

Realisierung von Positionsordnungen in WLAN

Peter Dornbusch, TU München, München, Deutschland
Max Zündt, CDTM, München, Deutschland

Kurzfassung

In den letzten Jahren wurden herkömmliche Datennetze wie zum Beispiel LANs (IEEE 802.3) durch drahtlose Netze ergänzt. Die derzeit verbreiteste Technologie in diesem Zusammenhang ist Funk-LAN (Wireless LAN oder kurz WLAN), welche in IEEE 802.11 [1] standardisiert ist. Da es Bestrebungen der Integration von WLANs in 3G Mobilfunknetze gibt, sind Fragestellungen aus diesem Bereich auch für WLANs interessant. Insbesondere die Positionierung von Endgeräten, um so genannte Location-based Services zu realisieren, scheint ein interessantes Gebiet zu sein. In dem vorliegenden Papier versuchen wir einen Überblick, basierend auf unseren Forschungsergebnissen, über möglichen Ortungsverfahren für Funk-LANs zu geben.

1 Einleitung

Die Verbreitung von lokalen Funknetzen hat den letzten Jahren einen Boom erlebt. Der derzeit wichtigste Standard in diesem Zusammenhang ist Funk-LAN nach IEEE 802.11 (Wireless LAN oder kurz WLAN). Eine genaue Beschreibung des 802.11 Standards findet sich in [2].

WLANs dienen in erster Linie zur Vernetzung von einzelnen Computer untereinander oder dem mobilen Zugang zu Festnetzen. Man findet WLAN bevorzugt in Gebäuden oder aber sie werden als Funkbrücken zwischen mehreren Bauten verwendet.

Ein WLAN nach 802.11 hat eine zellulare Struktur, ähnlich der oben genannten Mobilfunknetze. So genannte Access Points bilden die Basisstationen des Netzes, analog zu den Sendestationen in Mobilfunknetzen. Jede Zelle definiert sich durch den vom Access Point ausgeleuchteten Bereich.

Da es Bestrebungen der Integration von WLANs in 3G Mobilfunknetze gibt, sind Fragestellung aus diesem Bereich auch für WLANs interessant. Insbesondere die Positionierung von Endgeräten, um so genannte Location-based Services zu realisieren, scheint ein interessantes Gebiet zu sein. An Universität von Lancaster wurde bereits ein zellgenaues Lokalisierungsverfahren vorgestellt [3]. Darüber hinaus finden sich in [4] einige Verbesserungsvorschläge, die aber nach unserer Meinung noch nicht das Ende der Möglichkeiten darstellen. In [9] findet sich eine recht ausführliche Beschreibung verschiedener Positionsverfahren für WLAN, dennoch bleiben einige Detailfragen ungeklärt.

Motiviert durch die Entwicklung im Mobilfunkbereich und bis jetzt unbefriedigender Ansätze zur Lokalisierung in WLAN, sollen in diesem Papier die Möglichkeit der Positionsbestimmung von mobilen Endgeräten in WLAN erörtert werden.

Die meisten Verfahren in Mobilfunknetzen versuchen mit Hilfe von Signallaufzeiten, die zwischen der mobilen Station und der Basisstation gemessen werden, auf die Position des Endgerätes zu schließen. In WLAN lassen sich Signallaufzeiten nicht bestimmen, da deren Messung nicht von der Hardware unterstützt wird. Alternative wird bei den hier vorgestellten Verfahren die Signalstärke zur Berechnung herangezogen. Obwohl die Signalstärke von vielen Faktoren (Wände, Gegenstände, Personen, usw.) beeinflusst wird und man sie aus diesen Gründen nicht für die Lokalisierung in Mobilfunknetzen heranzieht, können auf ihr basierende Verfahren noch ein durchaus besseres Ergebnis liefern als zum Beispiel das naive „Cell of Origin (COO)“, welches einfach von der Basisstation, über die das mobile Endgerät eingewählt ist, auf die grobe Position schließt.

