



## Allgegenwärtige Positionierungsmethoden für Moderne und Intelligente Navigationssysteme und -dienste

Günther Retscher <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Geodäsie und Geophysik, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29, A-1040 Wien, Österreich*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **92** (3–4), S. 136–144

2004

BibT<sub>E</sub>X:

```
@ARTICLE{Retscher_VGI_200412,  
Title = {Allgegenw{\a}rtige Positionierungsmethoden f{\u}r Moderne und  
Intelligente Navigationssysteme und -dienste},  
Author = {Retscher, G{\u}nther},  
Journal = {VGI -- {\0}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {136--144},  
Number = {3--4},  
Year = {2004},  
Volume = {92}  
}
```





## Allgegenwärtige Positionierungsmethoden für Moderne und Intelligente Navigationssysteme und -dienste

Günther Retscher, Wien

### Kurzfassung

In den letzten Jahren wurden neue Positionierungsverfahren entwickelt, die in vermehrten Ausmaß in modernen Navigationssystemen zur Unterstützung von satellitengestützten Navigationsverfahren (GNSS) und der weit verbreiteten Koppelnavigation zum Einsatz kommen. Dabei liefern diese Methoden unterschiedliche Genauigkeiten für die Ortsbestimmung. Ihre Integration in moderne intelligente Navigationssysteme führt zu einer erheblichen Leistungssteigerung für die Positionsbestimmung in Gebieten mit schlechter Satellitenverfügbarkeit (z.B. im Stadtgebiet, Übergang in Gebäude und andere abgeschattete Gebiete, etc.). In diesem Beitrag werden diese Positionierungsverfahren kurz vorgestellt und beschrieben. Diese Positionierungsverfahren bilden auch die Basis für viele ortsbezogene Dienste, die sog. Location Based Services (LBS).

### Abstract

In the last years new positioning methods have been developed which can be employed in modern intelligent navigation systems for augmentation of satellite positioning (GNSS) and dead reckoning (DR). These methods deliver different levels of positioning accuracies for the location determination. Due to their integration in modern intelligent navigation systems a high increase in performance for areas with bad satellite visibility (e.g. in urban canyons, transition from outdoor to indoor) can be achieved. The positioning methods can also be employed in location-based services (LBS).

### 1. Einleitung

Die Kombination und Integration verschiedener Positionierungsverfahren ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit moderner, intelligenter Navigationssysteme und -dienste. Handelsübliche Systeme setzen jedoch hauptsächlich auf die satellitengestützte Positionierung (GNSS) für die absolute Positionsbestimmung. Signalverluste werden in der Regel mit der Koppelnavigation mittels relativer Positionsbestimmung überbrückt. Bei längeren Signalunterbrechungen entstehen jedoch größere Positionierungsfehler, da die relativen Sensoren ziemlich stark driften und eine ungünstige Fehlerfortpflanzung aufweisen. Dieser Umstand ist mit ein Hauptgrund, dass in moderne, intelligente Navigationssysteme eine Integration von zusätzlichen Sensoren und Positionierungsverfahren vorgenommen werden soll. Des Weiteren ist eine Alternative zur Positionierung mittels GNSS gewünscht, damit auch eine kontinuierliche Ortung des Nutzers im Stadtgebiet und in Bereichen mit starken Abschattungen der Satellitensignale sowie in Gebäuden möglich wird. Nutzbare, alternative Positionierungsverfahren sind z.B. die Methoden zur Lokalisierung von Mobiltelefonen, die Nutzung von WLAN (Wireless Local Area Networks), UWB (Ultra Wide Band), RFID (Radio Frequency Identification) sowie Bluetooth. Nach Pahlavan et al. (2002) können dabei zwei verschiedene

Strategien unterschieden werden, wobei im ersten Fall ein eigenes Funknetz aufgebaut wird, dass für die Positionierung eingesetzt werden kann, und bei der zweiten Methode bereits bestehende Netzwerkinfrastruktur zur Positionierung eines mobilen Nutzers genutzt wird. Die zweite Methode hat demnach den Vorteil, dass kein eigenes Funknetz aufgebaut werden muss. Einige dieser Verfahren wurden speziell für die Positionsbestimmung in Gebäuden entwickelt. Sie können aber auch im Übergangsbereich in der Nähe von Gebäuden sowie im Stadtgebiet eingesetzt werden. Das Prinzip dieser Verfahren wird im folgenden beschrieben. Ihre Anwendung finden diese Methoden teilweise in dem Forschungsprojekt NAVIO (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld), dass sich mit der Führung von Besuchern der Technischen Universität Wien von in der Nähe befindlichen Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs zu Büros und Personen der Universität beschäftigt (Gartner et al. 2004). Dabei wird ein mobiles Navigationssystem eingesetzt, dass aus verschiedenen Sensoren besteht. Neben GNSS kommen noch WLAN und RFID Positionierung, die Positionsbestimmung mit Mobiltelefonen, die Koppelnavigation zur Messung der Richtung und des zurückgelegten Weges über einen digitalen Kompass, Kreisel und Beschleunigungssensoren zur Schritterkennung sowie ein Barometer zur Höhenbestimmung zum Einsatz.

## 2. Überblick über alternative Positionierungsverfahren für die Navigation

Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Positionierungsverfahren und Sensoren für moderne, intelligente Navigationssysteme und -dienste sowie deren Beobachtungen und erreichbaren Genauigkeit.

