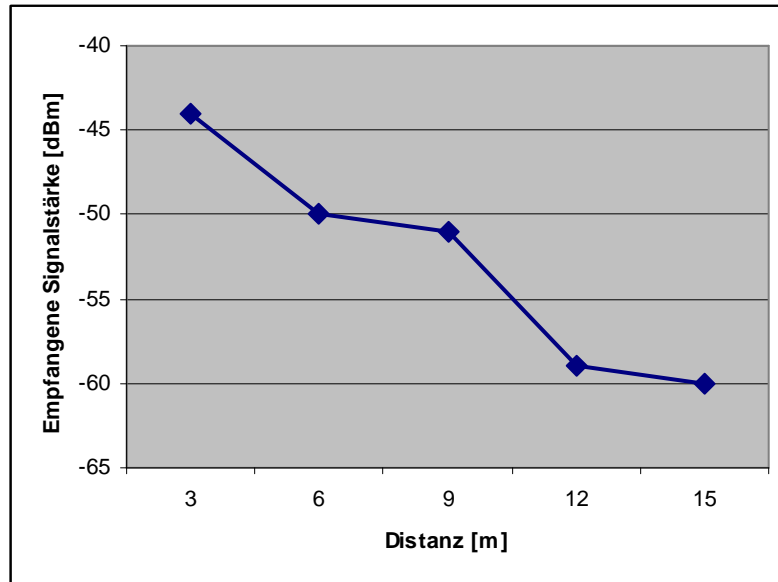


Abbildung 4: Weiträumige RSSI Variation¹

Variationen bei kleiner Distanzänderung (λ)

Die Variationen bei großen Distanzänderungen sind positiv für die Lokalisierung. Es gibt aber auch Änderungen von RSSI bei kleiner Distanzänderungen (im Bereich der Wellenlänge). Für WLAN im 2.4GHz Frequenzbereich ist die Wellenlänge (wavelength) 12,5cm. Die Autoren haben die RSSI für Distanzänderungen in einem Rechteck mit 30x50cm gemessen. Dabei haben sie festgestellt, dass bei kleiner Distanzänderung von 7,6cm der durchschnittlichen RSSI bis zu 10dBm variieren kann (siehe Abbildung 5).

¹ Quelle: „The Horus WLAN Location Determination System“ [17].

