

# Mobile GIS für die Orientierung von Fußgängern in städtischen Umgebungen

Lutz Plümer, Jörg Schmittwilken, Thomas H. Kolbe

Institut für Kartographie und Geoinformation  
Universität Bonn  
Meckenheimer Allee 172  
53115 Bonn  
pluemmer@ikg.uni-bonn.de

## Kurze Zusammenfassung

Mobiltelefone und Personal Digital Assistants (PDA) werden immer kleiner und handlicher, zugleich aber auch leistungsstärker. Durch die Kombination dieser Geräte mit GPS-Empfängern ist es im Prinzip möglich, Fußgängernavigationssysteme zu entwickeln. Dabei treten Probleme auf, deren Lösung für die praktische Einsatzfähigkeit und die Akzeptanz solcher Systeme grundlegend sind. Für die Positionsbestimmung ist bekannt, dass eine reine GPS-Lösung zu ungenau ist und in Innenstädten zusätzlich durch Abschattungen und Mehrwegeeffekte gestört wird. Der hier vorgestellte Prototyp basiert auf der Integration weiterer Sensoren (Beschleunigungs-Sensoren und Kompass) in Verbindung mit Map-Matching-Techniken auf Basis stochastischer Partikelfilter. Ferner sind Routenplanungskonzepte erforderlich, die dem individuellen Verhalten von Fußgängern gerecht werden und die Möglichkeit bieten, situative Points of Interest (Hotels, Sehenswürdigkeiten usw.) einzubeziehen. Im Hinblick auf den praktischen Einsatz ist schließlich Interoperabilität ein wesentliches Erfordernis. Es wird eine Architektur auf Basis verteilter GIS-Komponenten vorgestellt, die auf GI-Diensten des OpenGIS Consortiums (OGC) aufbaut und XML-basierte Ausgabe- und Speicherformate integriert. Der Prototyp wurde 2002 und 2003 im Rahmen eines Vertiefungsprojekts am Institut für Kartographie und Geoinformation der Uni Bonn entwickelt.

## Einleitung

Fahrzeugnavigationssysteme sind seit vielen Jahren im Einsatz. Die Technik ist ausgereift und stabil, die Systeme funktionieren in der Regel reibungslos. Die Positionsbestimmung ist für den vorgegebenen Zweck hinreichend genau. Straßendaten stehen flächendeckend zur Verfügung und bieten eine räumliche Auflösung, die auch in kleineren Städten und Gemeinden wenige Wünsche offen lassen. Start- und Zielknoten können hausnummernscharf angesteuert werden. Die Präsentation ist an die Bedürfnisse des Autofahrers angepasst und kombiniert akustische und visuelle Signale. Standen noch vor wenigen Jahren nur fest eingebaute Lösungen im oberen Preissegment zur Verfügung, gibt es inzwischen eine ganze Reihe von im Low-Cost Segment, die GPS, PDA und Mobilfunk nutzen und aktuelle Verkehrsinformationen einbeziehen. PDA und Handy sind Multi-Purpose Geräte, sie dienen verschiedenen Zwecken, die Fahrzeugnavigation ist lediglich einer unter vielen.

Im Bereich der Fußgängernavigation gibt es noch keine praxisreifen Lösungen, die vom Konsumenten in großer Zahl akzeptiert werden. Das ist verwunderlich. Die An-

bieter von Mobilfunkdienstleistungen hatten im Zusammenhang mit UMTS zunächst große Hoffnungen in diesen potentiellen Markt gesetzt in der Erwartung, benutzergerechten, personalisierten „Content“ als ortsbasierten Dienst (Location Based Service) anbieten zu können. Auch die Technologie scheint bereit zu stehen. Handys, PDAs, Smartphones, GPS und miniaturisierte Digitalkameras stehen mit einem beachtlichen Leistungsumfang zur Verfügung. Jedes Einzelgerät für sich ist ausgereift. Die Integration zu Produkten, die die Fußgängernavigation wirksam unterstützen und auf Akzeptanz beim Endverbraucher hoffen können, ist noch nicht erreicht.

Wir vertreten die These, dass vor allem 3 Probleme gelöst werden müssen, damit praxistaugliche Systeme für die Fußgängernavigation entwickelt werden können:

- Genauigkeit der Positionsbestimmung in urbanen Umgebungen
- flächendeckende Verfügbarkeit von Karten und Daten
- Personalisierbarkeit

Dabei lassen sich Verfahren und Methoden, die sich im Bereich der Fahrzeugnavigation etabliert haben, *nicht direkt* auf den Bereich der Fußgängernavigation übertragen. Es müssen neue Lösungen gefunden werden, die den spezifischen Anforderungen dieser Anwendung gerecht werden.

Bei der Positionsbestimmung ist anerkannt, dass eine reine GPS-Lösung wegen des Problems der Abschattung in städtischen Umgebungen nicht akzeptabel ist. Anders als beim Fahrzeug stehen Informationen über Umfang und Drehgeschwindigkeit des Rades natürlich nicht zur Verfügung. Hinzu kommt, dass die Anforderungen an die Genauigkeit der Positionsbestimmung beim Fußgänger höher sind als beim Autofahrer. Wenn das Fußgängernavigationssystem einen der Landessprache nicht mächtigen Benutzer zur Eingangstür eines interessanten Gebäudes, beispielsweise des Beethovenhauses in der Bonner Innenstadt, lotsen soll, dann muss eine Genauigkeit der Positionsbestimmung im Bereich von 1 Meter erzielt werden. Diese Genauigkeit ist auch erforderlich, wenn zielgerichtet ortsbasierte Dienste über Mobilfunknetze angeboten werden sollen. Die Lösung des Problems der hinreichend genauen und flächendeckend verfügbaren Positionsbestimmung mit kostengünstigen Geräten von niedrigem Gewicht ist unabdingbar.