Positionierungsverfahren		Beobachtungen	Genauigkeiten
GNSS	GPS	y, x, z	$\pm 6 - 10$ m
	DGPS		$\pm 1 - 4$ m
Geschwindigkeit von GNSS		$v_y, v_x,$ $v_z$	$\sim \pm 0,05 \text{ m}^{-1}$ $\sim \pm 0,2 \text{ m}^{-1}$
Positionierung mit Mobiltelefon (GSM)	Cell ID	y, x	$\pm 150 \text{ m} - 35 \text{ km}$
	Solo Matrix		$\pm 50 - 100$ m
WLAN Positionierung	IMST ipos	y, x, z	$\pm 1 - 3$ m
UWB Positionierung (TDoA)		y, x, z	$\pm 0.2 - 1$ m
RFID Positionierung (Active Landmarks)		y, x, z	$< \pm 6$ m
Bluetooth (Active Landmarks)		y, x, z	$\pm 10$ m
Inertiale Navigationssysteme (INS)	Crossbow IMU700CA-200 Inertial Measurement Unit	$a_x, a_y, a_z$ $\varphi, \psi, \theta$	$< \pm 0.08 \text{ ms}^{-2}$ $< \pm 0.03^\circ/\text{s}$
Koppelnavigation	PointResearch DRM-III Dead Reckoning Module	y, x z $\varphi$	$\pm 20 - 50$ m per 1 km $\pm 3$ m $\pm 1^\circ$
Richtung	Honeywell Compass Module HMR 3000	$\varphi$	$\pm 0.5^\circ$
Beschleunigung	Crossbow Accelerometer CXTD02	$a_{\text{tan}}, a_{\text{rad}}, a_z$	$> \pm 0.03 \text{ ms}^{-2}$
Barometer	Vaisala Pressure sensor PTB220A	z	$\pm 1 - 3$ m

**Tabelle 1:** Positionierungsverfahren für Navigationssysteme und -dienste sowie deren Beobachtungen und erreichbaren Genauigkeiten (Genauigkeitsangaben aus Duffett-Smith and Craig 2004, Imst 2004, Kong et al. 2004, Chon et al. 2004, Crossbow 2004a, PointResearch 2004, Honeywell 2004, Crossbow 2004b, Vaisala 2004) wobei y, x, z die 3D-Koordinaten der aktuellen Position des Nutzers,  $v_y, v_x, v_z$  die Geschwindigkeiten,  $a_x, a_y, a_z$  die Beschleunigungen,  $a_{\text{tan}}$  die Tangentialbeschleunigung und  $a_{\text{rad}}$  die radiale Beschleunigung in der xy-Ebene sind,  $\varphi$  die Richtung (Orientierung) des Nutzers in der xy-Ebene,  $\psi$  die Längsneigung und  $\theta$  die Querneigung ist.

## 2.1 Lokalisierung von Mobiltelefonen

Für die Lokalisierung von Mobiltelefonen wurden eine Reihe von Verfahren entwickelt, die teilweise auf klassischen, terrestrischen Navigationsverfahren beruhen. Ihr Prinzip wurde z.B. in Retscher (2002) eingehend beschrieben. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit hängt im wesentlichen von der verwendeten Methoden und dem Mobilfunknetz (GSM, W-CDMA, UMTS) ab. Höchste Genauigkeiten können mit dem Hyperbelschnittverfahren, dem sog. Enhanced Observed Time Difference (E-OTD), erzielt werden, bei dem Laufzeitdifferenzen von Signalen von Basisstationen zwischen der Mobilstation und einer Referenzstation im Netzwerk, der sog. Location Measurement Unit (LMU), bestimmt werden. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit liegt im Bereich von 50 bis 150 m, wobei Messungen zu mindestens 3 Basisstationen auszuführen sind. Liegen diese Messungen nicht vor, so kann eine Positionierung nur durch Angabe der Mobilfunkzelle (Cell ID), in der sich der Nutzer gerade befindet, erfolgen. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit reduziert sich dann auf 150 m bis 1 km im Stadtgebiet und bis zu 35 km in ländlichen Gebieten.

Da E-OTD eine Modifikation der Hardware des Mobilfunknetzes und die Installation von vielen Referenzstationen (eine LMU für jeweils 3 bis 5 Basisstationen) erfordert, was hohe Kosten für die Netzbetreiber zur Folge hat, wurde dieses Verfahren weltweit erst in wenigen Ländern verwirklicht. Neuere Entwicklungen haben sich daher auf die Reduktion der Kosten und notwendigen Hardware konzentriert. Die sog. Matrix Methode kommt ohne zusätzliche Hardware und LMU's aus (siehe Abbildung 1). Es wird lediglich ein Serving Mobile Location Centre (SMLC) benötigt, in dem die Position des Nutzer bestimmt wird (siehe Duffett-Smith und Craig 2004). In diesem Fall wird im Mobiltelefon ein Softwareupdate installiert. Das Telefon misst die relative Empfangszeit von Signalen verschiedener Basisstationen in seiner näheren Umgebung. Diese Zeitmessungen werden vom SMLC regelmäßig von anonymen Mobiltelefonen angefordert. Aus diesen Messungen können die Abweichungen der Sendezeitpunkte der Basisstationen von der Systemzeit (die sog. „Network Timings“) berechnet werden. Wenn nun ein bestimmtes Mobiltelefon lokalisiert werden soll, so werden im Handset die relativen Empfangszeiten der Signale gemessen und der Matrix Locator im SMLC berechnet mit diesen Messungen und den Network Timings die aktuelle Position des Tele-