Drei Verfahren wurden von uns näher untersucht. Als erstes wird ein zellgenaues Verfahren beschrieben, welches analog zum Cell of Origin (COO) in Mobilfunknetzen arbeitet [5]. Anschließend folgt ein Verfahren, welches auf Triangulierung beruht, dessen Funktionsweise ähnlich dem im Mobilfunk eingesetztem Enhanced Observed Time Difference (E-OTD) und Time of Arrival (TOA) [5] ist, mit dem Unterschied, dass es anstatt der Signallaufzeit die Signalstärke heranzieht, um auf den Abstand von Basisstation und mobiler Station zu bestimmen.

Als letztes wird ein Verfahren vorgestellt, welches mit Hilfe einer Tabelle von Positionsdaten den Ort einer mobilen Station bestimmen kann. Ausgewählten Positionen in der Testumgebung wurden Signalstärkeprofile zugeordnet. Nach kontinuierlichen Messungen der Signalstärke zwischen der mobilen Station und den umliegenden Access Points wird eine Anfrage an die Tabelle formuliert. Um den „besten“ Eintrag aus den Tabelleneinträgen zu finden und damit die Position, die am nächsten zu der tatsächlichen Position der

mobilen Station liegt, dient das Euklidische Distanzmaß.

2 Zellbasiertes Verfahren

Das technisch einfachste Verfahren ist das Zellbasierte ähnlich Cell of Origin (COO), wie es in Mobilfunknetzen zu finden ist. Es wird festgestellt über welche Basisstation bzw. über welchen Access Point die mobile Station eine Verbindung aufgebaut hat. Aus der Position der Basisstation/Access Point und der Zellgröße lässt sich grob die Position der mobilen Station ableiten.

Da es für dieses Lokalisierungsverfahren wesentlich ist, in welcher Zelle sich die mobile Station befindet, kommt der Verbindungsübergabe zwischen den Zellen, also dem Handover, eine wichtige Rolle zu. In IEEE 802.11 Funk-LANs wird der Handover von der mobilen Station ausgelöst. Prinzipiell gibt es zwei entscheidende Gründe für einen Handover: Einmal kann der mobile Sender zu schwach sein. Wenn mit der Basisstation keine ausreichende Kommunikation mehr möglich ist, versucht das mobile Endgerät ein Handover zu einer anderen Basisstation durchzuführen. Falls dies nicht möglich ist, kann es zu einem Verbindungsabbruch kommen.

Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, auch wenn der eigene Sender noch stark genug ist, einen stärkeren Sender zu wählen. Bei sich schnell bewegenden Endgeräten kann so die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Verbindungsabbruch kommt, gesenkt werden.

1.1 Verschiedene Handover-Strategien

Im Standard IEEE 802.11 ist keine Handover-Strategie standardisiert. Es ist also Aufgabe des Herstellers ein Verfahren zu implementieren. Im folgenden werden kurz die wichtigsten Handover-Strategien aufgeführt [6]

Wechsel aufgrund der relativen Signalstärke

Ein Wechsel zu einer anderen Basisstation wird immer dann durchgeführt, wenn eine andere Basisstation eine höhere Signalstärke hat.

Relative Signalstärke mit Schranke

Ein Handover wird erst ausgeführt, wenn der neue Sender stärker ist und die Signalstärke des alten Senders unter einer gewissen Schranke liegt. Entscheidend für die Effizienz der Strategie ist dabei die Wahl der Schranke.

Wechsel aufgrund relativer Signalstärke mit Hysterese¹

Bei diesem Verfahren wird das Handover dann ausgeführt, wenn das neue Signal um einen gewissen Betrag stärker ist, als das Signal der alten Sendestation. Dadurch kann ein Ping-Pong-Effekt effektiv vermieden werden. Zu diesem Effekt kann es kommen, wenn ein mobiles Endgerät zwei Sender empfangen kann, die ungefähr gleich stark sind. Dann kann das Endgerät mehrfach zwischen diesen beiden Sendern ein Handover ausführen, obwohl es sich nicht oder nur wenig bewegt, also eine Verbindungsübergabe gar nicht notwendig wäre.