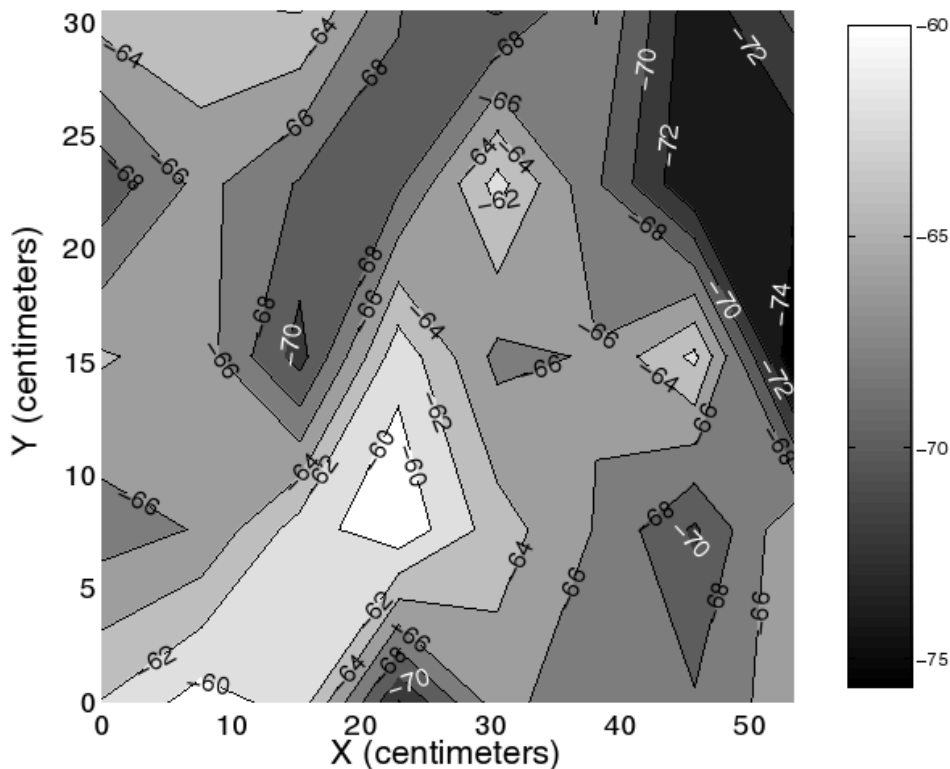


Abbildung 5: Kleinräumige RSSI Variation²

Die Variation von RSSI bei Änderungen in Größenordnung von 12,5cm ist eine Herausforderung für die Lokalisierung. Die Autoren haben eine Technik für Identifikation und Kompensierung von kleinen Änderungen entwickelt, die im Folgenden auch kurz beschrieben wird.

Methoden des Horus Systems

Lernphase

Während der Lernphase werden RSSI Daten in der Umgebung gesammelt. Auf jedem Ort $l \in L$ werden 300 Signalstärkemessungen von jedem Access Point gemacht mit Abstand von eine Sekunde. Daraus werden die normalen Verteilungen für jeden Ort und alle k Access Points berechnet. Die Radio-Karte wird in Abbildung 6 graphisch dargestellt. Jeder Punkt auf der Karte ist ein Ort, wo Lerndaten gesammelt werden. Diese Verteilungen werden später in der Onlinephase verwendet um zu entscheiden wie wahrscheinlich ein RSSI-Wert für einen Ort und einen AP ist. Während dieser Phase wird jedem Ort im diskreten Raum ein Clusterschlüssel zugeordnet. Dieser Schlüssel ist das Set mit den q stärksten Access Points und wird für die Gruppierung der diskreten Positionen benutzt.

Schätzung im diskreten Raum

Dieses Modul funktioniert in der Onlinephase. Seine Aufgabe ist eine Menge von Lern-Orten zu finden, die am nächsten im Sinne von RSSI sind mit der aktuellen Signalprobe. Während der online Phase werden n RSSI-Werte von jedem AP mit Abstand von eine Sekunde gesammelt. Daraus wird den durchschnittlichen RSSI für jedes AP berechnet:

² Quelle: „The Horus WLAN Location Determination System“ [17].

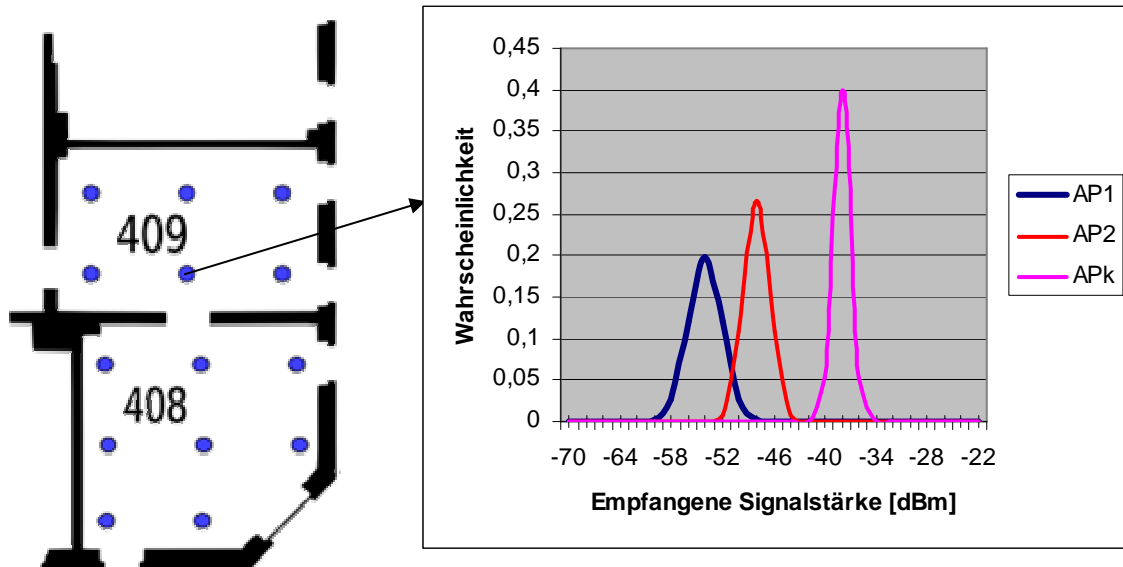


Abbildung 6: Karte der Umgebung

$$(4) \quad \bar{S} = ss_1 \quad ss_2 \quad \dots \quad ss_k$$

Das Ziel dieses Moduls ist die Position l zu finden, die die höchste Wahrscheinlichkeit hat bei der Existenz von \bar{S} ($\arg \max_l [P(l/\bar{S})] = ?$). Mit der Hilfe von Baye's Theorem wird die Anforderung so umgewandelt:

$$(5) \quad \arg \max_l [P(l/\bar{S})] = \arg \max_l \left[\frac{P(\bar{S}/l) * P(l)}{P(\bar{S})} \right]$$

$P(l)$ ist die Wahrscheinlichkeit von der Position l und kann von einem Benutzer-Profil abgeleitet werden. Die Autoren berücksichtigen aber ein solches Profil nicht und nehmen an, dass alle Orte eine gleiche Wahrscheinlichkeit haben. Die Wahrscheinlichkeit $P(\bar{S})$ ist eine von l unabhängiger Konstante und wird nicht weiter betrachtet. Deswegen bleibt von Gleichung (5) nur:

$$(6) \quad \arg \max_l [P(l/\bar{S})] = \arg \max_l [P(\bar{S}/l)]$$

$P(\bar{S}/l)$ ist die gesamte Wahrscheinlichkeit dass die RSSI-Werte von allen Access Points gleich \bar{S} sind ($AP_1 = ss_1 \dots AP_k = ss_k$). Die Autoren nehmen hier an, dass die RSSI-Werte den Access Points unabhängig voneinander sind. Mit dieser Annahme lässt sich $P(\bar{S}/l)$ als Multiplikation der einzelnen Wahrscheinlichkeiten berechnen:

$$(7) \quad P(\bar{S}/l) = \prod_{i \in L} P(AP_i = ss_i / l)$$

$P(AP_i = ss_i / l)$ wird von den Wahrscheinlichkeitsverteilungen jedes Ortes in der Umgebung genommen (siehe Abbildung 6). Auf diese Art und Weise wird die Menge von diskreten Positionen gefunden, die am wahrscheinlichsten ist. Zusätzlich zu der Schätzung im diskreten Raum wird auch inkrementelles Clustering der diskreten Positionen gemacht um den Suche-Raum zu verkleinern. Die Clustering-Methoden werden ausführlicher in [17][18] betrachtet.

Behandlung von kleinräumigen RSSI Variationen

Bei Änderungen der Position in einer Größenordnung von λ (12,5cm) können die RSSI-Werte bis zu 20% abweichen. Diese Variationen sind in der Umgebungskarte nicht abgebildet um ihre Größe kompakt zu halten. Die kleinräumigen RSSI-Variationen werden mittels einer Heuristik entdeckt und mittels Störung von RSSI-Werte (perturbation) kompensiert. Die Entdeckungsheuristik basiert sich auf der Annahme, dass die Benutzer eine maximale Geschwindigkeit V_{\max} haben. Die aktuelle Geschwindigkeit V wird aus der Zeit- und Ortsdifferenz von zwei aufeinander folgenden Ort-Bestimmungen geschätzt. Wird $V > V_{\max}$, das bedeutet, dass den aktuellen RSSI-Werte von kleinräumigen Variationen beeinflusst sind. In diesem Fall werden einige RSSI-Werte mit $\pm(2-20\%)$ verändert um die Heuristik $V \leq V_{\max}$ zu erfüllen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Schätzung der Genauigkeit von Horus und andere Lokalisierungssysteme sind in Abbildung 7 angezeigt.