fons. Da die Messungen nicht simultan erfolgen müssen, können anstelle der Messungen von anonymen Handsets auch die Messungen eines einzelnen, bewegten Telefons verwendet werden. Dies wird auch als Solo Matrix bezeichnet. Dann werden die Zeitmessungen an verschiedenen Positionen des Mobiltelefons dazu genutzt, um das Network Timing Model zu berechnen, und die Messung an der aktuellen Position, um diesen Ort zu bestimmen. Es ist weiters möglich, aus allen Messungen in einem Berechnungsschritte alle Positionen des Mobiltelefons zu bestimmen, und man erhält somit die Trajektorie des bewegten Telefons. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit der Matrix Methode entspricht dem E-OTD Verfahren und es konnten Genauigkeiten im Bereich von 50 bis 100 m bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 67 % im GSM Netzwerk bei verschiedenen Tests erzielt werden. Eine Kombination von Matrix mit der Satellitenpositionierung wird als Enhanced GPS (E-GPS) bezeichnet. In diesem Fall ist im Telefon sowohl ein GPS Empfänger eingebaut als auch die Solo Matrix Funktion integriert. Wie beim gebräuchlichen Verfahren des Assisted GPS (A-GPS) stellt die Matrix Funktion Hilfsdaten, wie Näherungskordinaten und Zeitinformationen, für die GPS Positionierung zur Verfügung. Damit kann die Zeit für die Satellitenakquisition reduziert und die Reichweite von GPS erhöht werden.

## 2.2 Positionsbestimmung mit WLAN

Neben dem Mobiltelefon gewann der Einsatz von WLAN (Wireless Local Area Networks) in den letzten Jahren an großer Bedeutung. WLAN verwendet Funksignale, die auf dem internationalen Standard IEEE 802.11 des Instituts of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) basieren (siehe z.B. Schill 2004). In einem WLAN Netz gibt es sog. Access Points (oder Hotspots), die vergleichbar mit den Basisstationen in einem Mobilfunknetz sind. Der Nutzer kann mit Hilfe verschiedener Verfahren geortet werden. Als Messgröße eignet sich der Signalpegel der Funksignale, die von verschiedenen Access Points empfangen werden. Aus der Signalstärkemessung kann eine Distanz zwischen dem Access Point und der aktuellen Position des Nutzers abgeleitet werden und über Trilateration der Ort des Nutzers bestimmt werden (siehe z.B. Bastisch et al. 2003). Dieses Verfahren hat jedoch den großen Nachteil, dass die gemessenen Signalpegel der Funksignale nicht einfach in eine Strecke umgerechnet werden können, da die Pegel nicht nur in Abhängigkeit von der Distanz

zum Access Point abnehmen, sondern sehr stark von Multipath und anderen Fehlereinflüssen im Gebäude abgeschwächt werden (siehe Abbildung 2). Wie aus der Abbildung 2 ersichtlich ist, nimmt die Signalstärke nicht nur hinter Wänden stark ab, sondern sie kann auch bei freier Ausbreitung der Strahlen stark abnehmen. Die Signalstärke ist also nicht ausschließlich streckenabhängig und es entstehen auch bei freier Ausbreitung Signalstärkemuster, die nicht ohne weiteres erklärbar sind.

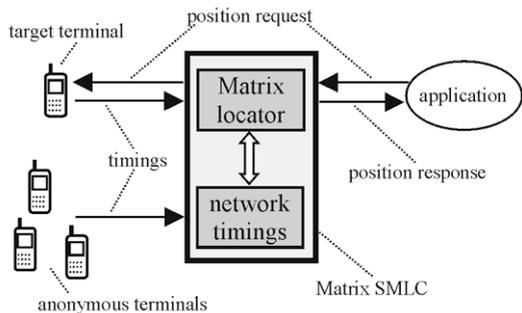


Abb. 1: Prinzip der Matrix Methode zur Lokalisierung von Mobiltelefonen (nach Duffett-Smith und Craig 2004)

Diese Nachteile treten bei dem sog. Fingerprint-Verfahren nicht auf, bei dem die gemessenen Signalpegel direkt für die Positionsbestimmung herangezogen werden (siehe Abbildung 3). Hier werden die gemessenen Signalstärken zu den Access Points nicht in Distanzen umgerechnet, sondern die Messwerte werden mit Signalpegelwerten von Kalibrierungspunkten, die in einer Datenbank gespeichert sind, verglichen, um die aktuelle Position des Nutzers abzuleiten. Für die Positionsbestimmung in einem Gebäude muss vorerst die Datenbank aufgebaut werden und es müssen dazu Kalibrierungsmessungen im gesamten Gebäude ausgeführt werden, damit festgestellt werden kann, in welchem Raum sich der Benutzer gerade befindet. Da die aktuell gemessenen Signalstärken und die in der Datenbank gespeicherten Werte in der Praxis nicht identisch sind, erfolgt die Zuweisung der Position durch Zuhilfenahme statistischer Kenngrößen. Verbunden mit einer Postprocessing Bearbeitung zur Ermittlung der wahrscheinlichsten Position reicht für diese Methode als Minimalkonfiguration die Messung zu einem Access Point aus. Von der Fa. IMST werden 1 bis 3 m als erreichbare Genauigkeit für die Positionierung in einem Testgebäude angegeben (Imst 2004). Der große Vorteil von diesem Verfahren ist die wesentlich

höhere Positionierungsgenauigkeit im Vergleich zur Signalstärkemessung mit Distanzbestimmung. Der Einrichtungsaufwand (Kalibrierung des Messsystems) ist allerdings sehr groß und bei baulichen Veränderungen müssen neue Referenzen in der Datenbank hinterlegt werden (Retscher und Thienelt 2004).