Das zweite wesentliche Erfordernis ist die flächendeckende Verfügbarkeit von Daten und Karten. Es macht keinen Sinn, ein System zu entwickeln, das in einer Stadt funktioniert und in einer anderen nicht. Navigationssysteme werden in Umgebungen eingesetzt, mit denen der Anwender gerade nicht vertraut ist. Für den Markterfolg der Fahrzeugnavigation war und ist die flächendeckende Verfügbarkeit von Daten im GDF-Standard ein wesentlicher Motor (siehe GDF 2000). Dieses Angebot wird im wesentlichen von zwei grossen privaten Unternehmen sichergestellt und ständig ausgeweitet.

Der GDF-Standard modelliert Fahrwege für Kraftfahrzeuge. Fußgänger, die sich verkehrsgerecht verhalten, benutzen andere Wege. Solche Wegedaten stehen flächendeckend nicht zur Verfügung, und es gibt noch nicht einmal anerkannte Standards, die die benötigten Informationen normieren. Wenn man an Plätze und komplizierte Kreuzungen mit Ampeln sowie Über- und Unterführungen berücksichtigt, stellt man fest, dass bereits das Modellierungsproblem keineswegs trivial ist (vgl. Kolbe 2002). Auf der anderen Seite ist der Fußgänger im Gegensatz zum Autofahrer nicht an bestimmte Fahrrichtungen gebunden. Wenn man von Problemen der Routenplanung und des Map Matchings, also der Nutzung von Wegedaten zur Korrektur der Positionsdaten absieht, decken Karten und Netzdaten im Stadtplanmaßstab einen großen Teil der Bedürfnisse ab. Die Standards des OpenGIS Consortiums (OGC) liefern einheitliche

Schnittstellen, die von öffentlichen Anbietern von GIS-Dienstleistungen insbesondere in Nordrhein-Westfalen zunehmend bedient werden (siehe GDI NRW 2004). Die Nutzung dieser Schnittstellen ist ein wesentliches Erfordernis für praxistaugliche Lösungen.

Personalisierbarkeit ist ein drittes wesentliches Erfordernis. Es geht dabei nicht nur darum, dass Anbieter ihre Daten und Dienste an die individuellen Erfordernisse und Wünsche des Nutzers anpassen. Es geht auch darum, dass der Nutzer seinerseits Informationen einspeisen kann. Vom Internet mit seinen vielfältigen Foren und Chat-Räumen, aber auch vom Mobilfunk und der Erfolgsgeschichte des SMS ist bekannt, welche Bedeutung die Möglichkeit der spontanen Bildung von Communities in virtuellen Räumen hat. Diese Bedeutung sollte in realen Räumen nicht geringer sein. Im Gefolge von SMS und GMS macht es Sinn, über die Bereitstellung von *Geocoded Multimedia Message Services (GMMS)* nachzudenken.

Fußgängernavigationssysteme und touristische Informationssysteme sind in den vergangenen Jahren von mehreren Arbeitsgruppen untersucht worden, und es liegen mehrere Prototypen vor, die sich auf spezielle Aspekte des Systementwurfs konzentrieren. Pioniere auf diesem Gebiete sind die Forschungsprototypen Cyberguide (Abowd u. a. 1997) und GUIDE (Cheverest u.a. 2000), die als erste versucht haben, kontextbezogene Information über ein mobiles GIS mit geeigneter Hardware dem Benutzer anzubieten. Cyberguide konzentriert sich auf Indoor – Szenarien und benutzt Infrarot-Signale, um die Architektur von Gebäuden als Agglomeration einzelner Zellen zu beschreiben. GUIDE fokussiert auf Outdoor-Szenen und touristische Anwendungen, ist ebenfalls zellbasiert und nutzt WLAN-Stationen, um den Anwender vor Ort mit relevanten Daten und Informationen zu versorgen.

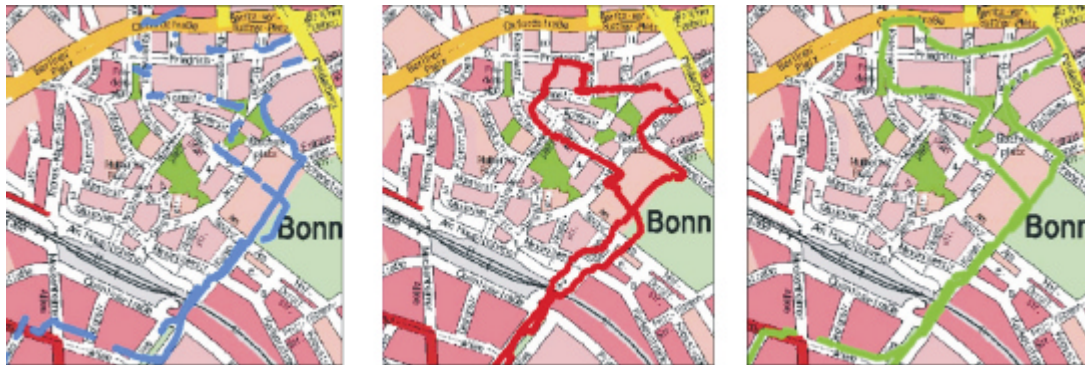
Aus dem deutschsprachigen Raum sind vor allem LoL@ an der Technischen Universität Wien (Pospishil u.a. 2002, Gartner und Uhlirz 2001 und Gartner 2003) sowie DEEP MAP (Malaka und Zipf 2000) vom European Media Lab in Heidelberg zu erwähnen. DEEP MAP fokussiert auf eine Reihe von kognitiven Aspekten, den Entwurf der Benutzerschnittstellen bis hin zur Integration natürlicher Sprache. LoL@ ist ein touristischer Führer für die Stadt Wien und konzipiert als mobile Anwendung für UMTS.

