

EINE ÜBERSICHT ÜBER IN- UND OUTDOOR POSITIONIERUNGSSYSTEME

vorgelegt am Lehrstuhl für Praktische Informatik IV
 Prof. Dr. W. Effelsberg
 im Dezember 2005
 von Hendrik Lemelson
 geboren am 04. Dezember 1980
 in Heidelberg
Betreuer Dipl.-Wirtsch.-Inf. Thomas King

Universität Mannheim
Lehrstuhl für Praktische Informatik IV (PI4)
D - 68159 Mannheim
Telefon: +49 621 181 2600, Fax +49 621 181 2631
Internet: <http://www.informatik.uni-mannheim.de/pi4>

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Technische Verfahren zur Positionsbestimmung	4
2.1	Lateration	4
2.1.1	Signallaufzeit	6
2.1.2	Signalstärke	6
2.2	Angulation	7
2.3	Szenenanalyse	7
2.3.1	Statische/differentielle Szenenanalyse	9
2.3.2	Benötigte Daten	9
2.3.3	Fingerprinting	10
2.4	Proximity	11
3	Merkmale konkreter Implementierungen	12
4	Einige Beispielsysteme	14
4.1	E911	14
4.2	SpotOn	14
4.3	Easy Living	15
4.4	RADAR	16
4.5	Cricket	16
4.6	GPS	17
4.7	AGPS	18
4.8	Active Badge	19
4.9	Active Bats	21
4.10	SmartFloor	21
5	Fazit	22

1 Motivation

Seit jeher ist eines der zentralen Probleme des Menschen die zuverlässige Bestimmung seines aktuellen Aufenthaltsortes. Was sich zunächst profan anhört, stellt sich im Kontext vieler Anwendungen als großes Problem dar. Schon zu Zeiten der Antike benötigten Seefahrer eine Möglichkeit, ihre Position sicher und zuverlässig zu bestimmen. Dazu entwickelten sie ausgereifte Verfahren und Geräte wie zum Beispiel Sextanten und nautische Winkelmesser. Unter Zuhilfenahme dieser war es den Seefahrern möglich durch Messung verschiedener Winkel zwischen Landmarken oder Fixsternen untereinander oder dem Horizont ihre Position bereits mit einer Genauigkeit von bis zu einer Seemeile (ca. 1,8km) zu berechnen. Sie verwendeten dabei sowohl einfach Kreuzpeilungen als auch Methoden der sphärischen und ebenen Trigonometrie. Auch heute hat sich an den Tatsachen und Notwendigkeiten nichts geändert und auch die grundlegenden Methoden der damaligen Zeit sind immer noch gültig, wenn auch die Hilfsmittel mit der technischen Entwicklung stetig genauer und zuverlässiger geworden sind.

Zusätzlich sind im Laufe der Zeit noch unzählige weitere Anwendungsbereiche hinzugekommen, in denen ebenso eine sichere und zuverlässige Positionsbestimmung von entscheidender Bedeutung ist. Hier sei zum Beispiel nur auf den Flugverkehr oder die Fahrzeugnavigation verwiesen.

Neben der Navigation entstehen zunehmend auch in anderen Anwendungsbereichen neue Konzepte, die eine zuverlässige Positionsbestimmung von Personen oder Gegenständen voraussetzen und darauf aufbauend weiterführende Dienste anbieten, sei es das Verfolgen von Stückgut oder Containern in den Frachtterminals von Häfen, die automatische Sendungsverfolgung beim Paketversand oder an das Profil der anwesenden Benutzer angepasste Werbetafeln.

Doch was für Möglichkeiten gibt es, eine solche Positionsbestimmung vorzunehmen? Welche Voraussetzungen sind dazu notwendig und wie können diese realisiert werden?

Diese Fragen werden in den folgenden Kapiteln behandelt und einige konkrete Implementierungen vorgestellt.

2 Technische Verfahren zur Positionsbestimmung

Obwohl es viele unterschiedliche Implementierungen und Anwendungen sowohl kommerzieller als auch wissenschaftlicher Natur gibt, ist die Anzahl der zugrunde liegenden Verfahren zur Positionsbestimmung eher klein. Prinzipiell gibt es vier Möglichkeiten, eine Positionierung vorzunehmen.

Diese sind die Lateration, also die Bestimmung der Position mit Hilfe von Entfernungsmessungen, die Angulation, hier werden Winkelmessungen zu Hilfe genommen, die Szenenanalyse bei der Umgebungsparameter erfasst und ausgewertet werden und zu guter Letzt die Nachbarschaft (engl. proximity) bei der physische Nähe ausgenutzt wird.

2.1 Lateration

Bei der Lateration wird anhand gemessener Entfernungen zu festgelegten Bezugspunkten die aktuelle Position des Klienten errechnet. Voraussetzung dabei ist, daß die Positionen der einzelnen Bezugspunkte bekannt sind. Je nachdem ob eine Position in der Ebene oder im Raum errechnet werden soll, sind Entfernungsmessungen zu mindestens drei beziehungsweise vier verschiedenen Bezugspunkten notwendig. Die Berechnung der eigenen Position erfolgt bildlich gesprochen über einen Schnitt der Kugeln um die Bezugspunkte mit der jeweils gemessenen Entfernung als Radius. Stehen nur drei Messungen zur Verfügung, so ist unter Umständen trotzdem eine Positionsbestimmung im dreidimensionalen Raum möglich, sofern sichergestellt ist, daß sich der Klient auf jeden Fall unterhalb beziehungsweise auf jeden Fall oberhalb der Ebene in der die drei Bezugspunkte liegen befindet. Das prominenteste Beispiel, bei dem dieses Verfahren angewandt wird ist GPS.

