



Einsatz von Location Based Services (LBS) als Navigationshilfe: Integration in moderne Navigationssysteme

Günther Retscher ¹

¹ *Institut für Geodäsie und Geophysik, Abteilung Angewandte Geodäsie und
Ingenieurgeodäsie, Technische Universität Wien, Gusshausstrasse 27-29, A-1040
Wien, Österreich*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **90** (1), S. 2–12

2002

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Retscher_VGI_200201,  
  Title = {Einsatz von Location Based Services (LBS) als Navigationshilfe:  
          Integration in moderne Navigationssysteme},  
  Author = {Retscher, G{"u"}nther},  
  Journal = {VGI -- {"0"}sterreichische Zeitschrift f{"u"}r Vermessung und  
            Geoinformation},  
  Pages = {2--12},  
  Number = {1},  
  Year = {2002},  
  Volume = {90}  
}
```





Einsatz von Location Based Services (LBS) als Navigationshilfe: Integration in moderne Navigationssysteme

Günther Retscher, Wien

Zusammenfassung

Unter Location Based Services (LBS) werden Dienste der Mobilfunkbetreiber verstanden, die im Zusammenhang mit einer kontinuierlichen Positionierung von Mobiltelefonen stehen. Dadurch entsteht die Möglichkeit, viele neue Dienste, die eine Positionierung und einen kontinuierlichen Ortsbezug erfordern, anzubieten, wie z.B. die Navigation und Zielführung mit mobilen Stadtführern am Mobiltelefon und die Abfrage und Ortsbestimmung von nächstgelegenen Serviceeinrichtungen wie z.B. Geschäfte, Hotels, Restaurants, usw. Aufgrund dieser Möglichkeiten entstand die Idee, die LBS auch als zusätzliche Positionierungsmethode in moderne Navigationssysteme zu integrieren, um eine höhere Zuverlässigkeit für die kontinuierliche Positionsbestimmung zu erreichen. Da die absolute Positionierung in den meisten Navigationssystemen auf GPS basiert, erscheint vor allem im Stadtgebiet die Einbeziehung einer alternativen Positionierungsmethode als sinnvoll. In einer Pilotstudie im Rahmen eines internationalen Forschungsprojektes wurde die Integration der LBS in modernen Fahrzeugnavigations- und Verkehrsleitsysteme untersucht und anhand von Simulationsrechnungen getestet. In diesem Beitrag werden vorerst die grundlegenden Prinzipien der Positionierung mit Mobiltelefonen vorgestellt, um im Anschluss das Genauigkeitspotential und die Leistungsfähigkeit näher zu untersuchen sowie deren Integration in Navigationssystem zu testen.

Abstract

Location Based Services are new services offered by cellular or mobile phone network providers enabling a wide range of wireless applications that utilise location information. The services deliver information about the geographic location of mobile telecommunications devices (e.g. cellular or mobile phones). Examples for such services include mobile city guides, location dependent enquires in yellow pages or other directories, etc. Due to their potential for continuous position determination an integration of LBS services into modern navigation systems seems to be feasible. As in most navigation systems the absolute position determination is based on the use of GPS, an integration of an additional position service would improve the reliability of continuous position determination. In a case study conducted in an international research project the integration of LBS into intelligent vehicle navigation and transport systems was investigated using simulation calculations. Starting from a discussion of the principles of wireless location techniques, the performance and achievable positioning accuracies of wireless location methods are described and their integration in navigation system is discussed in this paper.

1. Anwendungen von Location Based Services (LBS)

Die Entwicklung von Methoden zur Positionsbestimmung von Mobiltelefonen wurde in den letzten Jahren hauptsächlich durch eine amerikanische Verordnung der U.S. FCC (Federal Communication Commission) vorangetrieben, wonach seit Ende 2001 die Verpflichtung besteht, dass bei einem Notrufgespräch (E-911) von einem Mobiltelefon zwingend die Position des Anrufers an die Notrufzentrale mitgeteilt werden muss. Ähnliche Vorschriften werden zur Zeit von der europäischen Telekommunikationsbehörde (ETSI European Telecommunications Standards Institute) diskutiert. Neben dieser Verpflichtung zur Lokalisierung von Notrufgesprächen können Dienste zur Positionierung von Mobiltelefonen für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden (siehe z.B. Drane et al. 1998, True Position 2001), u.a. zur Steigerung der Netzwerkeistung, ortsabhängigen Abrechnung

der Gespräche (Location Sensitive Billing), Fahrzeug- und Flottenmanagement, Auffindung gestohlener Fahrzeuge, Lokalisierung von Personen und Objekten. Bei diesen verschiedenen Anwendungen werden auch zum Teil sehr unterschiedliche Anforderungen an die erforderliche Positionierungsgenauigkeit gestellt. Zum Beispiel kann im Falle eines Notrufgesprächs vorerst eine sehr geringe Genauigkeit im Bereich von 10–35 km ausreichend sein, wenn es darum geht, den Notruf an die entsprechende Einsatzzentrale weiterzuleiten. Andererseits werden zur Führung der Einsatzkräfte an den Unfallort natürlich wesentlich höhere Positionierungsgenauigkeiten gefordert. Diese reichen von Genauigkeiten im Bereich von 25–150 m im Stadtgebiet bis zu 100–500 m im ländlichen Gebiet und auf Autobahnen (CGALIES 2001). Für die Erfüllung dieser verschiedenen Genauigkeitsforderungen stehen heutzutage bereits geeignete Methoden zur Verfügung bzw. befinden sich gerade in Entwicklung. Das Prinzip der wesentlichen Methoden zur

Positionsbestimmung mit dem Mobiltelefon wird im nachfolgenden Abschnitt behandelt.

2 Methoden für die Positionsbestimmung mit dem Mobiltelefon

Bei den Methoden für die Positionsbestimmung mit dem Mobiltelefon muss zunächst unterschieden werden, ob die Positionierung ausschließlich auf der Nutzung von Signalen des mobilen Telekommunikationsnetzes beruht oder ob externe Messgrößen (wie z.B. GPS) mitverwandt werden. Das Prinzip von einigen Verfahren beruht auf klassischen terrestrischen Navigationsverfahren, wobei im wesentlichen Distanzen und Distanzdifferenzen oder Richtungen (Azimut) und Winkel gemessen werden. Entscheidend ist auch die eingesetzte Architektur bzw. Anordnung der Positionsbestimmung, bei der festgelegt wird, wo die Messung und Berechnung der Positionslösung erfolgen soll.

2.1 Architekturen der Positionsbestimmung

Für die Positionsbestimmung einer Mobilstation stehen grundsätzlich drei mögliche Systemarchitekturen zur Verfügung (siehe z.B. Drane et al. 1998). Je nachdem, ob die Messung bzw. die Berechnung im Netzwerk oder Mobiltelefon stattfindet, spricht man von

- Network-based Positioning,
- Mobile-based oder Handset-based Positioning und
- Hybrid Positioning.