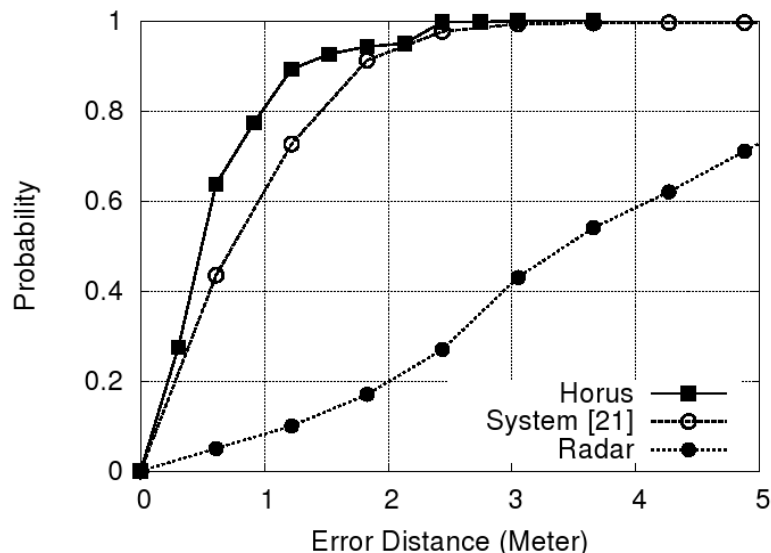


Abbildung 7: Genauigkeit von Horus und andere Lokalisierungssysteme³

Dieses Experiment zeigt z.B., dass das Horus System eine Schätzung der Position im Rahmen von 2 Meter in etwa 97% der Versuche erreicht. RADAR auf der anderen Seite erreicht diese Genauigkeit nur in 20% der Versuche. Das bedeutet, dass die umfangreiche Datenanalyse bei Horus die Genauigkeit des Algorithmus erhöht.

2.2.3 Ekahau

Die Ekahau Positioning Engine ist ein kommerzielles Produkt für die Positionsbestimmung in drahtlosen Netzen[10]. Sie ist eine reine Software-Lösung und funktioniert in einer WLAN-Infrastruktur ohne in dieser Änderungen vorzunehmen. Mann braucht auch keine Informationen über die Positionen der Access Points und deren Konfigurationsparameter. Die Ekahau-Engine basiert auf der empfangenen Radio-Signalstärke und funktioniert wie ein probabilistisches Verfahren. Abbildung 8 stellt die Struktur von der Ekahau Lokalisierungslösung dar. Es sind grundsätzlich drei Komponenten dort zu finden. Der Klient ist ein Programm,

³ Quelle: „The Horus WLAN Location Determination System“ [17].

das die empfangene Signalstärke auf den mobilen Geräten (Laptops, PDA) misst und an die Positionierungsserver weiterleitet. Der Monitor kann über eine Benutzeroberfläche die Karten verwalten und die Kalibrierungsphase durchführen. Der Server bekommt ständig die RSSI Informationen von dem Klient, berechnet seine Position und leitet diese weiter zu dem Monitor für die Visualisierung auf der Karte. Die Kommunikation zwischen den Komponenten ist mittels TCP/IP organisiert und die Komponenten können auf verschiedenen Rechnern laufen. Es gibt einen Positionierungsserver, ein oder mehrere Klienten, und ein oder mehrere Monitore. Wenn alle drei auf einem Rechner laufen kann man das System leicht testen und ausprobieren. Wenn den Klient und der Monitor auf verschiedene Rechner laufen kann man das System für verschiedenen Hardware kalibrieren und optimieren.