Seien r_i die gemessenen Entfernungen und (x_i, y_i, z_i) die Koordinaten der Bezugspunkte P_i . Dann läßt sich die Position (x, y, z) des Klienten mit folgendem Gleichungssystem berechnen:

$$r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad i = 1..4 \quad (1)$$

Zur Bestimmung der Entfernung sind generell drei verschiedenen Verfahren möglich. Die wichtigsten hierbei sind die Messung der Signallaufzeit (engl. time-of-flight / TOF) und die Messung der Signalstärke (engl. signal-power-level / SPL). Das dritte Verfahren, das direkte Ausmessen der Entfernung zum Beispiel mit Hilfe eines Maßbandes hat in der Praxis der Positionierung nahezu keine Bedeutung.

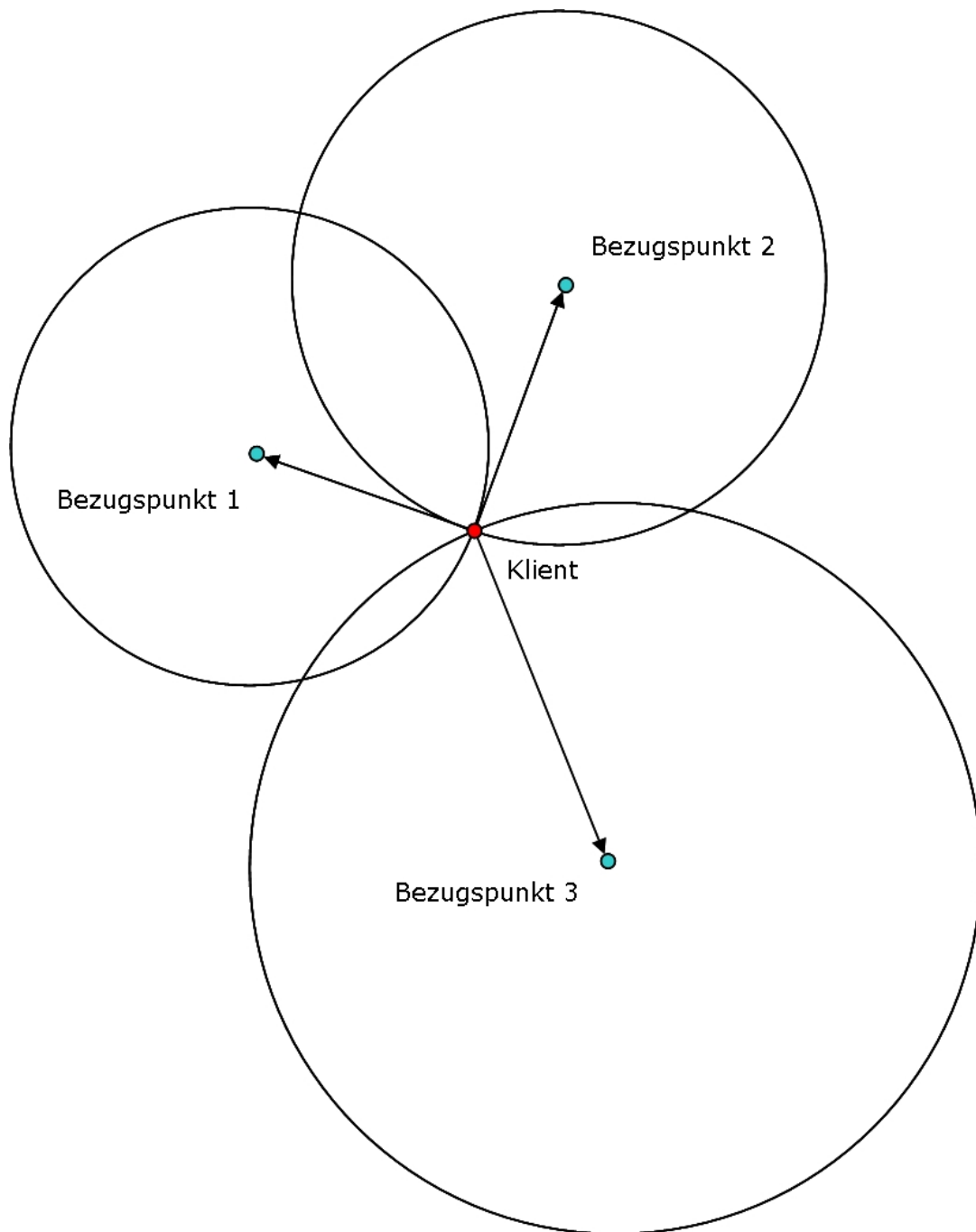


Abbildung 1: 2D-Positionierung mit Hilfe von Lateration

2.1.1 Signallaufzeit

Bei der Messung der Signallaufzeit t_i wird die Entfernung des Klienten r_i von einem Bezugspunkt über die Laufzeit eines sich mit bekannter Geschwindigkeit v_s fortbewegenden Signals ermittelt. Von entscheidender Bedeutung dabei sind zwischen dem Sender und Empfänger synchronisierte Uhren. Stehen diese zur Verfügung, läßt sich die Entfernung wie folgt berechnen:

$$r_i = t_i \cdot v_s \quad (2)$$

Stehen solche Uhren nicht zur Verfügung, läßt sich die Signallaufzeit t_i über die Rundenzeit (engl. round-trip-time / RTT) des Signals ermitteln. Hierzu wird die Zeit gemessen, die ein Signal für den Weg zum Bezugspunkt hin und wieder zurück benötigt. Dabei ist es allerdings immanent wichtig, die Zeit t_v , die der Empfänger zur Verarbeitung des Signals bis zum Senden einer Antwort benötigt, mit in die Berechnung einzubeziehen. Ein prominentes Beispiel für die Verwendung eines solchen Systems ist das bei Schiffen eingesetzte Sonar, bei dem aus der Laufzeit ausgesandter Schallwellen auf die Entfernung von Objekten geschlossen wird. Dabei ist durch die direkte Reflexion die Verarbeitungszeit Null.

$$r_i = \frac{(t_i - t_v)}{2} \cdot V_s \quad (3)$$

Eine weitere Alternative, bei der nur die Uhren der Bezugspunkte synchronisiert sein müssen, bietet das Laufzeitdifferenz-Verfahren. Der Klient kann hier jeweils zwischen zwei Bezugspunkten den Laufzeitunterschied (engl. differential-time-of-arrival / DTOA) bestimmen. Hieraus ergeben sich hyperbolische Kurven, auf denen sich der Klient befinden muß. Durch den Schnitt dreier solcher Kurven läßt sich die Position des Klienten eindeutig ermitteln.