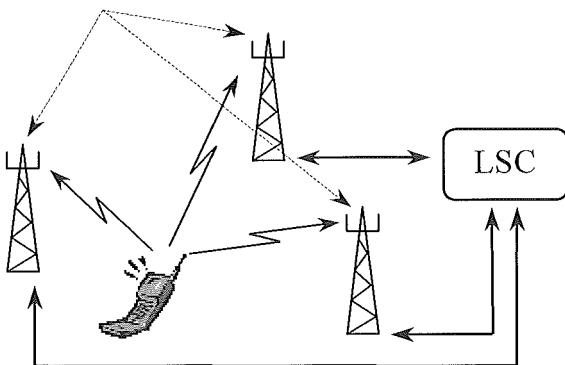
Die Auswahl der Architektur hängt einerseits von der gewünschten Anwendung der Positionsbestimmung und andererseits von Kriterien ab, die von der Architektur beeinflusst werden. Zu

diesen Kriterien zählen neben den Kosten für den Aufbau der notwendigen Infrastruktur, der Abdeckungsbereich im Mobilfunknetz und die Anzahl der Anwender deren Position gleichzeitig bestimmt werden kann. Abbildung 1 zeigt die ersten beiden Architekturen.

Bei Network-based Positioning wird die Aufgabe der Messung als auch der Berechnung vom Mobilfunknetz übernommen. Man bezeichnet diese Anordnung auch als Remote Positioning, wobei an verschiedenen Empfängern ein Signal des zu positionierenden Objektes empfangen und zur Messung herangezogen wird. In diesem Fall sendet das Mobiltelefon (bzw. Mobilstation MS) einen sog. TCH-Burst (Traffic Channel-Burst) über den Uplink-Kanal (Verbindung Mobilstation - Basisstation) aus. Die Abwicklung des Prozesses der Positionsbestimmung übernimmt das sog. Location Service Center (LSC) im Netzwerk. Für die Messung ist in der Regel eine genaue Zeitsynchronisation der Empfänger in den Basisstationen (Base Transceiving Stations BTS) erforderlich. Die bestimmte Position kann dann z.B. mit Hilfe einer SMS (Short Messages Service) an die Mobilstation übertragen werden. Bei dieser Architektur ist keine Modifizierung der Mobilstation notwendig, es müssen jedoch Modifikationen im Netz erfolgen, wie z.B. die Installation der LSC.

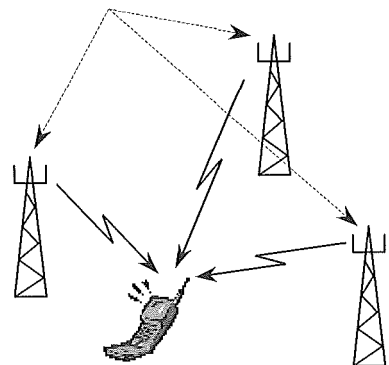
Im Unterschied dazu bestimmt beim Mobile-based (oder Handset-based) Positioning ein mobiler Empfänger seine Position aus Messungen von Signalen der Sendeanlagen bzw. Basisstationen. Dies ist eine Form von Self Positioning, wobei nun ein BCCH-Burst (Broadcast Control Channel-Burst) über den Downlink-Kanal (Verbindung Basisstation - Mobilstation) von den Basisstationen zeitsynchron ausgesendet werden

Synchronisierte Uhren



(a) Network-based Positioning

Synchronisierte Übertragung



(b) Handset-based Positioning

Abb. 1: Architekturen für die Positionsbestimmung

muss. Die Messung und Berechnung der Positionslösung erfolgt im Mobiltelefon. Damit bietet diese Architektur den Vorteil, dass für den Nutzer ein bestmöglicher Schutz im Hinblick auf die Geheimhaltung der Positionsdaten der Mobilstation gegeben ist. Es sind hier auch keine wesentlichen Änderungen der Infrastruktur des Mobilfunknetzes notwendig. Erweiterungen im Netzwerk beschränken sich auf Veränderungen, die eine zeitsynchrone Aussendung der Bursts an verschiedenen BTS ermöglichen. Weiters benötigt die Mobilstation die exakte Position aller beteiligten Basis- bzw. Referenzstationen, was mittels SMS erreicht werden kann. Auf der Seite der Mobilstation ist natürlich eine Hard- und Softwaremodifikation erforderlich. Man spricht auch von Handset-based Positioning, wenn anstelle der Nutzung der Signale des Mobilfunknetzes eine Positionierung mittels GPS oder eines anderen zivilen unabhängigen Global Navigation Satellite Systems (GNSS) erfolgt.

Bei der hybriden Positionierung werden die verschiedenen Aspekte der beiden anderen Architekturen kombiniert. Eine mögliche Konfiguration besteht darin, dass die Messung in der Mobilstation und die Berechnung der Positionslösung im LSC erfolgt. Der Datenaustausch erfolgt hier wiederum über SMS. Neben einer Modifikation der Mobilstation sind hier auch Adaptationen der Netzinfrastruktur notwendig. Der Bezeichnung „hybride Positionierung“ wird auch für eine Kombination verschiedener Positionierungsmethoden verwendet, z.B. für die Kombination der Positionierung mit GPS in der Mobilstation und anderen Verfahren in den vorhin beschriebenen Architekturen, und hat dann man der eingesetzten Architektur keinen direkten Zusammenhang.

2.2 Methoden der Positionsbestimmung

Ein Mobilfunknetz ist zellular aufgebaut, wobei eine Zelle dem Einflussbereich einer Basisstation entspricht. Die einfachste Form der Positionierung besteht nun darin, den Standort des Mobil-

telefons durch seine Lage in der jeweiligen Mobilfunkzelle anzugeben.

2.2.1 Angabe der Mobilfunkzelle

Jede Mobilfunkzelle ist durch seine Identifikationsnummer (engl. Cell ID) eindeutig gekennzeichnet. Diese Kennzahl wird im normalen Betrieb zur Identifikation der Verbindungsstelle zwischen der Mobilstation und dem Netzwerk genutzt. Die Koordinaten der jeweiligen Basisstation werden dann zur Angabe der Position in der zugehörigen Zelle herangezogen (siehe Abbildung 2). Die geographische Ausdehnung einer Zelle beschreibt jene Fläche, innerhalb welcher die Stärke des Sendesignals einer BTS (Basisstation) nicht unter einen gewissen Wert abfällt. In dichten Netzgebieten ist die Position der Mobilstation somit auf bis zu 100–150 m eingegrenzt. Im ländlichen Gebiet jedoch können die Zellen Radien bis zu 35 km erreichen.