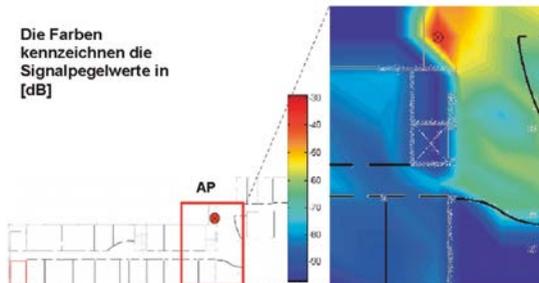


Abb. 2: Verteilung der Signalstärke in einem Bürogebäude der Fa. IMST für die Signalstärkemessungen von einem Access Point AP (nach Imst, 2004)

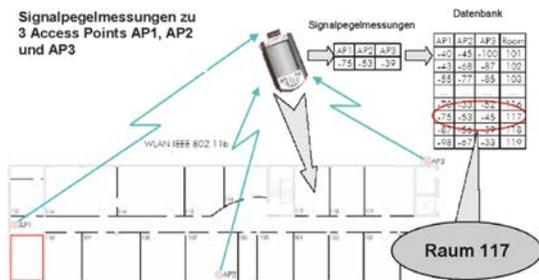


Abb. 3: Prinzip des Fingerprint-Verfahrens zur Positionsbestimmung in einem WLAN Netzwerk mit drei sichtbaren Access Points (nach Imst, 2004)

### 2.3 Positionsbestimmung mit UWB

Ultra Wideband (UWB) Systeme, welche Bandweiten über 1 GHz einsetzen, wurden zur Datenübertragung mit hohen Übertragungsgeschwindigkeiten entwickelt und unter IEEE 802.15.3a standardisiert. Diese können zur genauen Laufzeitmessung (Time of Arrival ToA) oder Laufzeitdifferenzmessung (Time Difference of Arrival TDoA) von Signalen mehrerer Basisstationen für die Positionsbestimmung in Gebäuden eingesetzt werden (Pahlavan et al. 2002, Kong et al. 2004). Im Gegensatz zu WLAN konnte gezeigt werden, dass UWB Signale nicht von Multipath beeinträchtigt werden und sich somit besonders zur Distanzmessung in Gebäuden eignen (Win and Scholtz 1998). Kong et al. (2004) konnte Positionierungsgenauigkeiten im Bereich

von 0.2 to 1 m bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 67 % für die Positionierung in einem Bürogebäude mit Messungen zu 8 Basisstationen erreichen.

## 2.4 Positionsbestimmung mit RFID

Radio Frequency Identification (RFID) wird in der Konsumgüterindustrie für die berührungslose Übertragung von Produktinformationen eingesetzt und wird in Zukunft höchstwahrscheinlich den Strichcode zur Produktidentifikation ersetzen. Prinzipiell besteht die RFID Technologie aus drei Komponenten, nämlich einem Transponder (oder Tag), dem Lesegerät und einer Antenne (siehe z.B. Finkenzeller 2002). Das Lesegerät kann die auf dem Tag gespeicherten Informationen lesen, wobei die Reichweite bei maximal 6 m im Falle von Tags mit eigener Stromversorgung liegt. Um RFID für die Positionierung einzusetzen, besteht die Möglichkeit die Umwelt mit RFID Tags auszustatten, auf denen der Ort gespeichert ist, und dem mobilen Nutzer ein Lesegerät samt Antenne zur Verfügung zu stellen. Möchte man RFID z.B. in der Fahrzeugnavigation einsetzen, so kann man RFID Tags entlang von Straßenabschnitten anbringen, in denen keine Positionierung mit GNSS möglich ist (z.B. im Tunnel, unter Brücken, etc.), und das Fahrzeug mit einen RFID Lesegerät und Antenne ausstatten (Chon et al. 2004). Wenn das Fahrzeug einen RFID Tag passiert, so wird seine Kennung und zusätzliche Informationen über den Tag gelesen und man weiß somit, wo man sich gerade befindet. Dabei kann der Tag bei Fahrzeuggeschwindigkeiten bis zu 150 km/h zuverlässig gelesen werden. Eine weitere Anwendung wäre die Fußgängernavigation, wenn bestimmte Sehenswürdigkeiten (Landmarks bzw. Points of Interest) mit RFID Tags ausgestattet werden und diese zur Positionsbestimmung herangezogen werden. Dies führt zum Konzept der sog. Aktiven Landmarks (siehe Brunner-Friedrich 2004), wo der Nutzer eines Navigationssystems mit Hilfe seiner „smarten“ Umgebung seinen aktuellen Aufenthaltsort bestimmt.