Zur Positionsbestimmung für Fußgänger hat Quentin Ladetto mehrere bemerkenswerte Veröffentlichungen vorgelegt (Ladetto u.a. 2001, Ladetto und Merminod 2002). Ladetto verfolgt einen Multisensoransatz, der GPS mit Dead Reckoning Strategien kombiniert und dabei Beschleunigungsmesser als Schrittzähler einsetzt. Richtungsinformationen werden durch einen magnetischen Kompass bzw. ein Gyroskop gewonnen. Anwendungen liegen im militärischen Bereich, bei Katastrophenszenarien und der Unterstützung sehbehinderter Personen. Retscher und Skolaut haben, angestoßen durch das Wiener Lol@-Projekt die Eignung verschiedener Messsensoren hinsichtlich der Anforderungen der Fußgänger-Navigation untersucht. Sie plädieren für eine Integration von DGPS, einer inertialen Messeinheit und anderen Sensoren, kommen dabei aber zu einer Kostenschätzung von 30.000 – 40.000 € um Genauigkeiten im Meterbereich zu erzielen.

Wir stellen im folgenden den Prototypen eines komponentenbasierten Systems vor, der auf GI-Diensten des OpenGIS Consortiums (OGC) aufbaut und XML-basierte Ausgabe- und Speicherformate integriert. Die Positionsbestimmung erfolgt durch Integration von Low Cost Sensoren und Map Matching auf Basis stochastischer Partikelfilter. Der Prototyp wurde 2002 und 2003 im Rahmen eines Vertieferprojekts am Institut für Kartographie und Geoinformation der Uni Bonn entwickelt.

## Positionsbestimmung

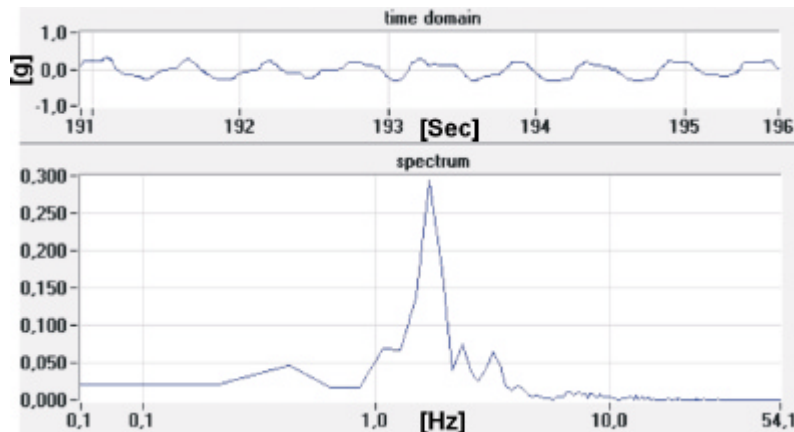
Zur Bestimmung der aktuellen Position eines Schiffes, Flugzeugs oder eines Autos wird standardmäßig das Global Positioning System (GPS) genutzt, wenn auch nicht ausschließlich. Für die Lokalisierung von Fußgängern ist GPS weniger geeignet. Maßgeblich verantwortlich für die Güte und Präzision einer GPS-Position ist die freie Sicht zu den Satelliten und das Fehlen störender Mehrwegeeffekte. Unter diesen Voraussetzungen liegt die Genauigkeit bei sechs bis zehn Metern (siehe Retscher und Skolaut 2003). Insbesondere in Innenstädten mit hohen Häuserschluchten ist die Genauigkeit der Positionierung – wenn diese überhaupt möglich ist – um ein Vielfaches schlechter. Abbildung 1 (links) zeigt das Ergebnis eines Feldtests mit dem Handgerät „Etrex Summit“ der Fa. Garmin in Bonn. Vor allem im Innenstadtbereich kommt es sehr häufig zu Signalabbrissen und großen „Sprüngen“ der Position.



**Abbildung 1: Trajektorien der Feldversuche in Bonn. Links: Einfrequenz GPS-Empfänger, Mitte: PointMan INS mit systemeigenem GPS-Empfänger, Rechts: PointMan INS mit extern eingespeister GPS-Positionierung**

Zur Verbesserung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Positionsbestimmung wurde aus diesem Grund ein Multisensorsystem realisiert, dem neben GPS-Empfang noch Messwerte eines Kompass und eines Beschleunigungssensors zugeführt werden. Idee dieses *Inertial Navigation System* (INS) ist es, die Position des Nutzers von einer mit GPS bestimmten absoluten Position aus relativ weiterzuführen, wenn der GPS-Empfang abreißt. Dieses Vorgehen ist in der Geodäsie als „polares Anhängen“ bekannt und erfordert Richtung und Strecke als Parameter. Die Richtung lässt sich leicht aus dem Kompass-Signal gewinnen. Die exakte Ermittlung der zurückgelegten Strecke eines Fußgängers ist jedoch ein wenig komplizierter. Bei der Fahrzeugnavigation geschieht dies durch ein Odometer – einen Wegmesser – der die Anzahl der Umdrehungen eines Rades zählt und mit dem Reifenumfang multipliziert (vgl. Czommer 2000). Ein ähnliches Vorgehen ist auch bei Fußgängern möglich. Grundlage bildet die einfache Gleichung  $Strecke = Schrittzahl * Schrittlänge$ . Dazu ist die Anzahl der Schritte zu bestimmen. Eine Betrachtung der Bewegung der Hüfte beim Gehen oder Laufen lässt klare Charakteristiken erkennen. Die vertikalen und transversalen Bewegungen des Fußgängers werden mit einem an der Hüfte befestigten Beschleunigungssensor aufgezeichnet. Hier wird ein 2-Achs-Sensor vom Typ *ADXL202* der Firma *Analog Devices* (Messbereich: -2g bis +2g, Kosten: ca. 25€, siehe Analog Devices 2004) verwendet, dessen Signal mit einer Fouriertransformation vom Zeit- ins Frequenzspektrum übertragen wird. Abbildung 2 zeigt eine solche Analyse. Die klar er-