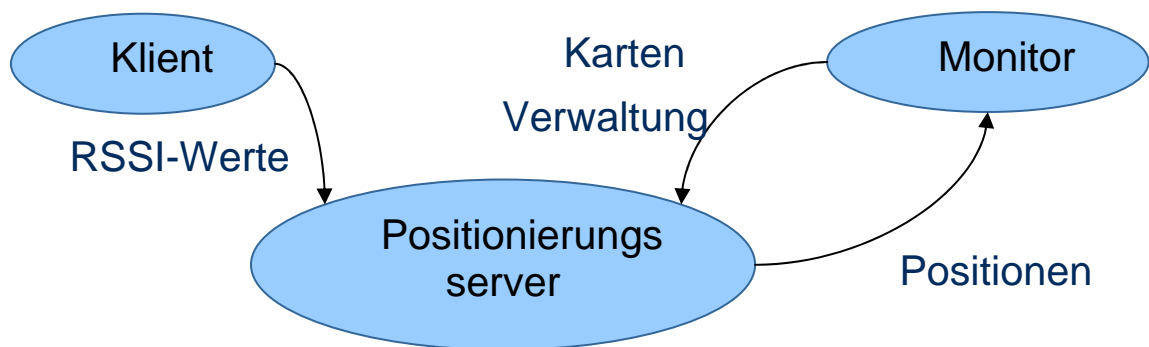


Abbildung 8: Struktur von Ekahau Positionierungssoftware

2.2.4 Distanzmessung mit Laufzeit und konventionellen Geräten

Die Lokalisierung mittels Laufzeit ist in die Literatur nur im Sinne von Distanzmessung betrachtet. Forscher an der Technischen Universität in Berlin haben versucht, die Distanz zwischen zwei Rechner anhand von Signallaufzeiten zu bestimmen [8]. Sie haben herkömmlichen Hardware (WLAN Karten) und Software (Linux Betriebssystem) benutzt. Deren Ansatz ist die Zeit mittels der 1 μ s-genauen Hardwareuhr auf die WLAN Karten zu messen um mögliche Störungen von dem Betriebssystem zu vermeiden. Um die Laufzeit des Signals zwischen zwei mobilen Knoten zu bestimmen, benutzen sie die Ereignisse bei der Übertragung eines WLAN Datenpakets und die entsprechende Bestätigung.

1. Lokal Send
2. Entfernt Empfang
3. Entfernt Send
4. Lokal Empfang

Mit der Annahme dass die Laufzeit des Signals in den beiden Richtungen gleich ist kann man die Laufzeit aus der lokalen Verzögerung (Intervall zwischen 1 und 4) und der entfernten Verzögerung (Zeitintervall zwischen 2 und 3) bestimmen.

Mit dieser Methode und zusätzlichen statistischen Analysen erreichen die Autoren in einer prototypischen Implementierung eine Genauigkeit der Distanzmessung von 5 bis 25 Meter. Die Implementierung ist prototypisch und ist schwierig in ein reales Netzwerk zu übertragen, weil die Zeitmessung mit der Hardwareuhr nur für empfangene Pakete erfolgt. Man kann also nicht die Zeit des Senden eines Paketes bekommen. Deswegen setzen die Autoren bei den Experimenten einen dritten Monitor-Knoten ein, der neben dem Sender steht und die notwendige Zeitstempel

bereitstellt. Mehr über das Verfahren und andere laufzeitbasierte Lokalisierungsmethoden findet man in dem Originalartikel [8] und in einer Seminararbeit [12].

2.2.5 Lokalisierung über Nachbarknoten-Information

Die Verfahren in diese Gruppe benutzen Information über nah liegenden Knoten mit bekannter Position um ihre Position zu schätzen[4][5]. Das CGLCD (Coarse Grained Localization with Center Determination) Verfahren ermittelt die Position eines Knotens als Durchschnitt der Positionen aller Knoten von die es gerade Pakete empfängt. Eine Verbesserung dieses Algorithmus – das WCL (Weighted Centroid Localization) benutzt zusätzlich Signalinformationen aus der Umgebung. Er berechnet einen gewichteten Durchschnitt von den Positionen aller Knoten die er empfängt. Das Gewicht jeder Knoten ist von der jeweiligen Signalstärke abgeleitet. Dabei wird die Annahme gemacht, dass je stärker das Signal ist desto näher ist man an den jeweiligen Knoten. Diese Annahme ist nicht immer gültig weil die Signalabschwächung nicht nur von der Distanz abhängt sondern auch von der Umgebung. Eine Stahlwand kann z.B. das Signal mehr abschwächen als 10m Distanz im freien Raum. Dennoch ist bei einer homogenen Umgebung wie z.B. im Haus diese Annahme leichter zu erfüllen.

Das WCL Algorithmus erreicht in eine Büroumgebung bei eine Dichte der APs von etwa 1AP/100m² eine Genauigkeit von 5-17m. Mehr Informationen über das WCL Algorithmus und eine Evaluierung findet man in einer Diplomarbeit [11].

2.3 Zusammenfassung und Bewertung

Tabelle 1 stellt eine Zusammenfassung der hier gemachten Literaturübersicht von Lokalisierungsmethoden dar.