## 2.5 Positionsbestimmung mit Bluetooth

Bluetooth, das ursprünglich zur Datenübertragung über kurze Reichweiten (maximal 10 m) entwickelt wurde, kann auch für die Positionierung eingesetzt werden, wenn es ausreicht, den Ort des Nutzers durch eine Zelle mit einem Radius von 10 m zu beschreiben, wenn er sich gerade im Empfangsbereich eines Bluetooth Senders befindet. Aktive Landmarks können z.B. mit Blue-

tooth Sendern ausgestattet werden und der Nutzer hat ein mobiles Endgerät mit Bluetooth. Betritt der Nutzer nun den Empfangsbereich des Senders wird eine Verbindung hergestellt und er erhält die Koordinaten des Landmarks übermittelt (Brunner-Friedrich 2004).

## 2.6 Weitere Verfahren zur Positionsbestimmung in Gebäuden

Für die Positionsbestimmung in Gebäuden wurden noch andere Methoden entwickelt, wobei einige dieser Verfahren Transponder oder Sender nutzen, die im Gebäude installiert sind oder vom Nutzer getragen werden. Das sog. Active Badge System verwendet Infrarotsender (die sog. Active Badges), die jeweils von einer Person getragen werden und in regelmäßigen Zeitabständen einen eindeutigen Infrarotimpuls aussenden, der von Infrarotsensoren, die im Gebäude installiert sind, empfangen wird. Somit kann festgestellt werden, in welchem Raum eines Gebäudes sich der Nutzer gerade aufhält. Eine Umkehrung des Konzepts ist auch möglich, wobei nun die Infrarotsender im Gebäude installiert werden und der Nutzer einen Infrarotsensor trägt. Die Bestimmung der Position des Nutzers muss dann von einem mobile Computer übernommen werden. Anstelle von Infrarot kann auch Ultraschall für die Positionierung eingesetzt werden. Beim sog. Active Bat System trägt der Nutzer einen Ultraschallsender (sog. Bat), der auf Anforderung einen kurzen Ultraschallimpuls aussendet. Dieser wird von Empfängern, die im Gebäude in einem regelmäßigen Raster im Plafond installiert sind, empfangen und es wird die Laufzeit des Impulses bestimmt. In einem Server wird dann die momentane Position des Nutzers berechnet (Roth 2004). Eine weitere Möglichkeit sind visuelle oder optische Trackingverfahren, bei denen spezielle Zielmarken im Gebäude angebracht werden, die zur Navigation und Positionsbestimmung des Nutzers eingesetzt werden (siehe z.B. Newman et al. 2004).

Neue Entwicklungen im Bereich der Satellitenpositionierung haben auch GPS Empfänger hervorgebracht, die in der Lage sind, auch sehr schwache GPS Signale in Gebäuden zu empfangen. Dies wird auch als „High Sensitive“ GPS (HSGPS) bezeichnet. Untersuchungen von Lachapelle (2004) haben gezeigt, dass mit diesen Systemen jedoch eine wesentlich geringere Genauigkeit für die Positionierung in Gebäuden als bei freier Sicht zu den Satelliten in Abhängigkeit von der Anzahl der verfügbaren Satelliten und deren geometrischer Konfiguration

erzielt werden kann. Dabei stellt die Hauptfehlerquelle die Mehrwegausbreitung der Signale (Multipath) dar. Neben High Sensitive GPS können auch für hochgenaue Positionierung in Gebäuden sog. Pseudolites (kurz für Pseudo-Satellites) eingesetzt werden, die GPS Signale aussenden. Von der australischen Firma Locata wurde ein Positionierungssystem entwickelt, das sowohl in als auch außerhalb von Gebäuden eingesetzt werden kann. In diesem Fall werden sog. Locatalites installiert, die GPS ähnliche Signale im ISM Frequenzband (2,4 GHz) aussenden. Der Nutzer hat einen Empfänger und die Positionierung erfolgt wie bei RTK GPS mit OTF Ambiguity Resolution. Mit diesem System können Genauigkeiten im cm-Bereich erzielt werden. Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass das System im Gegensatz zu GPS nicht von Multipath in Innenräumen beeinträchtigt wird (Barnes et al. 2003).

Für eine dreidimensionale Positionierung in einem mehrstöckigen Gebäude ist auch die Angabe des korrekten Stockwerks von großer Bedeutung. Eine entscheidende Verbesserung liefert hier der Einsatz eines Barometers zur Höhenbestimmung (Retscher 2004).

### 3. Integration der Positionierungsverfahren

Zur Integration der Messungen der verschiedenen Sensoren wird in modernen Navigationssystemen in der Regel ein Kalman Filter eingesetzt. Ein möglicher Ansatz ist z.B. in Retscher und Mok (2004) beschrieben. Hier erfolgt eine kombinierte Positionsbestimmung aus den Messungen aller verfügbaren Sensoren in einem kaskadenförmigen Kalman Filter. Im Falle der Navigation eines Fahrzeugs kann im Anschluss die resultierende Trajektorie einer digitalen Straßenkarte mit Hilfe der Kartenvergleichstechnik (Map Matching) überlagert werden. Kealy und Scott-Young (2004) haben den Prozess des Map Matchings in den Kalman Filter Ansatz integriert, in dem die Koordinaten des zugeordneten Straßenabschnitts als zusätzliche Beobachtungen in den Filter eingeführt werden. Dies wird auch als „Intelligent Navigation“ bezeichnet und bringt eine wesentliche Verbesserung für die optimale Schätzung der unbekannt Parameter vor allem beim Ausfall der GPS Beobachtungen. Eine kurze Beschreibung des Ansatzes findet man auch in Retscher und Kealy (2005). Dieser Ansatz soll auch für die kombinierte Positionsbestimmung eines Fußgängers im Projekt NAVIO (Gartner et al. 2004) verwirklicht werden.