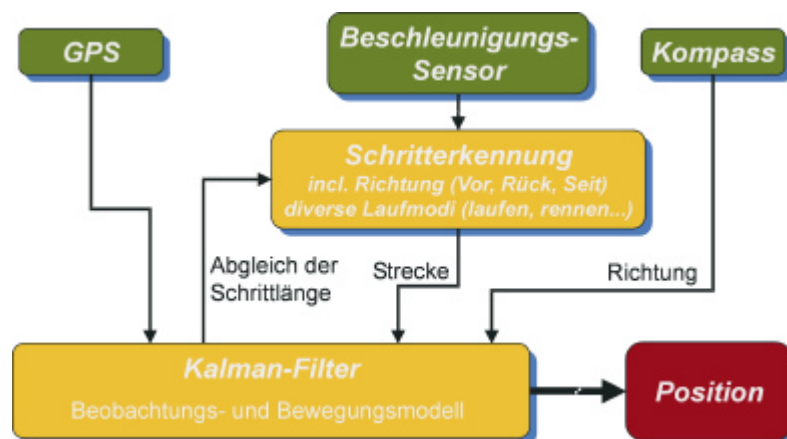
kennbare Hauptfrequenz von ca. 2Hz entspricht der Schrittfrequenz, die multipliziert mit der Zeit und der Schrittlänge die zurückgelegte Strecke ergibt.



**Abbildung 2: Signal des Beschleunigungssensors (oben) und seine Fouriertransformation ins Frequenzspektrum (unten).**

Die Lösung des eigentlichen Problems – die Bestimmung der Position zum Zeitpunkt  $t$  - erfolgt nun durch eine Kalmanfilterung, die auf Grundlage der Position zum Zeitpunkt  $t-1$  und der zugeführten Sensormessungen eine optimale Lösung nach der Methode der kleinsten Quadrate schätzt. Die so geschätzten Werte können natürlich wiederum zum rekursiven Abgleich der vorgegebenen Schrittlänge herangezogen werden. Konzepte, die diesen Ansatz verfolgen, wurden in der Vergangenheit bereits von (Judd 1997) und Ladetto et al. (Ladetto 2001, Ladetto 2002) vorgestellt.

Der beschriebene Signalfluss wird in Abbildung 3 noch einmal verdeutlicht. In diesem Projekt kommt das für die US Army entwickelte Produkt *PointMan* der Firma *Point Research Cooperation* zum Einsatz (PointResearch 2004). Der oben beschriebene Beschleunigungssensor *ADXL202* wird auch in diesem System verwendet, das alle oben beschriebenen Funktionalitäten bietet.



**Abbildung 3: Signalfluss des PointMan Navigationssystems**

Die Ergebnisse der Felduntersuchung des PointMan auf der Teststrecke quer durch Bonn sind ebenfalls in Abbildung 1 (Mitte) zu sehen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen des GPS-Empfängers kommt es beim PointMan nur sehr selten zu Signalabbrüchen. Die Trajektorie ist aber im nördlichen Teil (Innenstadt) geschwenkt und maßstäblich verzerrt. Dies hat mehrere Ursachen, die nicht systematischer Natur sondern Eigenarten des verwendeten Systems sind. Es hat sich herausgestellt, dass von dem internen

GPS-System (Antenne und Empfänger) des *PointMan* im Vergleich zu dem Gerät der Firma *Garmin* relativ schlechte Positionsdaten geliefert werden. Darüber hinaus führt ein eingebauter, nicht zu deaktivierender Stromsparmmodus dazu, dass das *PointMan*-eigene GPS-Gerät regelmäßig ausgeschaltet wird. Es handelt sich hier um Abschaltintervalle von ca. vier Minuten. Nach dieser Pause wird das GPS-System wieder für ein paar Sekunden aktiviert. Gerade bei den schlechten Empfangsmöglichkeiten im Innenstadtbereich erweist sich dieses Vorgehen als gravierender Nachteil, denn es ist sehr unwahrscheinlich, gerade in dieser kurzen „Wachphase“ des Gerätes ein GPS-Signal zu empfangen. Somit wäre das *PointMan* System zur Fußgängernavigation im Innenstadtbereich unbrauchbar, gäbe es nicht die Möglichkeit, ein externes GPS-Signal einzuspeisen. Zu diesem Zweck wird im System der oben erwähnte Einfrequenzempfänger der Firma *Garmin* verwendet. Da *PointMan* und ein externes GPS-Gerät autonom sind und somit asynchron arbeiten, ist es notwendig, ein Modul einzubinden, das die parallele Kommunikation der beiden Sensoren ermöglicht. Im vorgestellten Prototypen übernehmen zwei in *Java* programmierte *Threads* diese Aufgabe. Sie laufen auf einem Notebook mit zwei seriellen Schnittstellen. Hier wird auch eine Koordinatentransformation vom GPS-üblichen räumlichen Bezugssystem WGS84 in das Gauß-Krüger-System realisiert. Die Ergebnisse eines Tests mit dieser Systemerweiterung sind ebenfalls in Abbildung 1 (rechts) dargestellt.



**Abbildung 4: Detailansicht der Positionierung mit *PointMan* und extern eingespeistem GPS-Signal in der Bonner Innenstadt (links). Ungenauigkeiten (z.B. „Schneiden der Kurve“ durch Häuserblock) können mit MapMatching Techniken korrigiert werden. Rechts: Prinzipskizze**

Bei näherer Betrachtung (vgl. Abbildung 4) sind immer noch Ungenauigkeiten festzustellen. Links im Bild bewegt sich die Testperson anscheinend zwischen zwei Straßen und etwas weiter rechts (beim Einbiegen in die Friedrichstraße) sogar durch einen Häuserblock. Diese Fehler lassen sich mit MapMatching Techniken zur Einpassung der Trajektorie in eine Knoten-Kanten-Struktur beheben (vgl. Czommer 2000). Das Prinzip dieses Verfahrens ist in Abbildung 4 (rechts) dargestellt. Es setzt aber voraus, dass ein geeigneter Wegenetzgraph zur Verfügung steht. Das in der Fahrzeugnavigation etablierte Verfahren lässt sich nicht direkt auf die Fußgängernavigation übertragen, weil Fußgänger in der Regel eigene Wege benutzen. Ein geeigneter Graph muss also für den Fußgänger erreichbare und zulässige Gehwege repräsentieren. Schon die Modellierung von Plätzen oder Kreuzungen macht deutlich, dass dieser Graph wesentlich detaillierter ist, als ein Graph für Fahrzeugnavigation (siehe Kolbe 2002).