Eine Verfeinerung und Eingrenzung der Zellfläche wird z.B. durch den Einsatz von sektorisierten Antennen erzielt. Es kann nun der Zellsektor angegeben werden (Abbildung 2 (b)). Wird zusätzlich noch die ungefähre Entfernung zur BTS über den sog. Timing Advanced (TA) Effekt BTS mit einer Genauigkeit von ca. 550 m bestimmt, ergibt sich als geometrischen Ort für die Lage der Mobilstation ein ringförmiges Kreissegment wie in Abbildung 2 (c) dargestellt. TA wird im normalen Mobilfunkbetrieb verwendet, um die regelmäßigen Zeitpunkte für die Aussendung der Kennungssignale von der MS an die BTS festzulegen, damit sie in einem bestimmten Zeitfenster an der BTS ankommen. Aufgrund der Signallaufzeit müssen die Signale früher von der MS ausgesendet werden, damit sie beim Öffnen des Zeitfensters auch an der BTS angelangt sind. Diese Zeitdifferenz für die Aussendung hängt vom Abstand zwischen der MS und BTS ab und ist somit ein Maß für die Entfernung (Ingensand et al. 2001). Über die Einbeziehung von zusätzlichen Informationen aus Datenbanken kann gegebenenfalls eine weitere Einschränkung der

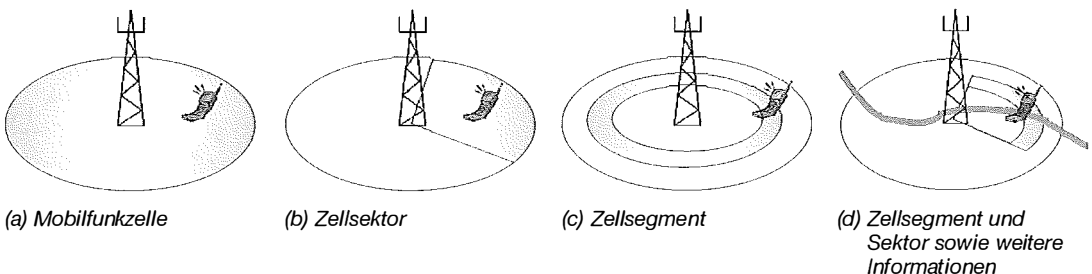
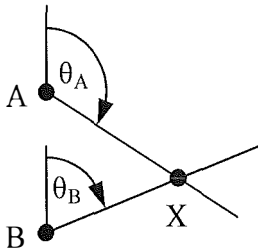
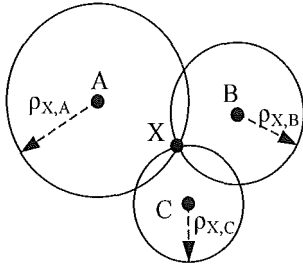


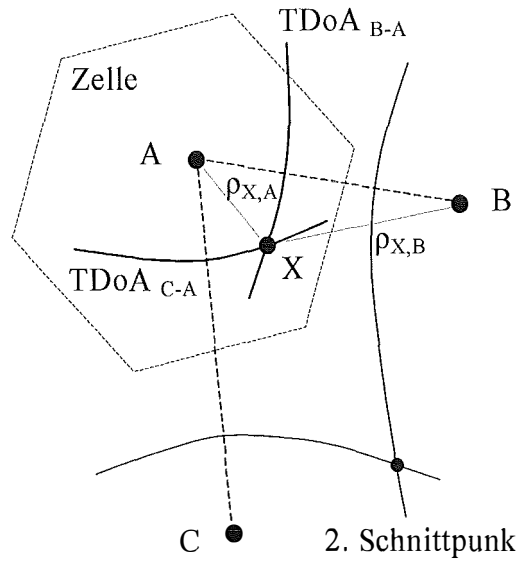
Abb. 2: Angabe der Mobilfunkzelle (Cell ID)



(a) Messung des Einfallswinkels (Angle of Arrival AoA)



(b) Laufzeitmessung des Signals (Time of Arrival ToA)



(c) Laufzeitdifferenzmessung (Hyperbel-schnittverfahren)

Abb. 3: Geometrisches Prinzip der Positionsbestimmung (Basisstationen A, B, C und Mobilstation X)

möglichen Lage der MS in der Zelle erfolgen, z.B. durch die Nutzung der Datenbank für die Planung des Mobilfunknetzes oder die Verwendung einer Straßendatenbank bei der Positionierung in einem Fahrzeug (vgl. Abbildung 2 (d)).

2.2.2 Messung der Signalstärke in der Mobilfunkzelle

Bei dieser Methode wird die Signalstärke des Übertragungssignals verwendet, um die Position der Mobilstation abzuleiten. Bei der Basisstation wird die Signalstärke gemessen und daraus die Entfernung zwischen MS und BTS abgeleitet. Zur Bestimmung der Position ist diese Messung auch auf den benachbarten Basisstationen auszuführen. Die Messung wird durch eine Vielzahl von Fehlern beeinflusst. In erster Linie sind das Fehler im Zusammenhang mit der Mehrwegausbreitung der Signale (Multipath), da die Feldstärkemessungen nicht zwischen der direkten Welle und reflektierten Signalen unterscheiden können. In Kombination mit der Angabe der Mobilfunkzelle (Cell ID) erzielt man Genauigkeiten im Bereich von 50–550 m im Stadtgebiet. Für dieses Verfahren wird auch die Bezeichnung Enhanced Cell Global Identity (E-CGI) verwendet.

2.2.3 Messung des Einfallswinkels

Die Position der MS kann durch Schnitt zweier Geraden ermittelt werden, wenn an mindestens zwei Basisstationen A und B die Richtungswinkel θ des Signals (engl. Angle of Arrival AoA) von der Mobilstation bestimmt werden (Abbildung 3 (a)). Zur Messung der Winkel werden an jeder Basisstation spezielle Empfangsantennen eingesetzt. Die komplexen Antennenfelder bestehen aus vier bis zwölf Antennen mit einem Abstand kleiner als der verwendeten Signalwellenlänge. Besteht keine direkte Sichtverbindung zwischen der BTS und der MS, kann es dazu kommen, dass der Richtungswinkel der letzten Reflektion des Signals anstelle des direkten Signals gemessen wird. Zu Positionsfehlern kommt es auch, wenn sich reflektierte Signale mit dem direkten Signal überlagern, wie es beim Auftreten von Multipath der Fall ist. Diese Fehler können nur mit hochentwickelten Korrekturmethode eliminiert bzw. reduziert werden.

2.2.4 Laufzeitmessung oder Laufzeitdifferenzmessung des Signals

Durch Messung der Signallaufzeiten können die Entfernungen zwischen der Mobilstation und benachbarten Basisstationen abgeleitet werden. Geometrisch betrachtet liegt die MS jeweils auf einem Kreis mit der BTS im Zentrum und einem Radius gleich der gemessenen Distanz (Abbildung 3 (b)). Um eine eindeutige Bestimmung der 2D-Position der MS durchführen zu können, muss an mindestens drei Basisstationen die Signallaufzeit gemessen werden. Damit ist man in der Lage, auch den Synchronisationsfehler der Uhr in der MS zu bestimmen. Für die Basissta-

tionen muss eine strenge Zeitsynchronisation vorausgesetzt sein. Diese sog. Time of Arrival (ToA) Methode entspricht also dem Grundprinzip der Pseudostreckenmessung bei GPS. Multipath-Effekte führen auch bei dieser Methode zu größeren Positionsfehlern.

Eine Verbesserung wird durch Messung der Laufzeitdifferenzen eines Signals an mehreren Stationen erzielt. Dieses Prinzip wird u.a. auch beim terrestrischen Radionavigationsverfahren LORAN-C angewendet. Linien konstanter Laufzeitdifferenz (bzw. Distanzdifferenz) sind geometrisch betrachtet Hyperbeln, wobei die beiden Basisstationen in den Brennpunkten liegen. Der Ort der Mobilstation wird aus dem Schnitt mehrerer Hyperbeln abgeleitet (vgl. Abbildung 3 (c)). Man unterscheidet prinzipiell zwei Verfahren in Abhängigkeit davon, ob das Ausgangssignal (Burst) von der Mobilstation (Uplink-Verfahren) oder von einer Basisstation (Downlink-Verfahren) ausgesendet wird. Die beiden Methoden werden bezeichnet als

- Time Difference of Arrival (TDoA) beim Uplink-Verfahren und
- Enhanced Observed Time Difference (E-OTD) beim Downlink-Verfahren.