Wechsel aufgrund von relativer Signalstärke mit Schranke und Hysterese

Dieses Verfahren stellt eine Kombination der letzten beiden dar. Damit lassen sich noch mehr unnötige Handover vermeiden.

Da bei unseren Untersuchungen ausschließlich Intel Funk-LAN Karten zum Einsatz kamen, welche die Handover-Strategie „Wechsel aufgrund relativer Signalstärke mit Schranke und Hysterese“ benutzen, können wir auch nur über diese Handover-Strategie eine Aussage machen.

Für die zellgenaue Lokalisierung in Funk-LANs hat dies den Effekt, dass sich keine festen und abgegrenzten Zellen ergeben. Vielmehr ist die Grenze zwischen den einzelnen Zellen dynamisch und wird auch von dem Bewegungsweg der mobilen Station bestimmt.

1.2 Ergebnis

Aussagen über die Genauigkeit lassen sich für WLANs immer nur relativ machen. Zum einen sind die Ergebnisse von der Zelldichte abhängig, die gerade bei WLANs sehr stark variieren kann. Zum anderen kann die Genauigkeit bei unterschiedlicher Struktur der Umgebung erheblichen Schwankungen unterliegen. Dennoch sind wir zu dem Ergebnis gekommen, dass eine Genauigkeit die über 25m liegt nicht zu erreichen ist, auch wenn man ein Netz mit maximaler Zelldichte voraussetzt. Dies wird bedingt durch die oben beschriebene Handover-Strategie.

3 Triangulierungsverfahren

Um die Position der mobilen Station genauer bestimmen zu können, wird ein zusätzlicher Parameter benötigt. In Mobilfunknetzen wird oftmals auf Signallaufzeitmessungen zurückgegriffen. Diese Möglichkeit wird aber von der derzeitigen Hardware der

¹ Hysterese; das Zurückbleiben einer Wirkung hinter dem jeweiligen Stand der sie bedingenden veränderlichen Kraft

Funk-LANs nicht unterstützt. Es ist sogar davon auszugehen, dass dies auch in absehbarer Zeit nicht der Fall sein wird. Als Hauptgrund sei hier auf die erheblichen Mehrkosten verwiesen. Insbesondere um eine exakte Position zu ermitteln wäre eine interne Uhr notwendig, die bis auf einige Nanosekunden genau Messungen durchführt.

Grundsätzlich ist die Verwendung der Signalstärke sehr fehleranfällig, da viele äußere Einflüsse auf sie einwirken.

In Funk-LANs, wo man in der Regel relativ kleine Zellen hat (ca. 30m-300m), kann trotz eines solchen Fehlers noch eine ungefähre Position bestimmt werden, insbesondere da man nicht die Alternativen hat, die im Mobilfunk möglich sind. Grundsätzlich kann auch ein Messfehler von 30% immer noch dazu dienen, die Position des Endgerätes auf einige Meter genau zu bestimmen. Voraussetzung ist selbstverständlich eine hohe Netzabdeckung, bzw. eine hohe Access Point Dichte, die eine Anwendung des im folgenden vorgestellten Verfahrens ermöglicht. In der Praxis bedeutet dies, dass sich eine mobile Station immer in der Empfangsreichweite von mindestens drei Access Points befinden sollte.

3.1 Signalstärke als Parameter

Da also die Möglichkeit der Berechnung über die Signallaufzeit in Funk-LANs nicht zur Verfügung steht, gilt es eine Alternative zu finden. Die Parameter, die in einem Funk-LAN von den Basisstationen (Access Points) bestimmt werden können, sind die Signalstärke und das Rauschen. Das Rauschen ergibt sich aus verschiedenen Störquellen. Funk-LANs nach IEEE 802.11b benutzen den lizenzfreien Frequenzraum zwischen 2,4 GHz und 2,483 GHz, so dass auch andere Funktechniken diesen Bereich verwenden, wie zum Beispiel Bluetooth. Aber auch Mikrowellen und andere Geräte, die nicht zur Funkübertragung gedacht sind, können sich als Störquellen erweisen.