Die nächste Aufgabe ist die Projektion von Positionen auf Gehwege. Der in vielen anderen Anwendungen bewährte Optimierungsansatz der Kalmanfilterung scheidet für das MapMatching aus, da dieses statistische Verfahren nur auf normalverteilte Größen angewendet werden kann. Möglichen Positionen auf einem Wegenetzgraphen kann eine solche Verteilung nicht zugrunde gelegt werden. An dieser Stelle wurde deshalb das in der Robotik bewährte Verfahren des Partikelfilters adaptiert, welches

auf der stochastischen Monte Carlo Simulation beruht (siehe Fox et al. 2001). Demnach ist die aktuelle geschätzte Position  $x_t$  das Maximum einer Funktion der vorherigen Position  $x_{t-1}$  und weiterer Merkmale  $m_i$ .

$$\hat{x}_t = \arg \sup_{x_t} f_{x_t|x_{t-1}}(x_t | x_{t-1}, m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (1)$$

Kennzeichnend für das Partikelfilter ist, dass diese Funktion nun durch eine geeignete Menge von Proben mit einer zugeordneten Wahrscheinlichkeit approximiert wird.

$$f_{x_t|x_{t-1}}(x_t | x_{t-1}, m_1, m_2, \dots, m_k) \approx \{(s_1; \mathbf{p}_1), (s_2; \mathbf{p}_2), \dots, (s_l; \mathbf{p}_l)\} \quad (2)$$

Von besonderer Bedeutung ist die Forderung, dass mögliche Positionen, und somit auch die Proben, ausschließlich auf den Kanten des Wegenetzgraphen liegen können.

$$x_i \in \{e_1, e_2, \dots, e_n\}, \quad s_i \in \{e_1, e_2, \dots, e_n\} \quad (3)$$

Die Schätzung der Position erfolgt rekursiv in vier Schritten:

1. Streuen von Proben auf dem Wegenetzgraphen. Dabei entsprechen ein Drittel der Proben
  - der mit einem zufälligen Fehler verrauschten letzten Position
  - den leicht verrauschten Proben der vorherigen Iteration
  - den stark verrauschten Proben der vorherigen Iteration.
2. Bewerten dieser Proben aufgrund festgelegter Kriterien. Im aktuellen Prototypen fließt neben der mit GPS ermittelten Koordinate auch die Bewegungsrichtung als Bewertungskriterium ein.
3. Auswählen der Probe mit der höchsten Wahrscheinlichkeit als aktuelle Position (vgl. Abbildung 5)
4. Zufälliges Auswählen von Proben für die nächste Iteration



**Abbildung 5: Stufe 3 des Partikelfilters: Die Proben sind bewertet (schwarz = hohe Wahrscheinlichkeit, weiß = geringe Wahrscheinlichkeit) und die Probe mit der höchsten Wahrscheinlichkeit wird als aktuelle Position ausgewählt.**

Das Partikelfilter wurde in *Java* implementiert und läuft neben den Threads auf dem Notebook. Die Informationen des Kalmanfilters des INS dienen nun als Input für das Partikelfilter, das die aktuelle Position ausgibt.

## Orientierung

Ein Fußgänger kann in den meisten Fällen mit dem alleinigen Wissen um seine exakte Position noch nicht viel anfangen. Für die Orientierung in einer unbekanntem Umgebung benötigt er vor allem eine kartographische Beschreibung (siehe Abowd et al. 1997, Cheverst et al. 2000, Malaka und Zipf 2000, Gartner und Uhlirz 2001). Da bei der räumlichen Orientierung besonders Landmarks eine große Rolle spielen ist es wichtig, diese in die Kartendarstellung zu integrieren (vgl. Sorrows und Hirtle 1999). Auch die Funktionalität einer Routenplanung ist eng mit dem Orientierungsproblem verbunden und somit von großer Bedeutung für das System.

Ziel der Entwicklung ist ein modulares und somit erweiterbares System, das abgesehen von Hardware-Mindestanforderungen auf jedem PDA und in jeder Stadt funktioniert. Dazu müssen Karten und sogenannte *Points of Interest (POI)* auf die gleiche Weise repräsentiert und zugänglich gemacht werden. Diesen Anforderungen werden Webservices in hohem Maße gerecht. Sie verfügen einerseits über genormte und exakt spezifizierte Schnittstellen und Formate; stellen aber andererseits sehr geringe Systemanforderungen an den Clientrechner, da das Datenmanagement und die Berechnungen serverseitig ausgeführt werden (Bettag 2001). Das Konzept der „verteilten Dienste“ wird konsequent im gesamten Projekt verwirklicht. Dabei wird bewusst auf normierte Standardschnittstellen zugegriffen, die durch das *Open GIS Consortium (OGC)* spezifiziert sind. Lagen solche Vorgaben für einen der Dienste nicht vor, so wurden eigene an OGC-Spezifikationen angelehnte Formate definiert.