Im Vergleich zur einfachen Distanzmessung (Time of Arrival ToA) liegt der Vorteil der TDoA Methode darin, dass der Uhrenfehler der MS eliminiert und eine Reduktion des Einflusses verschiedener Fehlerquellen, insbesondere der Fehleranteile der Atmosphäre, erfolgt. Die Methode Enhanced Observed Time Difference ist eine Erweiterung des einfachen Hyperbelverfahrens, bei der die Laufzeitdifferenz eines Signals einer BTS an der MS und einer Referenzstation mit bekannten Koordinaten (sog. Location Measurement Unit LMU) bestimmt wird. Der Uhrenfehler der Mobilstation kann dann durch Messung von drei Zeitdifferenzen von verschiedenen Basisstationen ermittelt werden. Der Vorteil des Verfahrens liegt in der verbesserten Leistungsfähigkeit und höheren Genauigkeiten für die Positionierung (CPS 2001). Es muss jedoch zusätzlich für jeweils 3-5 Zellen eine Referenzstation (LMU) im Netzwerk installiert werden. Die Berechnung der Positionslösung kann einerseits im Mobiltelefon (MS Based E-OTD) oder im Netzwerk (MS Assisted E-OTD) erfolgen. Davon hängt auch ab, ob für die Mobilstation nur eine Softwaremodifikation oder auch Änderungen in der Hardware erforderlich sind.

2.2.5 Kombination mit GPS

Die Integration von GPS kann im einfachsten Fall durch den Einbau eines GPS Moduls in das

Mobiltelefon erfolgen. Die Positionierung erfolgt dann vorerst unabhängig vom Mobilfunknetz. Probleme ergeben sich wie bei jeder GPS Positionierung im dicht verbauten Gebieten, wo es zu häufigen Abschattungen der Satellitensignale kommt. Bei Wireless Assisted GPS (A-GPS) können zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der Positionierung Zusatzinformationen über das Mobilfunknetz (z.B. Satellitenbahndaten, Hilfsdaten zur schnelleren Satellitenakquisition) bezogen werden. Die Berechnung der Positionen erfolgt dann wahlweise im Mobiltelefon oder im Netzwerk (Snaptrack 2001).

2.2.6 Nutzung von Multipath-Signalmustern

Wie bereits erwähnt, stellt die Mehrwegausbreitung der Funksignale (Multipath) bei allen anderen Methoden eine der Hauptfehlerursachen dar. Im Gegensatz dazu sollen in einem Ansatz der amerikanischen Fa. U.S. Wireless Corporation gerade die Multipath-Signale für eine Positionsbestimmung genutzt werden. Abbildung 4 zeigt schematisch die Arbeitsweise des sog. Multipath-Fingerprint Verfahrens (siehe USWT 2001). Dabei erfolgt die Positionsbestimmung der Mobilstation mit dem Radio Camera(tm) System und einem aufwendigen Template-Matching Verfahren (sog. Location Pattern Matching Technologie). Bei einem Anruf durch die MS wird ein Funksignal ausgesandt. Dieses Signal wird auf seinem Weg an Gebäuden bzw. anderen Objekten gestreut und reflektiert. Bei der Basisstation analysiert das Radio Camera(tm) System die einzigartigen Phasen- und Amplitudencharakteristiken des empfangenen Multipath-Signals und erstellt ein sogenanntes Signaturmuster. Das Signaturmuster wird anschließend mit Multipath-Mustern, die in einer Datenbank gespeichert sind, verglichen. Ähnlich dem bekannten Map Matching Verfahren (Kartenvergleichstechnik) bei Fahrzeugnavigationssystemen, wird aus der Überlagerung mit bekannten Multipath-Mustern die Position der Mobilstation durch das Template-Matching Verfahren bestimmt. Das Radio Camera(tm) System lernt die Signalmuster jeder neuen Positionsbestimmung und speichert sie in einer Datenbank. Diese Lernfähigkeit der Datenbank ist notwendig, um einerseits den Umfang der Positionsbestimmung des Systems zu erweitern, und um andererseits den laufenden Veränderungen der Umwelt (z.B. neue Gebäude) gerecht zu werden.

Für die Positionsbestimmung ist nur eine Basisstation und auch keine direkte Sicht zur Mobilstation erforderlich, was einerseits Vorteile bei größeren Abständen zwischen den BTS (wie

z.B. im ländlichen Bereich) bringt und andererseits das Verfahren sehr effektiv speziell im städtischen Bereich macht. Die Systemintegration des Radio Camera(tm) Systems ist nach Firmenangabe relativ einfach und es bedarf sonst keiner Modifikation der Basisstationen und der Mobilstation. Die erreichbaren Genauigkeiten für die Positionierung sollen denen des Hyperbelschnittverfahrens (E-OTD) entsprechen.

schiedenen Architekturen der Positionierung (Network-based oder Handset-based Positioning) festgelegt. Demnach muss eine Genauigkeit in der Positionierung von 100 m mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 67 % und 300 m bei 95 % mit den Methoden in der Network-based Positionierungsarchitektur erreicht werden. Bei Handset-based Positioning sind Genauigkeiten von 50 m bei 67 % und 150 m bei 95 %

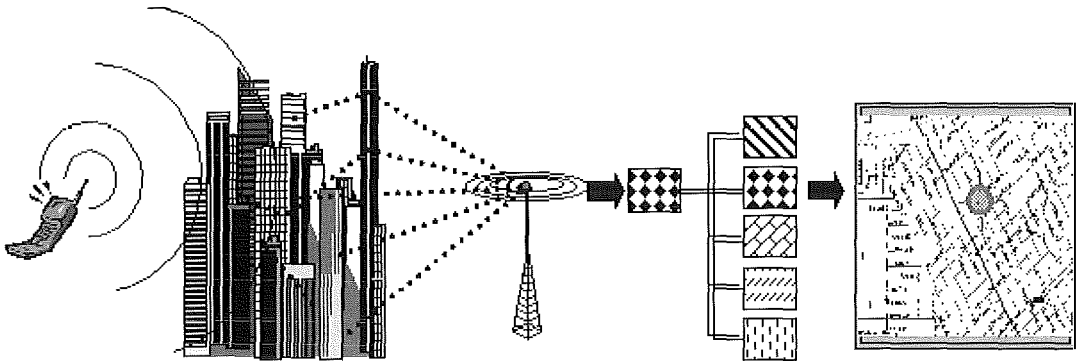


Abb. 4: Multipath-Fingerprint Verfahren (USWT 2001)

3 Leistungsmerkmale und Genauigkeitspotential

Die Leistung der Methoden zur Positionsbestimmung mit dem Mobiltelefon hängt von verschiedenen Faktoren ab und wird u.a. durch die Genauigkeit, Zuverlässigkeit, erforderlichen Zeit für die Positionsbestimmung und Verfügbarkeit des Dienstes charakterisiert. Im folgenden werden kurz die zu erwartenden Genauigkeiten für die einzelnen Positionierungsmethoden zusammengestellt und die wesentlichen Fehlereinflüsse aufgezeigt.