Verfahrengruppe		Genauigkeit [m]	Vorteile	Nachteile
Laufzeit		5 – 25	Einfaches Prinzip	Schwierig zu implementieren, schwankende Genauigkeit
Nachbarknoten		5 – 17	Wenig Arbeitsaufwand	Schwankende Genauigkeit
Signalstärke	Berechnung	1 – 10	Wenig Arbeitsaufwand	Schwankende Genauigkeit
	Vermessung (deterministisch)	1 – 5	Relativ höhere Genauigkeit	Hohes Arbeitsaufwand
	Vermessung (probabilistisch)	1 – 2		

Tabelle 1: Zusammenfassung von Lokalisierungsmethoden

Die auf Laufzeit basierende Verfahren haben den theoretischen Vorteil, dass die Distanz sehr einfach von der Lichtgeschwindigkeit und der Signallaufzeit berechnen werden kann ($S = V * T$). Jedoch ist die Messung der Laufzeit problematisch. Eine Genauigkeit von 1 bis 5 Meter erfordert eine Zeitmessung mit einer Genauigkeit im Nanosekundenbereich. Das ist mit konventioneller Hardware schwierig zu realisieren, und die bekante Lösung erreicht eine hohe Standardabweichung der Genauigkeit.

Die Nachbarknoten- und Berechnungs-basierten Verfahren haben im Vergleich zu den Vermessungsmethoden einem niedrigen Arbeitsaufwand, da sie existierende

Informationen benutzen. Das sind z.B. die Anzahl, Platzierung von APs in der Umgebung, die die Netzwerkverwaltung schon hat, oder Eigenschaften von Wänden, die von einem Gebäudeplan automatisch abgeleitet werden können. Der Nachteil ist, wegen der Benutzung von Radiomodellen, geringere Genauigkeit mit hoher Standardabweichung.

Die Vermessungsmethoden benutzen dagegen keine Radiomodelle, sondern sie messen die Signalstärke direkt vor Ort. Deswegen sind sie genauer, aber benötigen einen relativ hohen Arbeitsaufwand um die Radio-Karte zu bilden und zu warten. Dieser Aufwand steigt linear mit der von dem Lokalisierungssystem abgedeckten Fläche.

Die Wahl zwischen diese Algorithmen ist vom konkreten Applikationsszenario abhängig. Die Entscheidungsfaktoren sind vor allem: geforderte Genauigkeit, Größe der Fläche, verfügbare Kosten (Man-Power) zur Investition. Wird z.B. ein Lokalisierungssystem für die Verwaltung von Bussen in einem Parkplatz benötigt, ist ein Nachbarknoten- oder Berechnungsbasierte Methode denkbar da die Genauigkeitsansprüche niedriger sind. Wird aber ein System für die Verfolgung von Geräte und Ärzte in einer Krankenhaus benötigt, ist eine genauere Methode wie z.B. RADAR oder Horus besser geeignet.

3 Ausrichtung für zukünftige Forschungsarbeiten

Aus der Literaturübersicht ergeben sich die folgenden Ausrichtungen für zukünftige Arbeiten in diesem Gebiet:

Automatisierung der Radio-Karten-Verwaltung

Ein Problem der vermessungsbasierten Methoden ist der hohe Arbeitsaufwand für die Erstellung und Aktualisierung der Radio-Karte der Umgebung. Deswegen sind Methoden notwendig, die diesen Prozess automatisieren. Die Automatisierung kann die Tatsache benutzen, dass die Access Points in einem Netzwerk feststehend sind. Mit einer zentralen Verwaltung können die APs die Umgebung untereinander vermessen und die gewonnenen Daten für Lokalisierung benutzen. Mit der steigenden Benutzung von Switched WLAN werden die zentrale Verwaltung von APs und die Integration solcher Applikationen in einem existierenden Netzwerk erleichtert. Die existierende Switched WLAN Systeme wie z.B. von Aruba[1] und Cisco[6] benutzen automatische Vermessung zwischen den installierten APs, aber die Methoden sind proprietär und funktionieren nur mit Geräte von der jeweiligen Firma. Deswegen ergibt sich die Automatisierung der Radio-Karte Verwaltung als anspruchsvolle Forschungsrichtung.

Die automatische Vermessung der Umgebung wird besonders in industrielle Netze denkbar. Dort existieren normalerweise Redundanz-APs, die bei einem Ausfall die Netzwerkqualität sichern. Die redundanten APs erhöhen die Dichte der APs in der Umgebung und ermöglichen eine präzisere Vermessung der Umgebung.