Es werden folgende Webservices des OGC eingesetzt:

- *Web Map Service (WMS)* – Der Kartenserver liefert ein Rasterbild, das den Anfrageparametern wie z.B. geografischer Ausschnitt, Art des Koordinatensystems, Layerauswahl oder Dateiformat entspricht. Bietet der Kartenserver mehrere Layer mit Informationen an, so können diese gesondert abgefragt werden. Durch die Wahl eines Dateiformats, das Transparenz unterstützt (z.B. *Portable Network Graphics - PNG*), können auch Layer unterschiedlicher WMS gemeinsam überlagert dargestellt werden (siehe Beaujardièrre 2002).
- *Web Feature Service (WFS)* – Der Featureserver liefert in *Geography Markup Language 2.1.1 (GML2)* kodierte Geobjekte. Im hier beschriebenen System werden mit dem WFS die POI und die Kanten und Knoten des Wegenetzes verwaltet. Parameter der Anfrage sind ähnlich denen des WMS (siehe Vretanos 2002). Zusätzlich können Features über ihre ID abgefragt werden. Das ist besonders für die Darstellung einer berechneten Route (s.u.) wichtig.

Darüber hinaus wurde ein eigener, an die OGC-Spezifikationen für Webservices angelehnter Routenplanungsdienst implementiert. Das in der Extensible Markup Language (*XML*) spezifizierte Format für die Ausgabe der Route soll in Abbildung 6 an einem kurzen Codeausschnitt für eine Route mit einem Zwischenpunkt gezeigt werden.

Der Routenplanungsdienst wurde ebenfalls in *Java* geschrieben und implementiert den A\*-Algorithmus (s. Nilsson 1982). Dieser stellt eine Erweiterung des Wegsuchealgorithmus von Dijkstra dar (s. Aho et al. 1987), der nicht nur topologische, sondern



auch räumliche Zusammenhänge nutzt, indem die Suche auf die Richtung zum Zielpunkt fokussiert wird (vgl. Hasselberg 2000). Tests auf dem Wegenetzgraphen von Bonn (ca. 30.000 Knoten und 60.000 Kanten) wiesen dem A\*- gegenüber dem Dijkstra-Algorithmus eine fünf- bis sechsfach bessere Performanz nach. Eine Anfrage wird auf einem PC mit 450MHz Taktfrequenz durchschnittlich in ca. 50ms (Dijkstra) bzw. in 10ms Sekunden (A\*) bearbeitet.

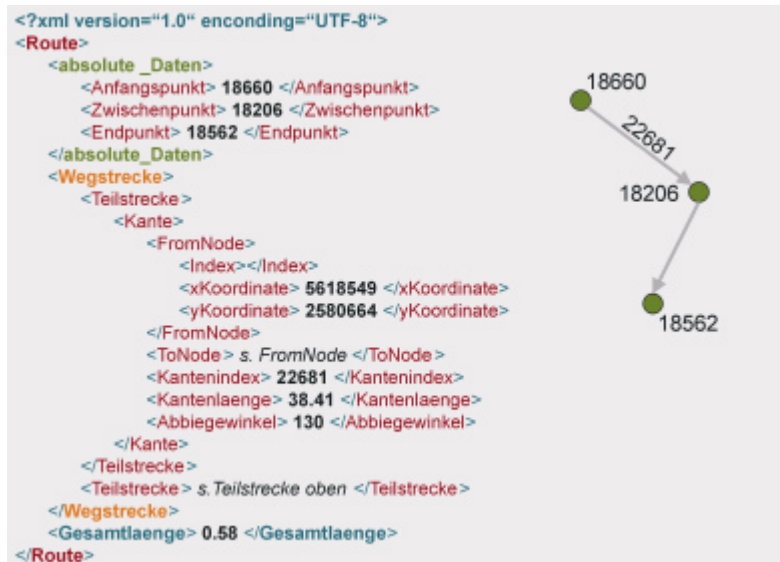


Abbildung 6: Beispiel der XML-Ausgabe des Routenplaners

## Personalisierung

Ein großes Problem herkömmlicher (digitaler) Karten ist die einseitig begrenzte Kommunikation. Der Kartennutzer kann selber nicht zum Inhalt der Karte beitragen, obwohl es in vielen Situationen wünschenswert wäre, Beobachtungen, Erfahrungen oder Kommentare an einer bestimmten (der aktuellen) Position in die Karte einzubringen. Persönliche Informationen eines Nutzers könnten so räumlich zugeordnet, festgehalten und verbreitet werden. Solche Konzepte wurden in der Literatur bereits unter den Begriffen Worldboard (Spohrer 1999), SpaceTag (Tarumi et al. 2000) und Websigns (Pradhan et al. 2001) diskutiert. Unser Ziel ist also die Geokodierung von Benutzerinformationen und deren Verbreitung auf Grundlage einer Karte. Ein solcher Dienst kann mit einer SMS oder einer MMS verglichen werden, die einer exakten Koordinate zugeordnet wird und somit im Kontext einer Karte abgebildet werden kann. Dieser Dienst bietet eine echte Wertsteigerung der beiden o.g. beliebten Nachrichtenformate und könnte in Analogie zum MMS als *Geocoded Multimedia Message Service (GMMS)* bezeichnet werden.

Die Realisierung im hier beschriebenen Projekt ist ähnlich einer Newsgroup aufgebaut und beschränkt sich auf Textnachrichten. Diese sogenannten „Virtual Graffiti“ können an eine Koordinate oder ein POI „geheftet“ werden. Um die Kartendarstellung nicht mit Informationen zu überladen, ist die symbolische Anzeige der Virtual Graffiti optional. Durch Anklicken eines Symbols in der Karte wechselt der Nutzer zur entsprechenden Nachricht (vgl. Abbildung 7).



Abbildung 7: Beispiel für Virtual Graffiti's. Symbolische Darstellung durch blaue Quadrate zur Übersicht (links) und Detailansicht (rechts)

Entsprechend dem modularen Aufbau des Gesamtsystems ist auch dieser Dienst als Webservice realisiert, für den XML-Austausch- und Speicherformate definiert sind.

Eine weitergehende Ausgestaltung dieses Dienstes steht noch an. Wichtig wären insbesondere eine Kategorisierung der Nachrichten (Channels), um die Übersicht bei einer großen Anzahl von Nachrichten zu gewährleisten, und eine selektive Zugangsberechtigung (private area) zu einzelnen Nachrichten, um geschützte private Kommunikation zu ermöglichen.