Eine Möglichkeit um auf den Abstand zwischen mobiler Station und Basisstation zu schließen, ist die Berechnung des Abstands über die Signalstärke. Eine exakte mathematische Beschreibung der Signalstärke in Abhängigkeit vom Abstand existiert zwar in der Theorie, tatsächlich unterliegt die Signalstärke aber zu vielen externen Einflüssen, um diese Funktion auch in der Praxis anwenden zu können. Allgemein hat die Formel folgende Gestalt[7]:

$$dB = 92,4 + 20 \cdot \log_{10}(r) + 20 \cdot \log_{10}(f)$$

Hierbei bezeichnet r den Abstand zwischen mobiler Station und Basisstation und f die Frequenz.

Natürlich wäre es denkbar ein sehr komplexes mathematisches Modell aufzustellen, welches die wesentlichen Einflussfaktoren näherungsweise erfasst. Allerdings ist der Aufwand so groß, dass solch

Allerdings ist der Aufwand so groß, dass solch ein Verfahren für die Praxis nicht brauchbar wäre. Ferner blieben Einflussfaktoren auf die Signalstärke bestehen, die einem temporären Wandel unterliegen, wie zum Beispiel Personen, die auch in einem komplexen Modell nicht modellierbar sind. In [8] findet man einige Beispiele für den Einfluss von Störelementen auf die Signalstärke.

Eben weil die Umgebung in Form von Wänden, Möbeln und Personen nur schwer zu erfassen ist, wird im folgenden aufgezeigt, wie die Funktion der Signalstärke durch ein statistisches Verfahren genauer beschrieben werden kann. Ziel ist es also, eine Funktion der Signalstärke aufzustellen, die ein möglichst genaues Abbild der realen Ausbreitung der Signalstärke erreicht.

Wir haben versucht dem Rechnung zu tragen, indem wir die Signalstärkefunktion mit Hilfe von Regression bestimmen. Die Funktion der Signalstärke verläuft logarithmisch. Es handelt sich also um eine logarithmische Regression, die durchzuführen ist.

Die Durchführung der Bestimmung geschieht wie folgt: Die mobile Station wird an einer beliebigen Position in der Testumgebung platziert. Anschließend wird der Abstand zwischen der mobilen und der Basisstation ausgemessen. Nun beginnt die Messung der Signalstärke an der ausgewählten Position. Bei der Messung sollten möglichst viele Werte gemessen werden, um ein statistisch aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Dieser Vorgang des Bestimmens einer Position und Messung der Signalstärke wird an mehreren signifikanten Positionen der Testumgebung wiederholt. Anschließend werden die Messwerte, die im selben Abstand vom Access Point ermittelt werden, zusammengefasst.

3.2 Rauschen

Das Rauschen und die Signalstärke sind von einander unabhängig. Prinzipiell ist allerdings die Qualität der Verbindung und damit die zur Verfügung stehende Bandbreite abgänglich vom Signal-Rausch-Abstand. Für die Lokalisierung spielt dies soweit keine Rolle. Es gibt allerdings einen Punkt in diesem Zusammenhang, der sehr wesentlich ist. Durch ansteigendes Rauschen steigt auch die Mindestsignalstärke an, die nötig ist, damit der Access Point und die mobile Station eine Verbindung aufbauen können. Sollte also das Rauschen in einem Funk-LAN plötzlich stark ansteigen, so kann es sein das einige mobile Stationen, die sich weit von einem Access Point entfernt befinden, auf einmal für ihn „unsichtbar“ werden. Anschaulich könnte man auch von einem Schrumpfen der Zellen sprechen. Im Hinblick auf die Lokalisierungsverfahren muss das System solch eine Veränderung der verfügbaren Information handhaben können.