2.1.2 Signalstärke

Die Entfernung über die Abschwächung eines ausgesendeten Signals zu berechnen gestaltet sich um einiges schwieriger. Wichtig hierbei ist, daß ausreichend präzise Daten über das Verlustverhalten des jeweiligen Signals in der zu erwartenden Umgebung vorhanden sind. Während es für den Außenbereich und bei freier Sicht zwischen Sender und Empfänger noch gut funktionierende mathematische Modelle gibt, die eine Approximation der Entfernung aus gemessenen Signalstärken zulassen,

herrschen bei Installationen im Inneren von Gebäuden vollkommen andere Voraussetzungen. Hier müssen neben dem Verlust den das Signal auf dem direkten Weg vom Sender zum Empfänger zum Beispiel durch Wände, Personen oder andere Hindernisse erfährt, zusätzlich noch weitere Effekte beachtet werden. Besonders zu nennen ist hier die Mehrwegeausbreitung (engl. multipath propagation), die auch mit guten Ausbreitungsmodellen nur schwer vorherzusagen ist [12]. Daher ist es bei jeder neuen Installation eines Systems, das Signalstärken zur Ermittlung der Entfernungen verwendet notwendig, das verwendete Ausbreitungsmodell zu überprüfen und bei Bedarf an die aktuellen Gegebenheiten anzupassen. Dies kann unter Umständen auch noch im laufenden Betrieb notwendig werden, wenn sich charakteristische Eigenschaften der Umgebung ändern.

$$\Delta S = 32.4 + 20 \cdot \log(F) + 20 \cdot \log(R_i) \quad (4)$$

Hier sehen wir ein Modell für die Signalabschwächung im Freien. Dabei ist F die Signalfrequenz in MHz und R_i die Entfernung in Kilometern.

2.2 Angulation

Der Bestimmung der Position eines Klienten mit Hilfe der Angulation gestaltet sich ähnlich wie schon bei der Lateration. Hier werden nicht die Entfernung sondern der Winkel zwischen einem Vergleichsvektor, zum Beispiel der magnetischen Nordrichtung, und dem vom Klienten an einem Referenzpunkt ankommenden Signal gemessen. Anhand zweier so gewonnener Werte läßt sich über einen Geradenschnitt die Position des Klienten errechnen. Dabei sind in der Ebene zwei Winkelmessungen notwendig, im Raum wird zusätzlich eine Azimuth-Messung eines dritten Vergleichspunktes benötigt.

2.3 Szenenanalyse

Ein weiteres interessantes Verfahren zur Positionsbestimmung bietet sich mit der Szenenanalyse (engl. scene analysis). Hierbei wird die Position des Klienten anhand von aktuell erfassten Umgebungsdaten ermittelt. Generell sind dabei alle Arten von Datenquellen möglich, sofern diese sich in verschiedenen Positionen charakteristisch unterscheiden. Gängige Verfahren sind zum Beispiel die Erfassung von Signalstärken verschiedener Referenzsender, die Aufnahmen von Kameras oder die Vermessung