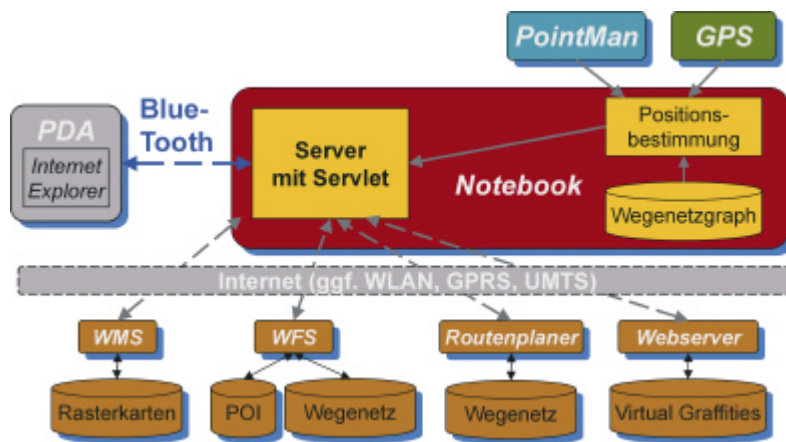


Abbildung 8: Signalflussdiagramm des Gesamtsystems.

Für den entwickelten Prototypen ergibt sich die in Abbildung 8 gezeigte Architektur. Da der PDA als Benutzer-Endgerät nicht über genügend Schnittstellen verfügt, um die Synchronisation von PointMan und GPS zu übernehmen, wird das Notebook weiterhin benötigt. Darüber hinaus wird es dazu verwendet, einen Portalserver zu betreiben, der per Bluetooth-Funkverbindung mit dem PDA kommuniziert. Somit konnte der Pocket Internet Explorer des PDA als Anwenderschnittstelle verwendet werden, und es musste keine eigene Clientsoftware für den PDA programmiert werden. Der Portalserver stellt dem Anwender alle Funktionalitäten bereit und greift kaskadierend auf die übrigen Dienste zu. Diese Verbindung zu den einzelnen Diensten würde typischerweise über drahtlose Kommunikationsnetze (General Packet Radio Service (GPRS), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) oder Wireless LAN aufgebaut. Aus Kostengründen wurde für den Prototypen diese Internetverbindung

nur simuliert. Auf dem Notebook werden mittels der Software *VMWare* (VMWare 2004) zwei eigenständige Server emuliert, die den WMS und den WFS beherbergen. Diese Rechner haben eigene IP-Adressen und können über das so simulierte Netzwerk mit dem Portalserver kommunizieren. Der Routenplanungsdienst und der Webserver der Virtual Graffiti's werden parallel zum Portalserver mit der gleichen Servlentengine verwaltet.

Abbildung 9 zeigt ein Teammitglied mit dem System des Prototypen. Im Rucksack befindet sich das Notebook, das per Kabel mit dem GPS-Empfänger (rechte Hand) und dem PointMan (Hüfte – rechtes Bild) verbunden ist. In der linken Hand ist der PDA, der per Bluetooth mit dem Notebook kommuniziert, zu sehen.

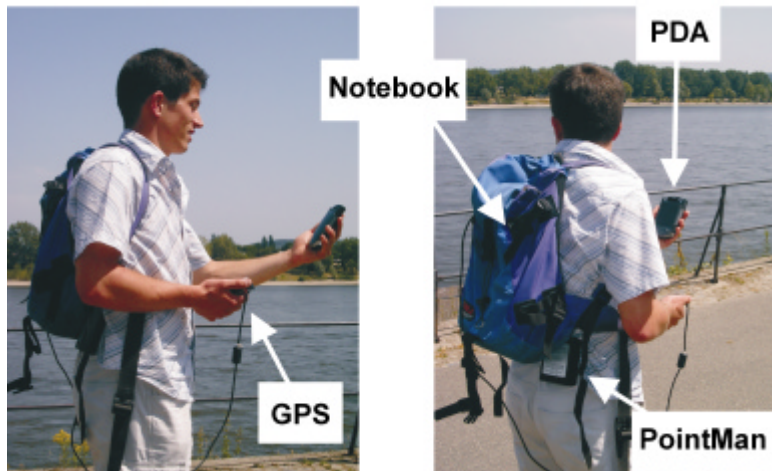


Abbildung 9: Das System im Einsatz

## Ausblick

Wir haben einen Prototypen dargestellt, der 2002 und 2003 im Rahmen eines Vertiefungsprojekts am Institut für Kartographie und Geoinformation der Uni Bonn entwickelt wurde. Der Prototyp hat demonstriert, dass die Integration von Low Cost Sensoren auf Basis stochastischer Partikelfilter zu hinreichend genauen Positionsbestimmungen führt. Es wurde eine komponentenbasierte Architektur vorgestellt, die auf standardisierten Schnittstellen des OGC aufbaut und auch Raum bietet für Personalisierung und die Integration virtueller Graffiti's. Vor allem im Bereich der Visualisierung bleibt aber noch viel zu tun. Neben für mobile Endgeräte geeigneten Karten und kartenähnlichen Darstellungen ist insbesondere auch an die Verwendung von Videos und Panoramen zu denken, darüber wird an anderer Stelle berichtet (Kolbe 2004 und Kolbe et al. 2004).

## Danksagung

Besonderer Dank gilt allen weiteren am Projekt beteiligten Studenten: Till Baberg, Silvia Becker, Stefan Hoersch, Michael Homoet, Marc Orban, Frank Ottmann, Christoph Platen, Till Rumpf, Daniela Schulz, Stephan Seiler, Christian Siemes, Oliver Tatz, Dennis Wirth, Philipp Zeimetz.