3.3 Die Positionsbestimmung

Triangulierungsverfahren auf der Basis von Kreisen berechnen die Position anhand der Schnittpunkte von Kreisen, die sich aus den Abständen der einzelnen Sendestationen zur mobilen Station ergeben.

Der Ausgangspunkt beim Triangulierungsverfahren sind drei Kreisgleichungen im 2-dimensionalen bzw. vier Kugelgleichungen im 3-dimensionalen. Die folgende Formel beschreibt den Abstand zwischen der mobilen Station und der Sendestation:

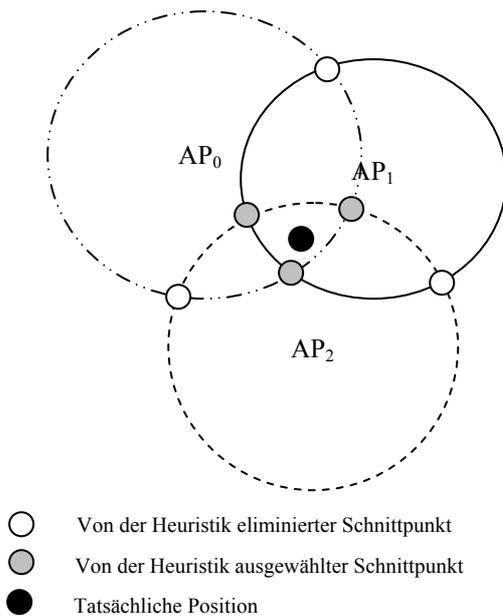


Abbildung A: Funktionsweise der Heuristik

Die Schnittpunktberechnung geschieht paarweise. Es werden also immer die Schnittpunkte zweier Kreise bestimmt. Eine dritte Gleichung direkt mit einzubeziehen würde nur selten zu einer Lösung führen, da sich aufgrund der hohen Messungenauigkeiten der Signalstärke kein gemeinsamer Schnittpunkt aller drei Kreise ergibt. Sinnvoller ist es paarweise vorzugehen. Da in der Regel zwei Kreise des Verfahrens zwei Schnittpunkte haben, erhält man nach der Anwendung des Regula Falsi auf alle möglichen Kombinationen maximal sechs Schnittpunkte.

Haben zwei Kreise zwei Schnittpunkte, kann offensichtlich nur einer der Schnittpunkte die Position der mobilen Station widerspiegeln. Prinzipiell wird beim Triangulierungsverfahren ja genau aus diesem Grund eine dritte Gleichung herangezogen, denn der gemeinsame Schnittpunkt aller Gleichungen entspricht der gesuchten Position. Wie oben schon erwähnt, scheitert diese Vorgehensweise an Messungenauigkeiten, die einen exakten gemeinsamen Schnittpunkt aller drei Gleichungen in der Praxis normalerweise ausschließt.

Um das Problem zu lösen, wurde folgende Heuristik entwickelt: Es werden jeweils zwei unterschiedliche Kreiskombinationen herangezogen und für jede Kombination die Schnittpunkte berechnet. Anschließend werden die Abstände der Schnittpunkte der ersten Kombination und der Schnittpunkte der zweiten Kombination berechnet. Anhand der Abstände kann nun bestimmt werden, welche beiden Schnittpunkte der jeweiligen Kombination sich am nächsten liegen. Die anderen können eliminiert werden.

3.4 Ergebnis

Unsere Messungen haben eine deutlich höhere Genauigkeit ergeben als beim zellbasierten Verfahren. Wir kamen auf eine Positionsgenauigkeit von um die 15m unter der Restriktion einer hohen Zelldichte, was in unserem Fall bedeutete, dass die Access Points einen Abstand von ca. 10m hatten. Gelegentlich kam es allerdings zu sehr großen Abweichungen. Diese waren dadurch bedingt, dass es bei größeren Schwankungen der Signalstärke zu falschen Schnittpunkten kam.