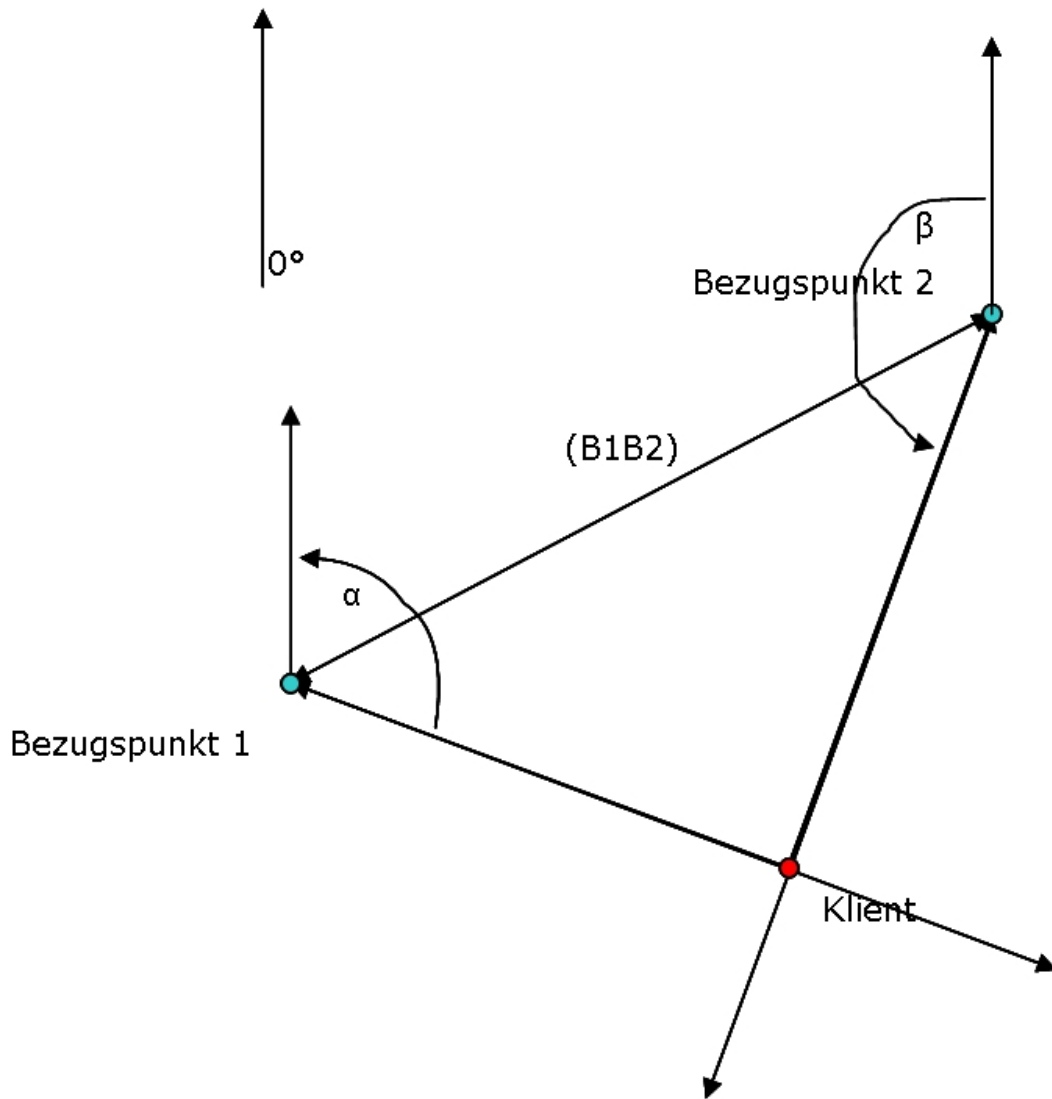


Abbildung 2: 2D-Positionierung mit Hilfe von Angulation

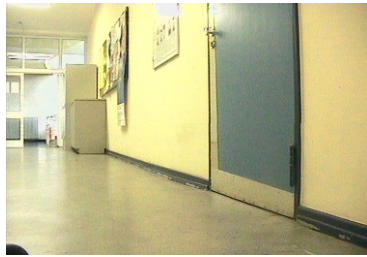


Abbildung 3: Aufgenommenes Kamerabild



Abbildung 4: Analysiertes Kamerabild

der Umgebung mit Ultraschall. Die Szenenanalyse läßt sich dabei in verschiedene Teilverfahren unterteilen.

2.3.1 Statische/differentielle Szenenanalyse

Bei der statischen Szenenanalyse wird auf die aktuelle Position anhand einzelner Momentaufnahmen der aktuellen Umgebung geschlossen. Diese werden analysiert und lassen so Rückschlüsse auf die Position des Klienten zu.

Im Gegensatz dazu steht die differentielle Szenenanalyse, bei der anhand der Unterschiede zwischen aufeinander folgenden Aufnahmen Rückschlüsse auf die Position des Klienten gezogen werden. Obwohl dieses Verfahren generell aufwendiger in der Umsetzung ist, bietet es den entscheidenden Vorteil, zusätzlich zu den Positionsdaten auch Informationen über Bewegungen des Klienten zu liefern.

2.3.2 Benötigte Daten

Weiterhin läßt sich die Szenenanalyse in Bereiche mit unterschiedlichen Voraussetzungen bezüglich der benötigten Daten unterteilen. Bei der optischen Szenenanalyse läßt sich zum Beispiel durch in Blickrichtung des Klienten stehende bekannte Objekte auf dessen momentane Position schließen. Dazu müssen diese Objekte mit einer Mustererkennungssoftware erkannt werden, ihre Positionen müssen in einer Datenbank hinterlegt sein und der Klient muß die Möglichkeit haben, diese Datenbank abzufragen.

Möglich wäre auch eine Erkennung charakteristischer Merkmale von Positionen, in Gebäuden zum Beispiel an Türen stehende Raumnummern. Hier wäre eine Positionsbestimmung auch ohne zusätzliche Daten möglich.

2.3.3 Fingerprinting

Ebenfalls möglich ist eine Bestimmung der Position über das sogenannte Fingerprinting. Hierbei werden aktuell gemessene Umgebungsdaten, etwa die Signalstärke verschiedener Signalquellen, mit einer vorher angelegten Referenzdatenbank verglichen und so die aktuelle Position ermittelt. Die Datenbank enthält dabei im Vorfeld aufgenommene Datensätze an verschiedenen Referenzpunkten innerhalb des abzudeckenden Areals. Wichtig ist bei dem Aufbau einer solchen Datenbank, spezifische Eigenschaften des verwendeten Signals, also zum Beispiel das Problem der Mehrwegausbreitung bei Radiowellen innerhalb von Gebäuden zu beachten und diese über Mehrfachmessungen oder statistische Verfahren zu kompensieren [8].