### 4. Anwendung der Positionierungsverfahren in LBS und persönlicher Navigation

Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der Einsatzmöglichkeiten der Positionierungsverfahren in ausgewählten Systemen. Dabei wurde eine Gliederung in drei Teilbereiche vorgenommen, nämlich in Anwendungen mit Mobiltelefonen, ortsbezogene Dienste und Navigationssysteme für Fußgänger (wobei einige Systeme speziell für die Führung von sehbehinderten Personen entwickelt wurden). Aus der Tabelle 2 ist ersichtlich, dass Systeme, die eine Navigation ermöglichen, hauptsächlich auf ein GNSS vertrauen. Die Systeme, die nur eine grobe Positionierung zum Ziel haben, verwenden die Ortung mittels Mobiltelefonen. Ausnahme ist der mobile Stadtführer Lol@, der zwar eine grobe Positionierung mit dem Mobiltelefon herstellt, aber zusätzlich noch eine manuelle Verfeinerung (z.B. durch manuelle Eingabe der Adresse des Standortes) verlangt. Eine „on-line“-Navigation ist zwar nicht möglich, aber doch eine Führung mittels einer Karte, die sich stetig der aktuellen Position anpasst. Das Mobiltelefon wird in vielen Fällen zur Datenübertragung benötigt, um vor allem in LBS entsprechende ortsbezogene Informationen aus einer Datenbank zur Verfügung stellen zu können. Neben dem Mobiltelefon und einem GNSS sind mit Ausnahme im System Drishti und NAVIO nur wenige weitere Sensoren in den einzelnen Systemen integriert, die einen Ausfall dieser Sensoren überbrücken könnten. Die Koppelnavigation im System Drishti erfolgt allerdings nur mit einer vorweg angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit und einem Kompass. Der Kompass wiederum dient hauptsächlich der Orientierung und wird in den seltensten Fällen für eine verfeinerte Positionsbestimmung eingesetzt. Im Fußgängernavigationssystem NAVIO erfolgt die Bestimmung des zurückgelegten Weges über Ableitung der Schritte aus Messungen mit Beschleunigungssensoren und die Bestimmung der Orientierung aus einer kombinierten Richtungsmessung mit Hilfe eines digitalen Kompasses und eines Kreisel.

### 5. Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz der in diesem Beitrag vorgestellten Positionierungsverfahren und –methoden führt zu einer wesentlichen Steigerung der Leistungsfähigkeit und Erhöhung der Zuverlässigkeit von modernen, intelligenten Navigationssystemen und –diensten. Es ist zu erwarten, dass zukünftige Dienste (z.B. Location Based Services, mobile Navigationssysteme) vermehrt diese Technolo-

gien einsetzen werden. Aufgrund der Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden ist eine Kombination verschiedener Verfahren sinnvoll, bei der die Nachteile des einen Systems durch die

Vorteile eines anderen kompensiert werden. In dem Forschungsprojekt NAVIO (Gartner et al. 2004) werden diese Technologien auf ihre Einsetzbarkeit und Leistung näher untersucht.

Anwendung / System		Allgemeine Kriterien				Sensoren zur Positionsbestimmung						
		Navigation	GIS/Datenbank	Mobiltelefon für Datenübertragung	Kompass für Orientierung	GNSS	Indoor Positionierung	Mobiltelefon für Positionierung	Koppelnavigation	Kompass für Koppelnavigation	Kartenvergleichstechnik	Beschleunigungssensoren
Anwendung mit dem Mobiltelefon	Notrufgespräch			✓				✓				
	Pannennotruf			✓				✓				
	Überwachung			✓				✓				
	Friend Finding		✓	✓				✓				
Location Based Service	A1-Mobilguide		✓	✓					✓			
	3 Geo	✓	✓	✓		✓			✓			
	Lo@	✓	✓	✓					✓			
	VISPA	✓	✓	✓	✓	✓						
Navigationssysteme für Fußgänger	MoBIC	✓	✓	✓	✓	✓						
	Drishti	✓	✓			✓			✓	✓	✓	
	MERL	✓	✓			✓	✓					✓
	NAVIO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Tabelle 2:** Vergleich von verschiedenen Systemen zur Positionierung und Navigation von Fußgängern und in LBS mit A1-Mobilguide:

LBS des Mobilfunkbetreibers A1 in Österreich

3 Geo: LBS des Mobilfunkbetreibers Drei in Österreich

Lo@: Local Location Assistant, Mobiler Stadtführer für die Innenstadt von Wien (Lechthaler und Uhriz 2002)

VISPA: Virtual Sports Assistant, Location Based Service für Bergsteiger und Wanderer (Reinhardt et al. 2002)

MoBIC: Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers, Navigationssystem für sehbehinderte Personen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Mobic 2005)

Drishti: Navigationssystem für sehbehinderte Personen der Universität Florida (Helal et al. 2001)

MERL: Mitsubishi Electric Research Laboratories, Navigationssystem für sehbehinderte Personen, Cambridge U.S.A. (Merl 2002)

NAVIO: Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld, Navigationssystem der Technischen Universität Wien (Gartner et al. 2004)

## Acknowledgements

Die in dieser Arbeit präsentierte Forschung wird vom FWF Projekt NAVIO (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld) des Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, Österreich, Projektnr. P16277-N04, unterstützt.