4 Tabellenbasiertes Verfahren

Da das Triangulierungsverfahren aufgrund unterschiedlicher Dämpfungseigenschaften der Testumgebung keine hohe Genauigkeit erwarten lässt, wurde ein Verfahren entwickelt, welches bestimmten Orten ein Signalstärkeprofil zugeordnet.

Das Verfahren benutzt ebenfalls die Signalstärke zur Lokalisierung. Es macht sich im Gegensatz zum Triangulierungsverfahren den Umstand der Dämpfung und Reflektion der Signalstärke zu nutze. Wurde beim Triangulierungsverfahren noch versucht eine allgemeine Formel für den Verlauf der Signalstärke in Abhängigkeit des Abstands zweier Stationen aufzustellen, so wird beim tabellenbasierten Verfahren gerade die Tatsache ausgenutzt, dass es bei Objekten in der Zielumgebung zu starker Dämpfung und bei metallischen Gegenständen zu Reflektion kommen kann.

4.1 Signalstärkeprofile

An einer ausgewählten Position wird eine Signalstärkemessung durchgeführt. Es werden also alle Signalstärkewerte zwischen der mobilen Station und den „sichtbaren“ Access Points gemessen. Nach einem möglichst langen Messintervall werden dann die Mediane der Signalstärken berechnet. Die Medianberechnung stellt sicher, dass sich auch nach einem relativ kurzem Messintervall ein signifikantes Signalstärkeprofil ergibt, da der Median vereinzelte Messpitzen eliminiert. Es ergibt sich das Tupel:

$(n_i, p_i, (ap_0, s_0)_i, \dots, (ap_k, s_k)_i)$.

- n_i weist dem Eintrag einen Namen zu, welcher aber nur für administrative Zwecke benutzt wird und von dem Lokalisierungsverfahren nicht an eine höhere Schicht weitergegeben wird.
- p_i enthält die Information über die Position, die der Eintrag beschreibt.
- $(ap_j, s_j)_i$ beinhaltet den Signalstärkemesswert s_j , der an dem jeweiligen ap_j gemessen wurde. Da die Anzahl der „sichtbaren“ Access Points unterschiedlich sein kann, hat auch das Tupel eine flexible Größe.

Das Tupel wird in einer Tabelle gespeichert. Anschließend wird dieser Vorgang an allen Positionen, die später lokalisiert werden sollen, wiederholt. Die Positionen sollten, wenn möglich, nicht zu nah bei einander liegen, um gewisse Unterschiede in den Messwerten zu gewährleisten. Als sinnvoll hat sich zum Beispiel erwiesen in einem Gebäude pro Raum eine Messung durchzuführen. Nicht nur, dass so ein hinreichender Abstand zwischen den Positionen gesichert werden kann, es wirkt sich zusätzlich positiv aus, dass Zwischenwände eine dämpfende Wirkung auf die Signalstärke haben, was zu größeren Differenzen in den Messwerten an unterschiedlichen Positionen führt.

Bei dem vorgestellten Verfahren wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass sich in der Reichweite einer mobilen Station immer nur maximal drei Access Points befinden. Sollte es dennoch dazu kommen, dass mehr als drei „sichtbar“ sind, so werden nur die drei stärksten Messwerte berücksichtigt. Die Messwerte werden durch das Tupel $((ap_0', s_0'), (ap_1', s_1'), (ap_2', s_2'))$ beschrieben. Anschließend werden alle Datensätze aus der Datenbank ausgelesen, die aufgrund einer selektiven Überprüfung für die Position des Endgerätes in Frage kommen. Datensätze, die auf Messwerten von zwei Access Points beruhen, obwohl Messungen zu drei Access Points durchgeführt wurden konnten, können zum Beispiel von vornherein ausgeschlossen werden. Ebenfalls können Datensätze, die Messwerte zu anderen Access Points enthalten, als die zu denen tatsächlich Messungen durchgeführt wurden, ausgeschlossen werden. Wenn also für den Tabelleneintrag i $ap_0' \notin \{ap_0, ap_1, ap_2\}$, $ap_1' \notin \{ap_0, ap_1, ap_2\}$ oder $ap_2' \notin \{ap_0, ap_1, ap_2\}$ gilt, kann der Tabelleneintrag i ausgeschlossen werden.