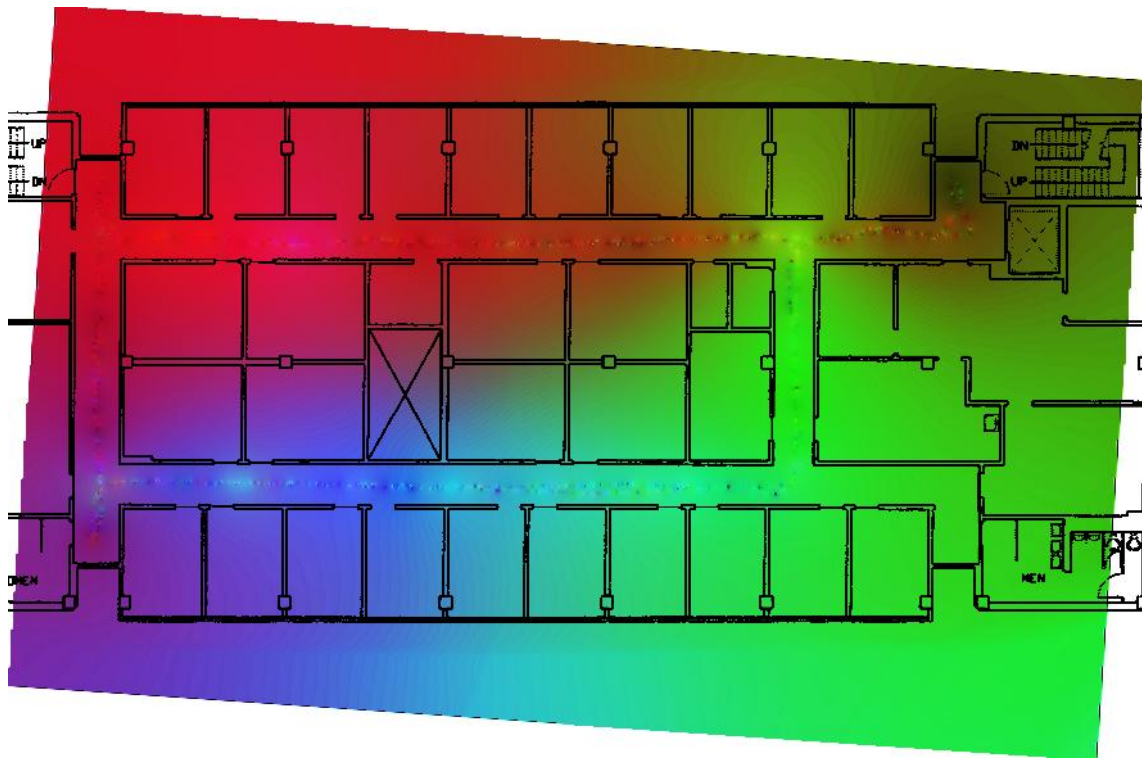


Abbildung 5: Positionierung mit Hilfe von Fingerprinting und einer Signallandkarte

2.4 Proximity

Die wohl intuitivste Möglichkeit der Positionierung wird beim Nachbarschafts-Verfahren ausgenutzt. Dabei erkennen angebrachte Sensoren die Annäherung eines Klienten und melden diese an eine zentrale Instanz. Da die Positionen der Sensoren bekannt sind, läßt sich so auf die Position des Klienten schließen. Die Art der Sensoren kann hierbei sehr stark variieren. Möglich sind zum Beispiel Wireless-Lan Access Points, die Klienten in ihrem Bereich erkennen und melden können. Dies erlaubt je nach Reichweite eine Positionsbestimmung im Umkreis von zehn bis 50 Metern in Gebäuden und ca.300 Metern im Freien. Der große Vorteil eines solchen Systems ist dabei, daß keine besonderen Änderungen an der Hard- und Firmware vorgenommen werden müssen und auch keine Softwareinstallation auf den Klienten notwendig ist. Eine weitere Möglichkeit ist die Erkennung von physischem Kontakt, etwa durch Drucksensoren im Boden, Türkontakten oder Wärmesensoren. Diese erlauben bei entsprechend hoher Dichte eine sehr genaue Positionsbestimmung, bieten aber im Allgemeinen keine Möglichkeit zwischen einzelnen Klienten dauerhaft zu unterscheiden. Ein weiterer Nachteil solcher Systeme sind die mitunter extrem hohen Kosten für die Installation.

Zu guter Letzt lassen sich auch Kreditkartenterminals, Zugangskontrollen oder Bankautomaten zur Positionsbestimmung hervorragend einsetzen, da bei diesen wie bei den anderen Sensoren ebenfalls die Position bekannt ist und zusätzlich dazu auch die Identität des Klienten leicht ermittelt werden kann.



Abbildung 6: EC-Karten Terminal



Abbildung 7: Zugangskontroll-Tokens

3 Merkmale konkreter Implementierungen

Nachdem nun die grundsätzlichen Verfahren zur Positionsbestimmung dargelegt wurden, folgen jetzt einige Merkmale konkreter Implementierungen, die zur Klassifizierung und zum Vergleich bestehender und neuer Systeme herangezogen werden können [5].

1. Art der Positionsbestimmung:

Die Art der Positionsbestimmung unterteilt sich in die zwei Bereiche der symbolischen und der absoluten Positionierung. Wird die ermittelte Position innerhalb eines Koordinatensystems oder Rasters angegeben und ist somit direkt zugreifbar, so handelt es sich um eine absolute Position. Im Gegensatz dazu hat eine symbolische Position eher beschreibenden Charakter, also etwa „neben der Kaffeemaschine“ oder „zwei Räume den Gang entlang“. Außerdem sind auch noch relative Positionsangaben möglich, hierbei wird die ermittelte Position bezogen auf einen Bezugspunkt angegeben, etwa „sechs Meter nördlich vom Access Point“.

2. Installationsaufwand / Kosten:

Kosten und Installations- beziehungsweise Wartungsaufwand stellen ebenfalls ein entscheidendes Charakteristikum vieler Positionierungssysteme dar. Während einige Systeme Ad-Hoc mit einem Netz günstiger mobiler Knoten funktionieren und somit leicht ausgebracht werden können, gibt es andere Systeme wie zum Beispiel GPS, bei denen enorme Investitionen und Aufwendungen vor der Inbetriebnahme notwendig sind. Zusätzlich muß auch beachtet werden, ob das System zentrale Rechenkapazitäten benötigt und inwieweit die Hardware allgemein verfügbar ist.