3.1 Genauigkeit der Positionierung in Lage

Für die Lokalisierung von Notrufgesprächen hat die Telecommunication Industry Association (TIA) im IS-801 Standard Positionierungsgenauigkeiten vorgeschrieben. Bei der Positionierung mit dem Mobiltelefon hat sich die Angabe einer kreisförmigen Konfidenzregion eingebürgert und es erfolgt die Angabe des Radius der Konfidenzregion in Verbindung mit den Positionskoordinaten. Die durchschnittlichen Vorgaben der U.S. Federal Communication Commission (FCC) entsprechen einer Angabe einer kreisförmigen Fläche mit einem Radius von 125 m und dem Mittelpunkt in der tatsächlichen (oder wahren) Position des Mobiltelefons. Im IS-801 Standard wurden auch unterschiedliche Werte für die ver-

Sicherheitswahrscheinlichkeit vorgeschrieben. In dieser Vorschrift wurde auch angeführt, dass die Implementierung der Positionsbestimmung in Mobiltelefone vorerst durch den Einsatz von Handset-based Positionierungsmethoden erfolgen sollen. Mit Ende 2002 sollen bereits 95 % aller neu zugelassenen Mobiltelefone eine Positionsbestimmung (zumindest basierend auf der Angabe der Mobilfunkzelle) vornehmen können. Für die ebenfalls erforderliche Modifikation der Netzinfrastruktur wird in Abhängigkeit des Verfahrens ein Zeitraum von bis zu vier Jahren (bei E-OTD) veranschlagt (vgl. Balbach 2000, CGALIES 2001).

Von den Herstellern von Positionierungssystemen wurden die Ergebnisse von Tests zur Abschätzung der erreichbaren Genauigkeit für die Positionslösung veröffentlicht, die belegen sollen, dass in Zukunft die von der TIA vorgeschriebenen Standards mit den aufwendigeren Positionierungsmethoden erreicht werden können (siehe z.B. CPS 2001). Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der zu erwartenden Genauigkeit für die Lagekoordinaten bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 67 % im GSM-Netz für verschiedene Positionierungsmethoden. Hierbei ist anzumerken, dass in vielen vorhandenen Netzen eine Positionsbestimmung durch Angabe der Mobilfunkzelle (Cell ID) und eventuell auch mit Nutzung des TA-Effekts bereits realisiert ist bzw. kurz vor der Realisierung steht. Die Genauigkei-

ten unterscheiden sich auch in Abhängigkeit von der Umgebung des Mobiltelefons und man erhält in der Regel unterschiedliche Werte im Stadtgebiet bzw. in ländlichen Gebieten sowie für die Positionierung innerhalb von Gebäuden. Abbildung 5 zeigt noch das breite Genauigkeitsspektrum der verschiedenen Verfahren im Vergleich zu Positionierung mittels GPS.

3.2 Genauigkeitsbeeinflussende Faktoren

Die geforderte Genauigkeit eines Positionierungssystems auf der Basis von Mobilfunk und die erreichbare Genauigkeit entscheiden, welche Systemarchitektur bzw. Technik zum Einsatz kommt. Ausschlaggebend für die Genauigkeit ist allerdings nicht nur die Systemarchitektur, sondern auch die Charakteristik des Mobilfunks sowie die folgenden Einflussfaktoren (vgl. Balbach 2000, Ingensand et al. 2001):

- Signal/Rauschverhältnis,
- Dichte und Verteilung der Basisstationen,
- Größe der Mobilfunkzellen und damit verbunden der Abstand zu den Antennen,

- Antennenhöhe der Basisstationen,
- Multipath Signalcharakteristik,
- Geometrische Lage der Mobilstation im Bezug auf die Basisstationen,
- Mittlere Leistungsverstärkung der Antenne in Richtung des sendenden Telefons,
- Netzauslastung und Anzahl der möglichen Nutzer.

Vor allem wird die Positionierungsgenauigkeit durch die geometrische Anordnung und den Multipath beeinflusst. Ähnlich wie bei GPS Messungen kann der Einfluss der geometrischen Anordnung der Sender und Empfänger durch einen

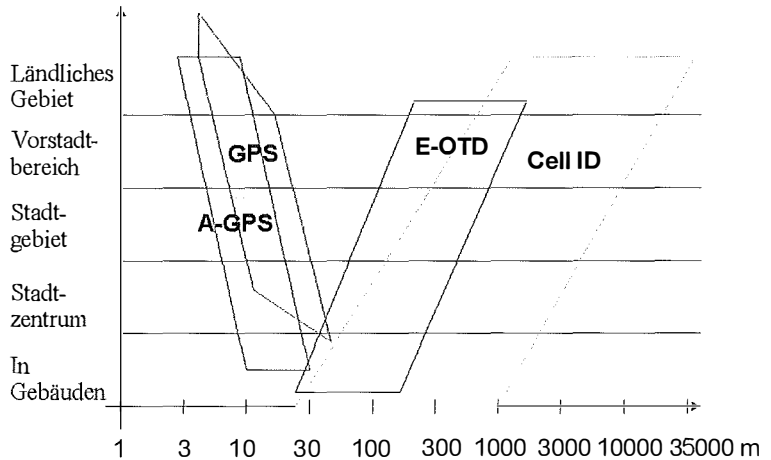


Abb. 5: Genauigkeitspotential der GSM Positionierung im Vergleich zu GPS (nach Nokia, 2000)

Methode	Ländliches Gebiet	Vorstadt-bereich	Stadt-gebiet	In Gebäuden	Anmerkungen
Angabe der Mobilfunkzelle (Cell ID)	1 – 35 km	1 – 10 km	150 m – 1 km	Keine Änderung (Ausnahme: bei Picozellen)	Angabe der Koordinaten der BTS der Zelle Häufige Fehlerursache: Angabe falscher Sektor
Cell ID und Timing Advanced TA	550 m – 35 km	550 m – 10 km	150 m – 1 km	Keine Änderung (Ausnahme: bei Picozellen)	Bestimmung der Entfernung zur BTS bei Abständen größer als 550 m Häufige Fehlerursache: Angabe falscher Sektor
Hyperbelverfahren E-OTD	50 – 300 m	50 – 150 m	50 – 150 m	Geringe Verschlechterung bei guter Signalausbreitung	3 BTS notwendig, wenn unmöglich Rückfall auf Cell ID/TA
Wireless Assisted GPS (A-GPS)	10 m	20 m	30 – 100 m	Messung in der Nähe von Fenstern gerade noch möglich	Wenn keine Positionierung möglich, Rückfall auf Cell ID/TA

Tab. 1: 2D Positionierungsgenauigkeiten im GSM-Netz (nach CGALIES 2001)

Faktor, der Dilution of Precision genannt wird, charakterisiert werden (vgl. Rappaport et al. 1996). Der Gesamtfehler der Positionsbestimmung errechnet sich dann aus dem Produkt von Messfehler und DOP-Faktor. Eine schlechte Geometrie führt zu einem größeren Positionsfehler und einem hohen DOP-Faktor. Bei 2D-Positionierung muss der sog. HDOP (Horizontal Dilution of Precision) betrachtet werden. Genauere Untersuchungen zur geometrischen Konfiguration wurden z.B. von Hein et al. (2000) ausgeführt und haben gezeigt, dass im Stadtgebiet bei einer hohen Dichte der Sendeanlagen der HDOP-Faktor durchschnittlich einen Wert von 2 annimmt. Dies gilt für Positionen der Mobilstation innerhalb eines Dreiecks, an dessen Eckpunkten jeweils 3 BTS liegen.