Die Datensätze, die nach diesem Verfahren übrig geblieben sind, enthalten nur noch Access Points der Anfrage und der Signalstärke der zugehörigen Position. Um den Datensatz zu finden, der am ehesten der gesuchten Position entspricht, muss ein Distanzmaß gefunden werden, welches eine sinnvolle Bewertung

der übriggebliebenen Datensätze und den Vergleich untereinander ermöglicht.

Es gilt zu berücksichtigen, dass große Abweichungen schlechter zu gewichten sind als kleine. Dies wird durch das Euklidische Distanzmaß erreicht. Unter den gleichen Annahmen, die oben getroffen wurden, gilt für das Euklidische Distanzmaß:

$$d_{Eu} = \sqrt{(s_0 - s_0')^2 + (s_1 - s_1')^2 + (s_2 - s_2')^2}$$

Durch das Quadrieren der Differenzen werden große Abweichungen der einzelnen Messungen, stärker gewichtet. Bei den später durchgeführten Testmessungen hat sich das Euklidische Distanzmaß als hinreichendes Kriterium zur Bewertung erwiesen. Weitere Überlegungen, wie zum Beispiel eine Gewichtung der Signalstärke in Abhängigkeit ihrer absoluten Größe, konnte keine Verbesserung der Testergebnisse erbringen.

Da man mit dem verwendeten Distanzmaß die Möglichkeit der quantitativen Bewertung der Tabelleneinträge hat, lassen sich die Datensätze nun sortieren, wobei man mit dem Datensatz, der den kleinsten Distanzmaßwert hat, beginnt. Das Ergebnis muss dann nicht nur aus dem besten Datensatz bestehen, sondern es kann zum Beispiel eine Liste der drei besten Datensätze ausgegeben werden.

4.2 Zusammenhang zwischen der Anzahl der APs und der Genauigkeit

Um eine Position hinreichend genau durch gemessene Signalstärken beschreiben zu können, muss in deren Umgebung auch eine hinreichende Dichte an Access Points vorhanden sein, d.h., dass es möglichst viele Parameter geben muss, welche die Position beschreiben.

Bei einem Tabelleneintrag, der einer Position nur einen Access Point und damit nur einen Signalstärkewert zu ordnet, also die Form $(n_i, p_i, (ap_0, s_0)_i)$ hat, ist lediglich eine Aussage zu machen, in welcher Access Point Umgebung sich die mobile Station befindet. Dies entspricht in etwa einem zellgenauen Verfahren, wie es am Anfang des Kapitels beschrieben wurde, nur, dass hier unter Berücksichtigung der Signalstärke noch zusätzlich auf den ungefähren Abstand zum Access Point geschlossen werden kann.

Bei zwei Signalstärkewerten von unterschiedlichen Access Points kann das Ergebnis noch weiter konkretisiert werden. Eine exakte Erfassung einer bestimmten Position ist aber erst ab drei Werten möglich. Dies ist auf Symmetrieeffekte zurückzuführen, wie sie auch beim kreisbasierten Verfahren vorkommen können. Natürlich wären noch mehr Messwerte pro Station wünschenswert, doch wird man in der Realität selten eine so hohe Netzabdeckung finden. Tatsächlich können sich in einem Funk-LAN nur drei bis vier

Funkkanäle der 13 möglichen Kanäle überlagern, da sich die Frequenzbereiche der einzelnen Kanäle teilweise überschneiden.

4.2 Ergebnis

Das tabellenbasierte Verfahren hat das beste Ergebnis geliefert. Hiermit lässt sich relativ zuverlässig eine Genauigkeit von bis auf 10m erreichen. Tatsächlich sind bei diesem Verfahren die Faktoren, die bei den anderen Verfahren sich durchweg negativ bemerkbar machen, ein Vorteil. Umso komplexer die Umgebung, d. h. umso mehr Wände, Möbel oder sonstiges sich zwischen den Access Points und der mobilen Station befindet, desto individueller sind die Signalstärkeprofile und desto präziser ist eine Lokalisierung möglich.