3. Benötigte Daten:

In engem Zusammenhang mit dem Installations- und Wartungsaufwand stehen die benötigten Daten. Hierbei kann zwischen Systemen unterschieden werden, die die Position anhand weniger Referenzpunkte ermitteln und solchen die zusätzlich stets eine aktuelle Datenbasis mit Vergleichs- und Umgebungsdaten benötigen. Erstere lassen sich dabei relativ einfach durch das Ausbringen neuer Referenzpunkte erweitern, sofern die Kapazitäten vorhanden sind. Bei Letzteren dagegen sind sowohl bei der Erweiterung des Systems als auch im Betrieb Updates der Datenbasis notwendig.

4. Infrastruktur- / Endgeräte-basierte Systeme:

Ein weiterer wichtiger Punkt gerade im Bezug auf zukünftige Anwendungsmöglichkeiten ist die Frage, wo die Positionsbestimmung oder -berechnung durchgeführt wird. Die zwei Möglichkeiten sind hier einerseits Infrastruktur-basierte Systeme, bei denen die Messung der Daten, die Berechnung der Position oder beides im Bereich der Infrastruktur erfolgt. Andererseits können die Messung der Umgebungsdaten und die Berechnung auch auf dem Klienten erfolgen oder eine Kombination beider Verfahren ist möglich.

5. Anonymität:

Besonders wichtig gerade für den Erfolg kommerzieller Systeme ist die Akzeptanz der Benutzer. Diese wird maßgeblich von einem weiteren wichtigen Unterscheidungsmerkmal beeinflusst, der Anonymität. Eng zusammenhängend mit dem Ort der Datensammlung und Positionsbestimmung ist die Anonymität eine Frage des Systemdesigns. Während bei hybriden Systemen sowohl der Klient als auch die Infrastruktur Einfluß auf die ermittelten Daten haben, bieten rein Infrastruktur-basierte Systeme nur ein geringes Maß an Anonymität und ein nicht zu unterschätzendes Potential für Mißbrauch. Die in diesem Bereich klar zu bevorzugenden Klienten-basierten Systeme haben wiederum den erheblichen Nachteil, daß bei ihnen der Dienstanbieter nur sehr beschränkten Einfluss auf die Verfügbarkeit des Dienstes für einzelne Nutzer nehmen kann.

6. Bedarfsgesteuerte / Permanente Positionierung:

Als nächstes Unterscheidungsmerkmal bestehender Systeme sollte im Zuge der Anonymität auch die Verfügbarkeit der Positionierung erwähnt werden. Hier muß generell zwischen Systemen unterschieden werden, die die Position des Klienten permanent ermitteln, und solchen, die selbiges nur auf Anfrage tun.

7. Skalierbarkeit:

Der gerade für große Installationen wichtige Punkt der Skalierbarkeit ist ein mit Blick auf den späteren kommerziellen Einsatz ebenfalls wesentlicher Aspekt. Während einige Positionierungssysteme kaum für den großflächigen Einsatz oder hohe Nutzerzahlen geeignet sind, gibt es andere die in beiden Fällen hervorragend skalieren und sich so wesentlich besser erweitern lassen.

8. Genauigkeit / Zuverlässigkeit:

Das nächste Merkmal der verschiedenen Systeme ist die Genauigkeit der Positionsbestimmung. Diese wird meist mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit

als Zuverlässigkeitsindikator angegeben. Es wird also ermittelt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein System eine vorgegebene Genauigkeit erreicht.

9. Medium / Verfahren:

Zu guter Letzt seien als Unterscheidungskriterien noch das Verwendete Medium sowie das Verfahren genannt. Auch hier gibt es unzählige Varianten von Systemen - von Infrarot über Ultraschall bis hin zu elektromagnetischen Wellen unter Verwendung sämtlicher genannter Positionierungsverfahren.

4 Einige Beispielsysteme

Nachfolgend wird nun eine kleine Übersicht über aktuell in der Entwicklung und am Markt befindliche Systeme geben und versucht diese nach den eben aufgeführten Kriterien einzuordnen.

4.1 E911

E911 ist eine von der „Federal Communications Commission“ der Vereinigten Staaten ins Leben gerufene Gesetzesinitiative, die alle Anbieter von mobilen Sprachdiensten dazu verpflichtet, einen Notruf an die nächste Notrufzentrale weiterzuleiten und außerdem eine Positionsbestimmung des Anrufenden mit einer Genauigkeit von 300m für Infrastruktur- und 150m für Endgeräte-basierte Systeme in 95% aller Fälle zu garantieren. Diese Auflagen stellen für die Netzbetreiber einerseits eine enorme Herausforderung dar, bieten aber andererseits auch große Chancen für neue Geschäftsmodelle und Angebote. Die dabei zum Einsatz kommenden Verfahren sind im Falle von GSM-Netzen zum Beispiel die Lateration oder Triangulation oder auch einfachere Proximity-Verfahren [3].

4.2 SpotOn

SpotOn ist eines der wenigen Ad-Hoc Positionierungssysteme. Sämtliche sensorischen und Berechnungsaufgaben werden von den Klienten selbst übernommen. Diese bestimmen dabei ihre Position über Lateration anhand der Signalstärke des verwendeten 916,5 MHz-Signals. Je nachdem, ob die absolute Position einiger Klienten bekannt ist, lassen sich so präzise absolute Positionen berechnen. Sind keine Referenzpositionen bekannt, so ist immer noch eine relative Positionsbestimmung

möglich. Des Weiteren steigt mit der Dichte der Klienten auch die Genauigkeit der Positionsbestimmung [6].

1. symbolisch / absolut
2. niedrige Kosten / keine Installation
3. keine externen Daten notwendig
4. Endgeräte-basiert
5. Anonym
6. OnDemand
7. sehr gut erweiterbar
8. ca. 1m genau, je nach Dichte der Klienten
9. Funk / Lateration

4.3 Easy Living

Easy Living wurde von Microsoft Research entwickelt und ist ein System, das mit Digiclops Stereokameras arbeitet und die Positionsbestimmung durch Bildanalysen erreicht. Probleme bei diesem Ansatz sind vor allem die zur Bildverarbeitung und -analyse erforderliche hohe Rechenleistung und der psychische Streß, der durch permanente Kameraüberwachung entstehen kann [2].