## Literaturverzeichnis

- Abowd, G., D.; Atkeson, C. G.; Hong, J.; Long, S.; Kooper, R. und Pinkerton, M. (1997): Cyberguide: A Mobile Context-aware Tour Guide. ACM Wireless Networks, 3:421-433, 1997
- Aho, A.; Hopcroft, J. E. und Ullman, J. D. (1987): Data Structures and Algorithms. Addison-Wesley, London
- Analog Devices (2004): ADXL202 +/-2g MEMS Accelerometer Product page <http://products.analog.com/products/info.asp?product=ADXL202> (zuletzt besucht am 20. 1. 2004)
- Beaujardière, J. de La (2002): OpenGIS Web Map Service Implementation Specification (WMS), Version 1.1.1. OGC Document Number 01-068r3
- Bettag, U. (2001): Web-Services. Informatik Spektrum, Springer Verlag, Band 24, Oktober 2001
- Cheverst, K.; Davies, N.; Mitchell, K.; Friday, A. und Efstratiou, C. (2000): Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences. In: Proceedings of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI-00), New York, ACM Press
- Czommer, R. (2000): Leistungsfähigkeit fahrzeugautonomer Ortungsverfahren auf der Basis von Map-Matching-Techniken. Dissertation am Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen der Universität Stuttgart. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 535
- Fox, D.; Thrun, S.; Burgard, W. und Dellaert, F. (2001): Particle Filters for Mobile Robot Localization. In Doucet, A.; de Freitas, J. F. G. und Gordon, N. J. (Hrsg.): Sequential Monte Carlo Methods in Practice. Springer-Verlag, New York
- Gartner, G. (2003): Pedestrian Navigation Services: A Multimedia Cartography Approach to Mobile Internet Applications. In: Proc. of the 21th Int. Cartographic Conference ICC 2003, Durban, South Africa
- Gartner, G. und Uhlirz, S. (2001): Cartographic Concepts for Realizing a Location-based UMTS Service: Vienna City Guide LOL@. In: Proc. of the 20th Int. Cartographic Conference ICC 2001, Beijing, China. Vol. III
- GDF (2000): GDF - Geographic Data Files - Version 4.0. Draft International Standard ISO/CD 2000-08-23
- GDI NRW (2004): Initiative Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen. Informationen unter <http://www.gdi-nrw.org> (zuletzt besucht am 20. 1. 2004)
- Hasselberg, S. (2000): Some results on heuristical algorithms for shortest path problems in large road networks. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Köln
- Judd, C. T. (1997): A Personal Dead Reckoning Module. In: Proceedings of the ION GPS97, September 1997 in Kansas City, MO
- Kolbe, T. H. (2002): Fußgängernavigation und Routenplanung in Innenstädten und Gebäuden mit Videos und Panoramen. In: Möltgen, Wytzisk (Eds.): GI-Technologien für Verkehr und Logistik. Tagungsband Münsteraner GI-Tage 2002, IfGI Prints, Nr. 13, Uni Münster, 2002

- Kolbe, T. H. (2004): Augmented Videos and Panoramas for Pedestrian Navigation. In: Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int. Symposium Location Based Services & TeleCartography 2004, 28.-29. 1. 2004 in Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen der TU Wien
- Kolbe, T. H.; Middel, A. und Plümer, L. (2004): 3D-Kartographie für die Fußgänger-naviga-tion: Virtuelle Wegweiser in Panoramen. Tagungsband zur 40. Sitzung der Arbeitsgemeinschaft „Automation in der Kartographie“ AgA 2003 in Erfurt. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, BKG, Frankfurt.
- Ladetto, Q.; Gabaglio, V. und Merminod, B. (2001): Two Different Approaches for Augmented GPS Pedestrian Navigation. In: Proceedings of the Int. Symposium on Location Based Services for Cellular Users LOCELLUS 2001, München, Deutsche Gesellschaft für Navigation und Ortung, Bonn
- Ladetto, Q. und Merminod, B. (2002): In Step with INS – Navigation for the Blind, Tracking Emergency Crews. GPS World, October 2002
- Malaka, R. und Zipf, A. (2000): Deep Map - Challenging IT Research in the Framework of a Tourist Information System. In: D. Fesenmaier, S. Klein, D. Buhalis (Eds.): Information and Communication Technologies in Tourism 2000. Proc. of ENTER 2000 in Barcelona, Spain. Springer, Wien, New York.
- Nilsson, N. (1982): Principles of Artificial Intelligence. Springer-Verlag, Berlin.
- Point Research Corporation (2004): Pointman Dead Reckoning Module. <http://www.pointresearch.com> (zuletzt besucht am 17. 1. 2004)
- Pospischil, G.; Umlauf, M. und Michlmayr, E. (2002): Designing LOL@, a Mobile Tourist Guide for UMTS. 4th Int. Symposium on Human Computer Interaction with Mobile Devices (Mobile HCI '02), Pisa, Italy, September 2002.
- Pradhan, S.; Brignone, C.; McReynolds, A. und Smith, M. T. (2001): Websigns: Hyperlinking Physical Locations to the Web. IEEE Computer, August 2001
- Retscher, G. und Skolaut, G. (2003): Untersuchung von Messsensoren zum Einsatz in Navigationssystemen für Fußgänger. ZfV 2/2003, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Wißner-Verlag.
- Sorrows, M. E. und Hirtle, S. C. (1999): The Nature of Landmarks for Real and Electronic Spaces. In: C. Freksa, D. M. Mark (Eds.): COSIT'99, LNCS 1661, Springer-Verlag, Berlin
- Spohrer, J. C. (1999): Information in places. IBM Systems Journal 38(4)
- Tarumi, H. & Morishita, K. & Kambayashi, Y. (2000): Public Applications of SpaceTag and Their Impacts. In: Ishida, T. & Isbister, K. (Eds.): Digital Cities, LNCS 1765, Springer-Verlag, Berlin
- Vretanos, P. A. (2002): OpenGIS Web Feature Service Implementation Specification (WFS), Version 1.0.0. OGC Document Number 02-058
- VMWare (2004): VMWare Workstation 3.1. <http://www.vmware.com> (zuletzt be-sucht am 17. 1. 2004).