5 Gesamtbewertung

Drei Lokalisierungsverfahren wurden implementiert und untersucht. Die Genauigkeit wurde nur informell angegeben, da sie sehr stark abhängig ist von der gegebenen Netzinfrastruktur. Uns schien es von daher nicht seriös, konkrete Angaben, die man als absolute Ergebnisse verstehen könnte, anzugeben. Dennoch lässt sich eine grundsätzliche Aussage treffen, welches der Verfahren wohl das beste Ergebnis bzgl. der Genauigkeit liefert.

Da wäre einmal das zellgenaue Verfahren, welches auch bei einer hohen Zelldichte nur eine Lokalisierung auf 20 bis 25 Meter ermöglicht.

Beim zweiten Verfahren wird analog zu Mobilfunknetzen mit Hilfe von Triangulierung auf die Position des Terminals geschlossen. Hierbei konnte in unserer Testumgebung eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit erreicht werden.

Das beste Ergebnis lieferte aber das tabellenbasierte Verfahren, welches die Position eines Endgerätes bis auf 10m genau bestimmen konnte. Dies wird aber durch einen deutlichen höheren administrativen Aufwand erkauft.

7 Ausblick

Der derzeitige Focus unserer Arbeit liegt auf einer Integration der WLAN Lokalisierung und Lösungen für Mobilfunknetzen. Da angestrebt wird verschiedene heterogene Netze zusammenzuführen und diese zu einem großen all-IP Netzwerk zu verschmelzen, scheint es notwendig auch eine homogene Schnittstelle zu den Positionsdaten anzubieten.

Des Weiteren wäre es interessant herauszufinden, wie andere Übertragungstechniken die Positionierung unterstützen könnten, zum Beispiel durch IRDA basierte Kurzstreckenkommunikation. Darüber hinaus wäre es auch sinnvoll, die vorgestellten WLAN Positionie-

rungsverfahren mit Alternativübertragungstechniken wie Bluetooth und Hiperlan/2 zu testen.

8 Literatur

- [1] IEEE Local and Metropolitan Area Network Standards Committee, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std 802.11-1997. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1997
- [2] Bob O'Hara, Al Petrick, IEEE 802.11 Handbook – A Designer's Companion Standards Information Network IEEE Press, December 1999, ISBN 0-7381-1855-9
- [3] Davies, N., Mitchell, K., Cheverest, K., Blair, G., Developing a Context Sensitive Tourist Guide, First Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices, GIST Technical Report G98-1, 1998
- [4] Small, J., Smailagic, A., Siewiorek, D., Determining User Location For Context Aware Computing Through the Use of a Wireless LAN Infrastructure, Project Aura, Carnegie Mellon University, December 2000
- [5] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Location Services (LCS); (Functional description) - Stage 2 (GSM 03.71 version 8.0.0 Release 1999)
- [6] Lohi, M., O. Baldo, A. H. Aghvami, Handover Issues and Call Admission Control in Cellular Systems, 52nd IEEE Vehicular Technology Conference VTC' fall, Amsterdam, The Netherlands, September 1999
- [7] A. Ferscha, W. Beer, W. Narzt, Location Awareness in Community Wireless LANs, Mobile internet based services and information logistics, Workshop, GI/ÖCG-Jahrestagung 2001, Vienna, Austria, September 2001.
- [8] D. Eckhardt, P. Steenkiste, Measurement and Analysis of the Error Characteristics of an In-Building Wireless Network, Computer Communication Review 26:4, pp. 243-254, October 1996, ACM SIGCOMM, ISSN #0146-4833
- [9] P. Bahl, V.N. Padmanabhan, RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System, Proc. IEEE Infocom 2000, Tel Aviv, Israel, March, 2000