## Literaturverzeichnis

- [1] Barnes, J, Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voigt, G. and Gambale, N. (2003): High Precision Indoor and Outdoor Positioning using LocataNet, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 2, No. 2, pp. 73-82.
- [2] Bastisch H., S. Häfker, J. Krause, S. Wilking, B. Haje, (2003): Projekt NOM@D – Location Based Services. Präsentation, Kommunikationsnetze, Universität Bremen, Deutschland, [www.comnets.uni-bremen.de/itg/itgfg521/aktuelles/fg-treffen-230103/20030120-LBS-Allgemein-v2.pdf](http://www.comnets.uni-bremen.de/itg/itgfg521/aktuelles/fg-treffen-230103/20030120-LBS-Allgemein-v2.pdf), Last access 01.2005.
- [3] Beal, J. R. (2003): Contextual Geolocation – A Specialized Application for Improving Indoor Location Awareness in Wireless Local Area Networks, in: Papers presented at the Midwest Instruction and Computing Symposium MICS2003, The College of St. Scholastica, Duluth, Minnesota, USA, [www.css.edu/depts/cis/mics\\_2003/MICS2003\\_Papers/Beal.PDF](http://www.css.edu/depts/cis/mics_2003/MICS2003_Papers/Beal.PDF), Last access 01.2005.
- [4] Brunner-Friedrich, B. (2004): The Use of Landmarks and Active Landmarks in Pedestrian Navigation Systems in Combined Indoor/Outdoor Environments, Technical Report, [cartography.tuwien.ac.at/forschung/NAVIO/papers/WP3\\_WPG4.pdf](http://cartography.tuwien.ac.at/forschung/NAVIO/papers/WP3_WPG4.pdf), Last access 01.2005.
- [5] Chon, H. D., Jun, S., Jung, H. and An, S. W. (2004): Using RFID for Accurate Positioning, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 10 pgs.
- [6] Crossbow (2004a): IMU700CA – Fiber Optic Gyro Based IMU, Product Information, Crossbow, USA, [www.xbow.com/Products/Product\\_pdf\\_files/Inertial\\_pdf/6020-0037-01\\_B\\_IMU700CA.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Inertial_pdf/6020-0037-01_B_IMU700CA.pdf), Last access 12.2004.
- [7] Crossbow (2004b): CXTD Digital Tilt and Acceleration Sensor, Product Information, Crossbow, USA, [www.xbow.com/Products/Product\\_pdf\\_files/Tilt\\_pdf/6020-0012-01\\_B\\_CXTD.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Tilt_pdf/6020-0012-01_B_CXTD.pdf), Last access 12.2004.
- [8] Duffett-Smith, P. J. and Craig, J. (2004): Matrix, and Enhanced Satellite Positioning, Invited paper presented at the 5<sup>th</sup> IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, Savoy Place, London, UK, 18-20 October 2004, 4 pgs.
- [9] Finkenzeller, K. (2002): RFID Handbook: Fundamentals and Application in Contactless Smart Cards and Identification, Carl Hanser Verlag, Munich, Germany.
- [10] Gartner, G., Frank, A. and Retscher, G. (2004a): Pedestrian Navigation System for Mixed Indoor/Outdoor Environments, in: Gartner G. (Ed.): Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation, TU Wien, Heft 66, Papers presented at the 2<sup>nd</sup> Symposium on Location Based Services and Telecartography, January 28-29, 2004, Vienna, Austria, pp. 161-167.
- [11] Gartner, G., Frank, A. and Retscher, G. (2004b): Pedestrian Navigation System in Mixed Indoor/Outdoor Environment – The NAVIO Project, in: Schrenk M. (Ed.): CORP 2004 and Geomultimedia04. Proceedings of the CORP 2004 and Geomultimedia04 Symposium, February 24-27, 2004, Vienna, Austria, pp. 165-171, [corp.mmp.kosnet.com/CORP\\_CD\\_2004/archiv/papers/CORP2004\\_GARTNER\\_FRANK\\_RETSCHER.PDF](http://corp.mmp.kosnet.com/CORP_CD_2004/archiv/papers/CORP2004_GARTNER_FRANK_RETSCHER.PDF), Last access 12.2004.
- [12] Helal, A. S., Moore, S. E., Ramachandran, B. (2001): Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled., in: Proc. of the Fifth International Symposium on Wearable Computers, S. 149-156.
- [13] Honeywell (2004): HMR 3000 Digital Compass Module, User's Guide, Honeywell International Inc., USA, [www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/hmr3000\\_manual.pdf](http://www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/hmr3000_manual.pdf), Last access 12.2004.
- [14] IEEE 802.11 (2004): IEEE 802.11<sup>TM</sup> Wireless Local Area Networks – The Working Group for WLAN Standards, [grouper.ieee.org/groups/802/11/](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/), Last access 12.2004.
- [15] Imst (2004): Indoor Locating – Imst ipos, Project c21, Presentation, IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Str. 2, D-47475 Kamp-Lintfort, Germany.
- [16] Kealy, A. N. and Scott-Young, S. (2004): An Integrated Position and Attitude Determination System to Support Real-Time, Mobile, Augmented Reality Applications, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 17 pgs.
- [17] Kong, H., Kwon, Y. and Sung, T. (2004): Comparisons of TDOA Triangulation Solutions for Indoor Positioning, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 11 pgs.
- [18] Lachapelle, G. (2004): GNSS Indoor Location Technologies, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 15 pgs.
- [19] Lechthaler, M. und Uhriz, S. (2002): Lol@ – City Guide. Prototyp einer kartenbasierten UMTS Anwendung, in: Kelnhofer, F., Lechthaler, M., Brunner, K. (eds.): Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation, TU Wien, Heft 58, S. 171-182.
- [20] MERL (2002): Produktbeschreibung des Local Positioning System MERL. Mitsubishi Electric Research Laboratories, Cambridge, U.S.A, [www.merl.com](http://www.merl.com), Last access 08.2002.
- [21] MoBIC (2005): Das MoBIC ("Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers") Project, Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, [simsrv.cs.uni-magdeburg.de/projects/mobic/mobicde.html](http://simsrv.cs.uni-magdeburg.de/projects/mobic/mobicde.html), Last access 01.2005).
- [22] Newman, J., Wagner, M., Bauer, M., Mac Williams, A., Pintaric, T., Beyer, D., Pustka, D., Strasser, F., Schmalstieg, D. and Klinker, G. (2004): Ubiquitous Tracking for Augmented Reality, Technical Report, Vienna University of Technology, [www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/ubitrackismar04.pdf](http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/ubitrackismar04.pdf), Last access 12.2004.
- [23] Pahlavan, K. Li, X. and Mäkelä, J.-P. (2002): Indoor Geolocation Science and Technology, IEEE Communications Magazine, February 2002, pp. 112-118.