Das Hauptproblem bei der Positionierung stellt aber die Mehrwegausbreitung der Signale bedingt durch Reflexionen an Gebäuden und anderen Oberflächen (z.B. Topographie, Gebäuden, Brücken, Autos, usw.) dar. Die komplexe Ausbreitung von Funkwellen (elektromagnetischen Wellen) wird hauptsächlich von der Frequenz, den Eigenschaften des Ausbreitungsmediums und der Bewegung der Mobilstation geprägt. Aufgrund von veränderlichen Wetter- und Umweltbedingungen kommt es zu einer frequenzabhängigen Dämpfung der direkten Strahlung, d.h. die elektromagnetischen Wellen werden entweder absorbiert oder gestreut. Weiters kommt es durch ausbreitungsbedingte Störungen zu Schwankungen der Amplitude des Empfangssignals (Fading und Schwund). Beim Multipath treffen am Empfänger der direkte und reflektierte Signalanteil mit einer Phasenverschiebung ein, was zu einer Verstärkung, Verzerrung oder in ungünstigen Fällen zu einer kurzzeitigen Auslöschung (Fading) des Signals führen kann. Diese Verschiebung kann einige hundert Nanosekunden bis zu mehreren Mikrosekunden (typischerweise 1–5 ms) betragen. Daraus kann ein beträchtlicher Positionsfehler von 300 m bzw. 1500 m resultieren. Die Effekte der Mehrwegausbreitung werden deshalb durch aufwendige Maßnahmen, wie z.B. Entzerrung, Kanalkodierung, Regelung der Sendeleistung und Algorithmen zum Ausgleich von Signalunterbrechungen in Fadinglöchern, bekämpft. Auch der verwendete Antennentyp an der Basisstation spielt eine entscheidende Rolle (vgl. Ingensand et al. 2001, Rappaport et al. 1996). Die Größenordnung des Einflusses von Multipath auf die Distanzmessung hängt auch vom eingesetzten Mobilfunknetz ab. Im derzeitigen GSM-Netz (Global System for Mobile Communications) kann der Einfluss bis zu 250 m betragen, hingegen beim neuen Mobil-

funkstandard UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) hat dieser Anteil wesentlich geringere Auswirkungen (Fehler von maximal 17 m werden erwartet). Der Grund dafür liegt in der unterschiedlichen Signalstruktur von GSM und UMTS. Vorteilhaft beim Einsatz des neuen Mobilfunkstandards für die Positionierung ist, dass die UMTS Signalstruktur sehr ähnlich zu den GPS-Signalen ist. Näher Informationen zu den Signalcharakteristika der beiden Mobilfunknetze entnimmt man z.B. Eberspächer et al. (1999) bzw. Walke (1998).

Tabelle 2 fasst die wesentlichen Fehlereinflüsse und ihre Auswirkungen auf die Genauigkeit der Distanzmessung für die beiden Mobilfunkstandards GSM und UMTS zusammen. Der größte Anteil am Gesamtfehler entfällt auf das Messrauschen, welches bei GSM bis zu 270 m und bei UMTS nur rund 18 m ausmacht. Weitere Fehleranteile, die in beiden Positionierungssystemen mit gleichem Ausmaß anfallen, ergeben sich durch Ausbreitungsverzögerungen des Signals in der Troposphäre, Synchronisationsfehler zwischen dem Netzwerk und der Mobilstation sowie Fehler in den Oszillatoren. Wie in der Tabelle 2 ersichtlich ist, werden für die Positionierung im neuen UMTS Netz wesentlich höhere Genauigkeiten für die Bestimmung der Lagekoordinaten erwartet.

3.3 Leistungsmerkmale

Im Zusammenhang mit der Lokalisierung von Notrufgesprächen hat man sich natürlich zum Ziel gesetzt, nicht nur eine Positionierung mit entsprechender Genauigkeit für alle Anrufe zu ermöglichen, sondern auch eine hohe Zuverlässigkeit des Positionierungsdienstes zu gewährleisten. Diese kann durch Prozentangaben über die Zeit, in denen der Dienst zur Verfügung steht, sowie die räumlichen Bereiche und Gebiete, wo der Dienst verfügbar ist, und die Anzahl der Notrufgespräche bzw. Mobilstationen, die gleichzeitig positioniert werden können, beschrieben werden. Entscheidend ist auch noch die zeitliche Dauer für die Durchführung einer Positionsbestimmung. Diese sollte geringer als 15 s sein und die Position spätestens nach 30 s zur Verfügung stehen. Die Zeitdauer unterscheidet sich auch in Abhängigkeit von der eingesetzten Positionierungsmethode. Erfahrungsgemäß benötigt die E-OTD Methode durchschnittlich 5 bis 10 s für eine Positionslösung (CGALIES 2001).

Eine Leistungssteigerung in der Positionierung kann durch den hybriden Einsatz des Hyperbelschnittverfahren (E-OTD) und Wireless Assisted

Fehlerquelle	Mobilfunknetz	
	GSM	UMTS
Messrauschen	270 m	18 m
Multipath	0 – 250 m	0 – 17 m
Ausbreitungsverzögerung in der Troposphäre	0,3 – 3 m	0,3 – 3 m
Synchronisationsfehler zw. Netzwerk/telefon	3 – 6 m	3 – 6 m
Oszillatorfehler	7,5 m	7,5 m
Gesamtfehler (1 σ)	270 – 380 m	20 – 27 m

Tab. 2: Fehlerhaushalt bei GSM und UMTS Positionierung (nach Hein et al. 2000)

GPS (A-GPS) erzielt werden, da gegebenenfalls die Nachteile des einen Systems durch die Vorteile des anderen behoben werden können. E-OTD führt in der Regel in ländlichen Gebieten zu ungenaueren Lösungen bzw. im schlechtesten Fall zu keiner Positionslösung, da hier der Empfang von mindestens 3 Basisstationen erforderlich ist. Andererseits erreicht die Positionierung mit GPS im Stadtgebiet seine Grenzen aufgrund von Signalabschattungen. Hier erzielt man bei Einsatz von E-OTD die höchsten Genauigkeiten (vgl. Abbildung 5).

4 Integration von LBS in moderne Navigationssysteme

Moderne Navigationssysteme sind im Prinzip Multisensorsysteme, bei denen mehrere Sensoren zur Lösung einer Aufgabenstellung kombiniert werden. Bei Fahrzeugnavigationssystemen kommen neben satellitengestützten Positionierungsverfahren zur absoluten Positionierung noch Sensoren für relative Positionierung, wie z.B. Koppelnavigationssensoren (engl. Dead

Reckoning DR) zur Messung des zurückgelegten Weges und der Richtung, zum Einsatz. Die resultierende Trajektorie des Fahrzeuges wird dann im Anschluss einer digitalen Straßenkarte überlagert (sog. Map Matching), um eine Zielführung für den Benutzer zu ermöglichen.