Automatische Anpassung von Ausbreitungsmodelle an der Umgebung

Die automatische Vermessung der Umgebung zwischen den Access Points ergibt nur eine Radio-Karte mit der Granularität der AP-Verteilung. Die typische Distanz zwischen APs in einer Innenumgebung ist 15 bis 30m. Ein solche Granularität ist nicht ausreichend um eine Genauigkeit von 1-2 Meter zu erreichen, wie von manche Applikationen gefordert wird. Um ein feingranulare Radio-Karte zu erreichen ist es hier notwendig die fehlenden Informationen zu erhalten.

Je nach gewünschter Genauigkeit gibt es verschiedene Alternativen. Die genaueste aber teuerste Variante ist die Installation von stationären RFID Tags in der Umgebung, die die Signalstärken ständig messen und an dem zentralen Server weiterleiten. Kosten sparen mit mobile RFID Tags ist auch denkbar wenn in der Umgebung bewegliche Elemente existieren die jederzeit ihre Position kennen. Das sind z.B. Fahrstühle, Rolltreppen in einem Gebäude, oder die Robotern in einer Industrieanlage. Andere Varianten sind die Benutzung von Radio-Berechnungsmodelle oder reine Interpolation für die unbekanntenen Orte der Radio-Karte.

Die existierenden Berechnungsmodelle benutzen Eingaben von den Messungen um die Genauigkeit der Modellierung oder Interpolation zu erhöhen [3][20]. Es ist zu untersuchen in wie weit diese Methoden für eine automatische und ständig aktualisierende Interpolation für die Radio-Karte benutzt werden können. Bei Bedarf können neue Modelle entwickelt werden.

Evaluierungsumgebung für Lokalisierungsmethoden

Die Genauigkeit der Lokalisierungsverfahren ist sehr abhängig von den Parametern des Lokalisierungssystems. Das sind z.B. Dichte von Access Points, Dichte von Trainingsorte, Zeit für die Training per Ort, Zeit für die Lokalisierung, Typ der WLAN Karte und andere. Die Signaleigenschaften der Umgebung sind auch so dynamisch, dass wenn man zwei Messungen hintereinander macht es möglich ist, dass verschiedene Radio-Karten sich ergeben.

Die existierende Lokalisierungsverfahren werden meist einzeln getestet und damit auch unter verschiedene Bedingungen. Deswegen beobachtet man Unterschiede in den Ergebnissen zwischen verschiedene Arbeiten, auch wenn es sich um den gleichen Algorithmus handelt. Die 50% Genauigkeit des RADAR Algorithmus bei der Benutzung von 6 Nachbarorten ist 2.6m in [2], und 3-3.5m in [17]. Diese Unterschiede kommen scheinbar aus verschiedenen Testumgebungen des Algorithmus.

Deswegen ist es in diesem Promotionsstudium vorgesehen eine Evaluierungsumgebung für Lokalisierungsverfahren in drahtlosen Netzen zu entwickeln, die es erlaubt verschiedene Algorithmen unter den gleichen Bedingungen zu testen und damit den besten Algorithmus für eine bestimmte Applikationsszenario bestimmen zu können. Die Entwicklung dieser Evaluierungsumgebung findet im Rahmen einer Diplomarbeit statt[11].

4 Fazit

Die dargestellte Praktikumsarbeit wurde am Anfang meines Promotionsstudiums an der Otto-von-Guericke Universität – Magdeburg durchgeführt. Die Arbeit präsentiert den Stand der Technik im Gebiet „Lokalisierung in drahtlosen Netzen“ und identifiziert mögliche Richtungen für weitere Forschung in diesem Gebiet. Einige von diesen Promotionsthemen habe ich mit Hilfe von Studenten und Mitarbeiter schon angefangen. Andere sind noch im früheren Zustand, brauchen noch Recherchen für deren Ausbau als Aufgaben.

Dieses Praktikum ist ein Schritt nach vorne in mein Promotionsstudium. Ich bedanke mich herzlich bei der Stiftung DER ROTARIER, Rotary Deutschland Gemeindienst e.V., und bei der Arbeitsgruppe „Echtzeitsysteme und Kommunikation“ and der Universität Magdeburg für die Finanzierung und für die Betreuung meines Praktikums.