1. symbolisch
2. hohe Kosten / Installation von Kameras und leistungsfähiger Server
3. Bildmusterdaten notwendig
4. Infrastruktur-basiert
5. Anonym / Identifizierend
6. permanent

7. schlecht erweiterbar
8. sichere pro Raum Positionierung
9. Kameras / Szenenanalyse

4.4 RADAR

RADAR ist ein weiteres von Microsoft Research entwickeltes System zur Indoor-Positionsbestimmung mit Hilfe konventioneller Wireless LAN Hardware. Es wurden zwei verschiedene Versionen von RADAR entwickelt. Die Erste benutzt zur Positionsbestimmung eine vorher aufgenommene „Signal-Landkarte“, also eine Datenbank mit rasterförmig gemessenen Vergleichswerten. Dieses Verfahren wird wie bereits erwähnt Fingerprinting genannt. Die Zweite nutzt Lateration und verwendet zur Entfernungsmessung die Signalstärke sowie die Signal-to-Noise Rate [1].

1. absolut
2. niedrige Kosten / hoher Aufwand zur Erstellung der Datenbasis
3. Referenzsignaldatenbank notwendig
4. Infrastruktur-basiert
5. Identifizierend
6. permanent
7. schlecht erweiterbar
8. ca. 3m / 95%
9. 802.11b WLAN / Fingerprinting

4.5 Cricket

Cricket ist ein System, das ähnlich wie Active Badges mit am Körper getragenen Tags und an den Wänden montierten Sendern funktioniert. Diese senden nach Aufforderung durch den Klienten, die per Funk erfolgt, ein Schallsignal aus. Der Klient

bestimmt dann aus den Signallaufzeiten seine aktuelle Position. Sämtliche Berechnungen der Laufzeiten und der Position werden vom Klienten selbst erledigt. Wurde nur das Signal eines Senders empfangen, so ist statt der Lateration immer noch eine Positionsbestimmung über Proximity möglich [11].

1. absolut / symbolisch
2. hohe Kosten / Installation mehrerer Sender pro Raum
3. Zuordnung von Sensoren zu Räumen für symbolische Positionierung
4. Endgeräte-basiert
5. Anonym
6. OnDemand
7. schlecht erweiterbar
8. sichere pro Raum Positionierung
9. Ultraschall / Lateration

4.6 GPS

GPS ist das momentan wohl am weitesten verbreitete Outdoor-Positionierungssystem. Es arbeitet mit 24 geostationären Satelliten und verwendet zur Positionsbestimmung Lateration. Dabei strahlen die Satelliten permanent ein synchronisiertes Signal mit Daten zu ihrer eigenen Flugbahn, Identifikation und Zeit aus. Dieses Signal wird mit einem für jeden Satelliten jeweils charakteristischen Schlüssel codiert. Der Empfänger kann nun anhand der Daten von mindestens vier verschiedenen Satelliten über die Signallaufzeit seine aktuelle Position im Raum berechnen. Stehen nur die Daten von drei Satelliten zur Verfügung, ist unter Umständen trotzdem noch eine dreidimensionale Positionsbestimmung möglich, sofern eine der sich ergebenden zwei Positionen logisch ausgeschlossen werden kann (z.B. falls diese im All liegt). [9].

1. absolut
2. hohe Kosten / 24 Satelliten werden benötigt

3. keine Datenbank notwendig
4. Endgeräte-basiert
5. Anonym
6. permanent
7. unbegrenzte Anzahl von Klienten
8. 1-5m / 95-99%
9. Funk / Lateration

4.7 AGPS

Assisted GPS (AGPS) ist eine relativ neue Variante von GPS bei der dem Klienten neben den Satelliten noch eine Netzwerkinfrastruktur am Boden zur Verfügung steht. Diese besteht aus einem oder mehreren Servern, eigenen GPS-Empfängern und einer entsprechenden Infrastruktur zum Transport der Daten zwischen den Servern, den Empfängern und dem Klienten. Durch die eingebundenen stationären GPS-Empfänger und die ungefähre Position des Klienten, die durch AP-Monitoring ermittelt wird, kann der Server bestimmen welche Satelliten der Klient aktuell empfängt und wie deren Signale aussehen. Durch diese Informationen kann sich der Klient wesentlich schneller auf die Satellitensignale einstellen und ist außerdem in der Lage auch sehr schwache Signale noch als solche zu erkennen. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, daß die Uhr des Empfängers nicht mehr mit den Uhren der Satelliten synchronisiert werden muß. Es reicht aus, wenn der Empfänger Pseudodifferenzen mit seiner Uhr ermittelt. Diese werden dann dem Server übergeben, der die genaue Positionsbestimmung vornimmt [4].

1. absolut
2. hohe Kosten / Netzwerkinfrastruktur, Server und GPS werden benötigt
3. keine zusätzlichen Daten notwendig
4. Infrastruktur- / Endgeräte-basiert
5. Identifizierend

6. OnDemand
7. erweiterbar
8. Genauigkeit in etwa wie bei GPS, auch in Gebäuden
9. Funk / Lateration



Abbildung 8: Schema eines AGPS-Systems [7]

4.8 Active Badge

Active Badge war eines der ersten Indoor-Positionierungssysteme überhaupt. Es wurde von AT&T Cambridge entwickelt und arbeitet mit am Klienten befestigten

Infrarot-Sendern(engl. Badges). Diese strahlen alle zehn Sekunden oder bei Bedarf ein eindeutiges Signal aus, das von stationär an den Wänden montierten Sensoren erkannt und an einen zentralen Server gemeldet wird. Hier kann anhand der Sensor-ID eine symbolische Positionsbestimmung vorgenommen werden. Durch das Verwenden von Infrarotlicht hat dieses System auch alle damit verbunden Schwächen, vor allem die Empfindlichkeit gegenüber Neon- und direktem Sonnenlicht [13].