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt des Departments of Land-Sur-

veying and Geoinformatics der Hong Kong Polytechnic University und der Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie der Technischen Universität Wien mit dem Titel „A satellite based multi-sensor system for intelligent land vehicle navigation and tracking system suitable in a dense high-rise environment“ wird speziell auf die Entwicklung und Untersuchung von intelligenten Fahrzeugnavigations- und Verkehrsleitsystemen für eine Großstadt wie Hong Kong eingegangen. Da in konventionellen Autonavigationssystemen die Positionierung mit GPS, auf Grund der Abschattung des GPS-Signals speziell im städtischen Bereich, nicht die gewünschte Zuverlässigkeit aufweist, kann als Ersatz eine Positionierung mit dem Mobiltelefon erfolgen. Ein Hauptschwerpunkt der Untersuchungen liegt hier bei der mathematischen Integration aller Messsensoren zur kontinuierlichen Bestimmung der Fahrzeugtrajektorie in Echtzeit. Ein Berechnungsmodell basierend auf der Kalman-Filterung wurde von Retscher et al. (2001) vorgestellt und seine Einsetzbarkeit wurde im Rahmen von Diplomarbeiten an der TU Wien für verschiedene Aufgabenstellungen durch Simula-

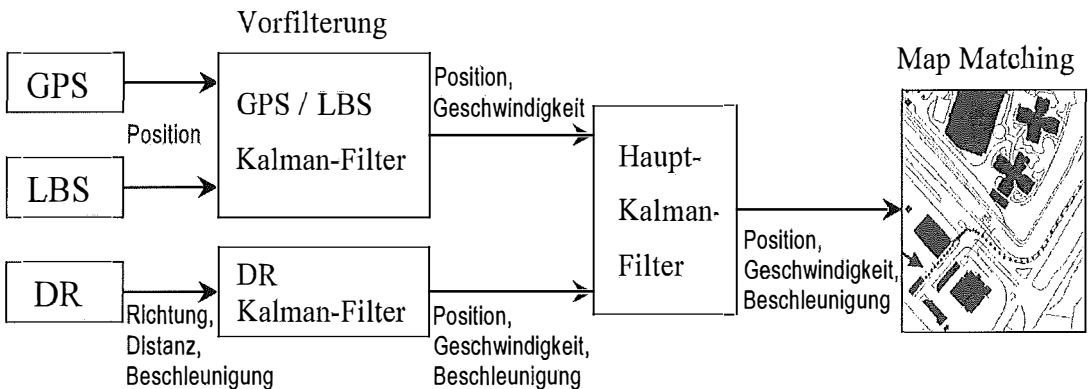


Abb. 6: Berechnungsmodell zur Integration der Messwerte unterschiedlicher Sensoren (GPS, Location Based Services LBS und Koppelnavigation DR)

tionsrechnungen untersucht. Das Prinzip des Berechnungsmodells und die ersten Ergebnisse der Untersuchungen werden im folgenden kurz dargestellt.

Abbildung 6 zeigt den Kalman-Filteransatz zur Integration der Positionierung mit dem Mobiltelefon (Location Based Services LBS) in ein Fahrzeugnavigationssystem. Es handelt sich dabei um ein sog. dezentrales bzw. kaskadenförmiges Kalman-Filter, bei dem die Integration der Messwerte der verschiedenen Sensoren zweistufig erfolgt (siehe z.B. Sternberg et al. 1999). In einem

dargestellt. Bei den Simulationsrechnungen wurde eine Standardabweichung von ± 50 m für die Positionierung mit dem Mobiltelefon angesetzt, was laut Herstellerangaben der Nutzung des Hyperbelschnittverfahrens im GSM-Netz entspricht. Für GPS wurden Werte von ± 5 m und die Koppelnavigation von ± 20 m für die a priori Standardabweichungen angesetzt. Eine ausführlichere Beschreibung der Simulationsrechnungen und weitere Ergebnisse findet man in der Arbeiten von Siegele (2001) und Skolaut (2002).

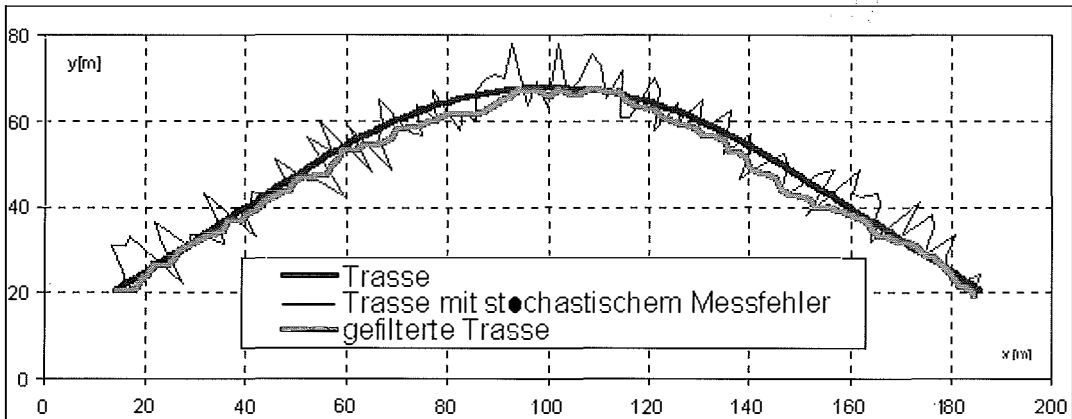


Abb. 7: Ergebnisse der Simulationsrechnungen für eine kombinierte Punktbestimmung aus GPS bzw. LBS und Koppelnavigation DR

ersten Schritt erfolgt eine Vorverarbeitung und erste Filterung der originalen Beobachtungen getrennt für alle Sensoren. Die kombinierte Positionsbestimmung wird im Anschluss in der zweiten Stufe im Haupt-Kalman-Filter ausgeführt. Abschließend erfolgt durch Map Matching eine Überlagerung der resultierenden Fahrzeugtrajektorie auf den entsprechenden Abschnitt der digitalen Strassenkarte.

In Simulationsrechnungen wurde nachgewiesen, dass bei Einsatz dieses Berechnungsmodells die Positionierung mit Mobiltelefonen (LBS) in Kombination mit der Koppelnavigation (DR) bei kurzen Zeiträumen die absolute Positionierung mit GPS ersetzen kann. Bei einem alleinigen Einsatz der Koppelnavigation kann jedoch das Driften der Sensoren schon nach kurzen Zeitintervallen zu einer sehr schlechten Genauigkeit in der absoluten Positionierung führen. Ein Ergebnis der Berechnung für die Kombination der Messwerte von GPS bzw. LBS mit denen der Koppelnavigation ist exemplarisch in Abbildung 7 für einen einfachen Trassenverlauf bestehend aus einer Bogenfolge Gerade, Klotoide, Kreisbogen, Klotoide, Gerade

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die wesentlichen Leistungsmerkmale von modernen Verfahren zur Lokalisierung von Mobiltelefonen zusammengestellt und diskutiert. Aufgrund des großen Genauigkeitspotentials der verschiedenen Positionierungsmethoden ist zukünftig mit einem vermehrten Einsatz dieser Positionierungsdienste zu rechnen. Das breite Einsatzspektrum reicht von der Lokalisierung von Notrufgesprächen und ortsbezogenen Abfragen in Datenbanken bis zur Integration der Dienste in mobilen Stadtführern und Navigationssystemen. Speziell die Navigation von Fußgängern wird in Zukunft eine der Hauptanwendungen von LBS werden und es wird deshalb derzeit in einigen Projekten an der Entwicklung von praxistauglichen Geräten gearbeitet. Für viele Anwendung erscheint ein hybrider Einsatz mehrerer Sensoren bzw. Positionierungsverfahren und deren Integration im Sinne eines hybriden Multisensorsystems sinnvoll. In diesem Fall können die Vorteile des einen Systems gegebenenfalls die Nachteile des anderen beheben. Ein neuer Ansatz für die Integration

der Sensoren wurde an der TU Wien entwickelt und mittels Simulationsrechnungen getestet. Die ersten Ergebnisse belegen, dass dieser Ansatz für den Einsatz in modernen Navigationssystemen bestens geeignet ist.