5 Referenzen

- [1] Aruba Mobility Management System. <http://www.arubanetworks.com/>
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System. IEEE Infocom, 2000.
- [3] Ezekiel S. Bhasker, Steven W. Brown, William G. Griswold. Employing User Feedback for Fast, Accurate, Low-Maintenance Geolocation. In *PerCom'04: Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, 2004. IEEE Computer Society.
- [4] JAN BLUMENTHAL, FRANK REICHENBACH, DIRK TIMMERMANN. Precise Positioning with a Low Complexity Algorithm in Ad hoc Wireless Sensor Networks. *PIK -Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation*, Vol.28 (2005), Journal-Edition No. 2, S.80-85, ISBN: 3-598-01252-7, Saur Verlag, Germany, June 2005
- [5] JAN BLUMENTHAL, FRANK REICHENBACH, DIRK TIMMERMANN. Position Estimation in Ad hoc Wireless Sensor Networks with Low Complexity. *Proceedings of the 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2005 (WPNC 05)* and 1st Ultra-Wideband Expert Talk 2005 (UET 05)
- [6] CiscoWorks Wireless LAN Solution Engine (WLSE). <http://www.cisco.com>
- [7] Ekahau Positioning Engine. <http://www.ekahau.com/>
- [8] Andre Günter and Christian Hoene. Measuring Round Trip Times to Determine the Distance between WLAN Nodes. In *NETWORKING 2005: Proceedings of the 4th International IFIP-TC6 Networking Conference*, 2005. Springer Verlag.
- [9] Peter K. Ibach, Tobias Hübner, Martin Schweigert. MagicMap – Kooperative Positionsbestimmung über WLAN. Chaos Communication Congress, Berlin, 27.-29. Dez., 2004. <http://www.magicmap.de/>, <http://www.magicmap.de/anwendungen.htm>
- [10] S. Y. Seidel and T. S. Rappoport. 914 MHz path loss prediction Model for Indoor Wireless Communications in Multi-floored buildings. In *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 1992.
- [11] Hagen Steinicke. Evaluierungsumgebung für Lokalisierungsverfahren in drahtlosen Netzen. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke Universität – Magdeburg. Zu erscheinen 2006.
- [12] Michael Stier. Laufzeitbasierte Lokalisierung in drahtlosen Netzen. Seminar Ausarbeitung im Seminar: Neue Anwendungsgebiete von Wireless LAN. Otto-von-Guericke Universität – Magdeburg. Zu erscheinen 2006. http://www-ivs.cs.uni-magdeburg.de/EuK/lehre/lehveranstaltungen/Sommersemester_2006/Seminar_SS06.shtml

- [13]Moustafa Youssef and Ashok Agrawala. Continuous Space Estimation for WLAN Location Determination Systems. In *IEEE Thirteenth International Conference on Computer Communications and Networks*, 2004.
- [14]Moustafa Youssef and Ashok Agrawala. Handling Samples Correlation in the Horus System. In *IEEE INFOCOM*, 2004. IEEE.
- [15]Moustafa Youssef and Ashok Agrawala. On the Optimality of WLAN Location Determination Systems. In *Communication Networks and Distributed Systems Modelling and Simulation Conference*, 2004.
- [16]Moustafa Youssef and Ashok Agrawala. Small-Scale Compensation for WLAN Location Determination Systems. In *IEEE WCNC*, 2003.
- [17]Moustafa Youssef and Ashok Agrawala. The Horus WLAN Location Determination System. In *MobiSys '05: Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services*, 2005. ACM Press.
- [18]Moustafa Youssef, Ashok Agrawala, and A. Udaya Shankar. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. In *PERCOM '03: Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, 2003. IEEE Computer Society.
- [19]Pei Zheng and Lionel M. Ni. The Rise of the Smart Phone. *IEEE Distributed Systems Online*, vol. 7, no. 3, 2006, art. no. 0603-o3003
- [20]Zhe Xiang, Hangjin Zhang, Jian Huang, Song Song, Kevin C. Almeroth. A Hidden Environment Model for Constructing Indoor Radio Maps. In *Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM'05)*. IEEE. 2005