- [24] *PointResearch (2004)*: DRM-III Dead Reckoning Module – Engineering Development Tools, PointResearch Corporataion, USA, [www.pointresearch.com/drm\\_eval.htm](http://www.pointresearch.com/drm_eval.htm), Last access 12.2004.
- [25] *Reinhardt, W., Sayda, F. und Wittmann, E. (2002)*: Location Based Services für Bergsteiger und Wanderer – erste Erfahrungen mit VISPA, in: Kelnhofer, F., Lechthaler, M., Brunner, K. (eds.): *Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation*, TU Wien, Heft 58, S. 163-169.
- [26] *Retscher, G. and Mok, E. (2001)*: Integration of Mobile Phone Location Services into Intelligent GPS Vehicle Navigation Systems, in: *Papers presented at the 3<sup>rd</sup> Workshop on Mobile Mapping Technology*, January 3-5, 2001, Cairo, Egypt.
- [27] *Retscher, G. (2002)*: Einsatz von Location Based Services (LBS) als Navigationshilfe: Integration in moderne Navigationssysteme. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation*, VGI 1/02, pp. 2-12.
- [28] *Retscher, G. (2004)*: Multi-sensor Systems for Pedestrian Navigation, in: *Papers presented at the ION GNSS 2004 Conference*, September 21-24, 2004, Long Beach, California, USA, CD-Rom Proceedings, 12 pgs.
- [29] *Retscher, G. and Mok, E. (2004)*: Sensor Fusion and Integration using an Adapted Kalman Filter Approach for Modern Navigation Systems, *Survey Review*, Vol. 37, No. 292 April 2004, pp. 439-447.
- [30] *Retscher, G. and Thienelt, M. (2004)*: Die Zukunft des Einkaufens – Was können Geodäten dazu beitragen? *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, Wichmann Verlag, Heidelberg, AVN 11/12, pp. 387-393.
- [31] *Retscher, G. and Kealy, A. (2005)*: Ubiquitous Positioning Technologies for Intelligent Navigation Systems. in: *Papers presented at the 2<sup>nd</sup> Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2005*, University of Hannover, Germany, March 17-18, 2005, 10 pgs.
- [32] *Roth, J. (2004)*: Data Collection, in: Schiller, J. and Voisard A. (Eds.) (2004): *Location-Based Services*, Morgan Kaufmann Publishers, USA, pp. 175-205.
- [33] *Schill, A. (2004)*: Drahtlose lokale Netzwerke, WLAN, Vorlesungsunterlagen „Mobile Kommunikation und Mobile Computing“, Institut für Systemarchitektur, Fakultät Informatik, TU Dresden, Deutschland, [www.rn.inf.tu-dresden.de/scripts\\_jsrn/lehre/mobile/print/08.pdf](http://www.rn.inf.tu-dresden.de/scripts_jsrn/lehre/mobile/print/08.pdf), Last access 08.2004.
- [34] *Vaisala (2004)*: PTB220 Digital Barometer, Vaisala, Finland, [www.vaisala.com/DynaGen\\_Attachments/Att2468/PTB220%20Brochure.pdf](http://www.vaisala.com/DynaGen_Attachments/Att2468/PTB220%20Brochure.pdf), Last access 12.2004.
- [35] *Win, M. and Scholtz, R. (1998)*: On the Performance of Ultra-Wide Bandwidth Signals in Dense Multipath Environment, *IEEE Commun. Letters*, Vol. 2, No. 2, Feb. 1998, pp. 51-53.

#### Adresse des Autors

Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günther Retscher: Institut für Geodäsie und Geophysik, Forschungsgruppe Ingenieur-geodäsie, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29, A-1040 Wien, Österreich.  
E-mail: [gretsch@pop.tuwien.ac.at](mailto:gretsch@pop.tuwien.ac.at)