Literatur

- [1] *Balbach, O.*: UMTS – COMPETING NAVIGATION SYSTEM AND SUPPLEMENTAL COMMUNICATION SYSTEM TO GNSS. in: Papers presented at ION GPS Meeting 2000, Salt Lake City, Utah, U.S.A., September 19–22, 2000.
- [2] *CGALIES: CO-ORDINATION GROUP ON ACCESS TO LOCATION INFORMATION BY EMERGENCY SERVICES.* Work Package 1 Report, 2001. <http://www.telematica.de/cgalies/> (Last visited: November 2001).
- [3] *CPS (Cambridge Positioning Services Ltd.): CURSOR(tm) MOBILE LOCATION SYSTEM.* Product Information at <http://www.cursor-system.com/> (Last visited: November 2001).
- [4] *Drane, Ch., M. Macnaughtan, C. Scott:* POSITIONING GSM TELEPHONES. IEEE Communications Magazine, April 1998, pp. 46–59.
- [5] *Eberspächer, J., H.-J. Vögel:* GSM GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION. B.G. Teubner, Stuttgart, 2. Auflage, 1999.
- [6] *Hein, G., B. Eissfeller, V. Öhler, J. O. Winkel:* SYNERGIES BETWEEN SATELLITE NAVIGATION AND LOCATION SERVICES OF TERRESTRIAL MOBILE COMMUNICATION. in: Papers presented at ION GPS Meeting 2000, Salt Lake City, Utah, U.S.A., September 19–22, 2000.
- [7] *Hein, G., B. Eissfeller, V. Öhler, J. O. Winkel:* DETERMINING LOCATION USING WIRELESS NETWORKS. in: GPS World März 2001, pp. 26–37.
- [8] *Ingensand, H., P. Bizi:* TECHNOLOGIEN DER GSM-POSITIONIERUNGSVERFAHREN. in: Allgemeine Vermessungsnachrichten, Wichmann Verlag, Heft 8–9, 2001, pp. 286–294.
- [9] *Mobile Lifestream: MOBILE POSITIONING – LOCATION BASED MOBILE SERVICES.* Webforum 1999-2001, <http://www.mobilepositioning.com/> (Last visited: November 2001).
- [10] *Nokia:* NOKIAS VISION OF LOCATION IMPLEMENTATION. Presentation at the 1st CGALIES Workshop, Brussels, December 5–6, 2000, <http://www.telematica.de/cgalies/wp1.html> (Last visited: November 2001).
- [11] *Rappaport, T.S., J.H. Reed, B.D. Wörner:* POSITIONING LOCATION USING WIRELESS COMMUNICATIONS ON HIGHWAYS OF THE FUTURE. in: IEEE Communications Magazine, Oktober 1996, pp. 33–41.
- [12] *Retscher, G., E. Mok:* INTEGRATION OF MOBILE PHONE LOCATION SERVICES INTO INTELLIGENT GPS VEHICLE NAVIGATION SYSTEMS. in: Papers presented at the 3rd Workshop on Mobile Mapping Technology, January 3–5, 2001, Cairo, Egypt.
- [13] *Retscher, G.:* DISKUSSION DER LEISTUNGSMERKMALE VON SYSTEMEN ZUR POSITIONS-BESTIMMUNG MIT MOBILTELEFONEN ALS BASIS FÜR LOCATION BASED

SERVICES (LBS): In: Papers presented at the Symposiums über TeleKartographie und Location Based Services vom 28.–29. Jänner 2002 an der TU Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen der Studienrichtung Vermessung und Geoinformation der TU Wien, Heft 58, pp. 41–58.

- [14] *Siegele, E.:* INTEGRATION VON MOBILKOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN ZUR POSITIONS-BESTIMMUNG IN AUTONAVIGATIONSSYSTEMEN. Diplomarbeit, Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie, TU Wien, Oktober 2001.
- [15] *Skolaut, G.:* UNTERSUCHUNG VON MESSSENSOREN FÜR NAVIGATIONSSYSTEME VON FUSSGÄNGERN. Diplomarbeit, Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie, TU Wien, 2002 (in Arbeit).
- [16] *SnapTrack: WIRELESS ASSISTED GPS: PERFORMANCE IN GSM WIRELESS NETWORKS,* 2000, Product Information at <http://www.snaptrack.com/> (Last visited: November 2001).
- [17] *Sternberg, H., W. Caspary, H. Heister:* FILTERALGORITHMS FOR OPTIMAL DETERMINATION OF POSITION AND ATTITUDE OF THE MOBILE MAPPING SYSTEM KISS. in: Papers presented at the International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21–23, 1999, Bangkok, Thailand, pp. 2.2.1–2.2.6.
- [18] *Tekinay, S., E. Chao, R. Richton:* PERFORMANCE BENCHMARKING FOR WIRELESS LOCATION SYSTEMS. in: IEEE Communications Magazine, April 1998, pp. 72–76.
- [19] *True Position: TRUE POSITION: LOCATING THE NEW WIRELESS WORLD.* Product Information at <http://www.trueposition.com/> (Last visited: November 2001).
- [20] *USWT (U.S. Wireless Technology): LOCATION PATTERN MATCHING AND THE RADIO CAMERA(tm) NETWORK.* Product Information at <http://www.uswcorp.com/> (Last visited: November 2001).
- [21] *Walke, B.:* MOBILFUNKNETZE UND IHRE PROTOKOLLE. B.G. Teubner, Stuttgart, Band 1, 1998.

Acknowledgements

Dieser Beitrag ist eine Kurzfassung eines Vortrags, der im Rahmen des Symposiums über TeleKartographie und Location Based Services vom 28.–29. Jänner 2002 an der TU Wien gehalten wurde.

Teile der präsentierten Forschungsarbeiten wurde vom Forschungsprojekt „A satellite based multi-sensor system for intelligent land vehicle navigation and tracking system suitable in a dense high-rise environment“ (Projektnr. B.34.37.Q329) des Research Grants Council RGC der Hong Kong SAR Regierung, China unterstützt.

Adresse des Autors

Ass.-Prof. DI Dr. GÜNTHER RETSCHER
 Institut für Geodäsie und Geophysik, Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie, Technische Universität Wien, Gusshausstrasse 27–29, A-1040 Wien, Österreich
 E-mail: gretsch@pop.tuwien.ac.at.