1. symbolisch
2. niedrige Kosten / Installation von Sensor pro Raum
3. Zuordnung von Sensoren zu Räumen für symbolische Positionierung
4. Infrastruktur-basiert
5. Identifizierend
6. permanent
7. gut erweiterbar
8. sichere pro Raum Position
9. Infrarot / Proximity



Abbildung 9: Active Badges



Abbildung 10: Easy Living

4.9 Active Bats

Active Bats ist ein ebenfalls von AT&T entwickeltes Indoor-Positionierungssystem und als Nachfolger von Active Badge zu sehen. Ähnlich wie auch dort wird am Klienten ein Emitter befestigt, der nach einer Aufforderung durch eine Basisstation ein Ultraschall-Signal aussendet. Parallel zum Senden der Aufforderung schickt die Basisstation ein synchronisiertes Reset-Signal an ein an den Wänden des Raumes verteiltes Sensor-Netz. Jeder Sensor mißt dann die Zeit zwischen dem Reset und dem Eintreffen des Ultraschallsignals (Signallaufzeit). Aus den so gewonnenen Entfernungsdaten läßt sich die Position des Emitters im Raum errechnen. Damit ist das System das genaue Gegenteil zum bereits erwähnten Cricket-System.

1. absolut
2. hohe Kosten / Installation mehrerer Sender pro Raum + Server
3. Zuordnung Sensor=;Raum für symbolische Positionierung
4. Infrastruktur-basiert
5. Identifizierend
6. OnDemand
7. schlecht erweiterbar
8. 9x9cm / 99%
9. Ultraschall / Lateration

4.10 SmartFloor

Smart Floor ist ein von GeorgiaTech entwickelt System zur Positionsbestimmung von Personen durch physischen Kontakt. Es arbeitet mit im Boden eingelassenen Drucksensoren. Dadurch kann je nach Dichte der verteilten Sensoren eine sehr genaue Positionsbestimmung durchgeführt werden. Allerdings ist der Aufbau eines solchen System mit hohen Kosten und sehr viel Aufwand verbunden. Eine weitere Herausforderung bei einem solchen System stellt die Identifikation der Benutzer dar, da das System keine identifizierenden Merkmale außer dem Schrittverhalten zur Verfügung hat [10].

1. absolut
2. hohe Kosten / Installation der Sensoren im Fußboden
3. Position der Sensoren
4. Infrastruktur-basiert
5. Anonym
6. permanent
7. schlecht erweiterbar
8. je nach Sensorgrid
9. Drucksensoren / Proximity

Weitere Positionierungssysteme, die hier nicht aufgeführt wurden aber dennoch erwähnenswert sind, sind zum einen Beep, ein mit hörbarem Schall arbeitendes System, PlaceLab, ein ambitioniertes Projekt mit Ziel der Positionsbestimmung über öffentlich zugängliche und allgemein verfügbare Infrastrukturen, sowie Galileo, das in naher Zukunft die europäische Alternative zu GPS werden soll.

5 Fazit

Obwohl viele der hier vorgestellten Systeme sich noch im Forschungsstadium befinden und auf bestimmte, eng begrenzte Szenarien zugeschnitten sind, läßt sich eine enorme Anstrengung feststellen, solche Systeme in Zukunft wirklich marktauglich zu machen. Auch auf der Anwendungsseite entwickeln sich zunehmend viel versprechende Ideen zur Nutzung umfassender und präziser Positionierungssysteme. Wegen der hohen Forschungsaktivität gerade auf dem attraktiven Sektor der Indoor-Positionierungssysteme ist damit zu rechnen, daß es in 10-15 Jahren möglich sein wird immer und überall seine genaue Position angezeigt zu bekommen, kontextbezogene Informationen zu erhalten aber leider eventuell auch überwacht zu werden. Die neuen Möglichkeiten bieten also neben den enormen Chancen auch hohe Risiken. Wie jeder einzelne damit umgehen möchte, bleibt ihm natürlich selbst überlassen.



Abbildung 11: Das SmartFloor Positionierungssystem

Literatur

- [1] Paramvir Bahl and Venkata N. Padmanabhan. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. In *Proceedings of IEEE Infocom*, volume 2, pages 775–784, Tel Aviv, March 2000. IEEE.
- [2] Barry Brumitt, Brian Meyers, John Krumm, Amanda Kern, and Steve Shafer. Easyliving: Technologies for intelligent environments. In *Second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pages 12–27, September 2000.
- [3] Federal Communications Commission.
- [4] Goran M. Djuknic and Robert E. Richton. Geolocation and assisted gps. *Computer, IEEE Computer Society Press*, 34(2):123–125, February 2001.
- [5] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello. A survey and taxonomy of location systems for ubiquitous computing. UW CSE 01-08-03, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, August 2001.
- [6] Jeffrey Hightower, Roy Want, and Gaetano Borriello. Spoton: An indoor 3d location sensing technology based on rf signal strength. UW CSE 00-02-02, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, February 2000.
- [7] SnapTrack Inc. Assisted gps - technology overview.
- [8] Kamol Kaemarungsi and Prashant Krishnamurthy. Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting.
- [9] Elliott Kaplan. *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House, Incorporated, second edition, December 2005.
- [10] Robert J. Orr and Gregory D. Abowd. The smart floor: A mechanism for natural user identification and tracking.
- [11] Nissanka Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan. The cricket location-support system.

- [12] Theodore S. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall PTR, second edition, December 2001.
- [13] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao, and Jonathon Gibbons. The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems*, 10(1):91–102, January 1992.