

Mobile Navigationssysteme und Technologien HS SS 2005

Martina Ljubenova

LFE Medieninformatik
Ludwig-Maximilians-Universität München
Amalienstraße 17, 80333 München, Germany
Mishle1@yahoo.com

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

2 Historisches

3 Klassifizierung von Trackingsysteme für mobile Navigation

4 Satellitennavigation

4.1 GPS

Aufbau und Funktionsweise

Genauigkeit der Positionsbestimmung

Fehlerarten und –einflüsse

4.2 GLONASS

4.3 TRANSIT

4.4 GALILEO

5 Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden

5.1 Infrarot-Systeme

5.2 Funk-Systeme

5.3 Ultraschall-Systeme

5.4 Visuelle Systeme

6 Netzwerkgestützte Positionsbestimmung

6.1 Positionsbestimmung in GSM Netzen

6.2 Positionsbestimmung in WLANs

7 Ausblick

Literatur

1 Einleitung

Schon seit den Anfängen der Menschheit sind Informationen bezüglich der aktuellen Position bei der Erforschung neuer Lebensräume von Bedeutung. Mit dem Einzug der Computer in das alltägliche Leben bekommen diese Informationen einen völlig neuen Stellenwert und eröffnen zahlreiche neue Möglichkeiten. In der Zukunft werden uns intelligente digitale Assistenten bei der Bewältigung alltäglicher Aufgaben mit ortsbezogenen Informationen unterstützen.

Im Rahmen dieser Entwicklungen werden in der vorliegenden Arbeit die grundlegenden Aspekte der Positionsbestimmung und Trackingtechnologien für mobile Navigation vorgestellt. Durch die Vorstellung der technischen Grundlagen und einiger aktueller Systeme soll ein Überblick über die verschiedenen Aspekte und Möglichkeiten von Navigationssystemen gegeben werden. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den aktuell bedeutendsten Systemen der satelliten- und netzbasierten Positionierung.

2 Historisches

Das Problem der räumlichen Orientierung und reproduzierbaren Standortbeschreibung stellt eine in der Menschheitsgeschichte allgegenwärtige Herausforderung an den Intellekt innerhalb der unterschiedlichen Zivilisationskreise dar. Es ist anzunehmen, daß bereits während der Frühphasen menschlichen Evolution die Information über Wegstrecken und Lage besonders wichtiger Orte, wie Wasserstellen, Weide- bzw. Jagdgründe verbal oder in einfachen Skizzen von unseren Vorfahren untereinander ausgetauscht wurden.

So einfach und effizient uns heute diese Methode erscheint, so problematisch ist sie doch im Alltag für uns alle, wenn wir schnell, sicher und ohne Karte einem auswärtigen Besucher den Weg zurück zum Bahnhof durch eine komplexere Umwelt erklären müssen. Auch wir stützen uns bei der Weg- und Endpositionsbeschreibung, also auf markante Geländepunkte (z.B. Straßenkreuzungen, Ampeln, Gebäude..).

Wachsende wirtschaftliche Verknüpfungen und politische Interessen zwischen den Kulturen förderten die kartographische Beschreibung von Handelsrouten und Wegstrecken in der Antike. Mit der etwa zeitgleich einsetzenden frühen Seefahrt mußten aber neue Methoden zur Navigation und Positionsbestimmung innerhalb eines bisher unbekanntes Umfeldes gefunden werden, welche mit einem Minimum an Landmarken auskamen. Wesentliche Faktoren dieser neuen Kunst zu Navigieren waren die Betrachtung der Gestirne, der vorherrschenden Windrichtungen (damit die Definition von Bezugsrichtungen) und die grobe Zeitmessung als universelle Bezugspunkte. Zusätzlich wurden erste künstliche Navigationshilfen von Menschenhand errichtet, wie z.B. der Leuchtturm von Alexandria. Da man noch weitgehend

küstennahe Seefahrt betrieb, waren Landmarken für die einfache geometrische Positionsbestimmung besonders wichtig.

Die Greenwich-Gradeinteilung stellt das erste universelle Bezugssystem für jede Positionsbestimmung auf der Erde dar. Im Hinblick auf die noch zu erläuternde GPS-Technologie (GPS = Global Positioning System) ist dies von erheblicher Bedeutung, denn eine errechnete Position muß immer im jeweiligen lokalen Bezugssystem sinnreich sein. Deshalb bietet jedes GPS neben der universellen Positionsangabe in Grad/Minuten eine breite Palette unterschiedlicher lokaler Bezugssysteme an [3].

3 Klassifizierung von Trackingsysteme für mobile Navigation

Aufgrund der Anwendungsumgebung und je nach Medieneinsatz lassen sich Ortungssysteme in verschiedene Kategorien einteilen. Eine sinnvolle Klassifizierung findet man bei [Ro02]. Demnach kann man Ortungssysteme in die drei Bereiche Satellitennavigation, Positionierung innerhalb von Gebäuden sowie die Netzwerkgestützte Ortung einteilen (vgl. Abbildung 1). Bei dem verwendeten Medium wird in aktuellen Ortungssystemen entweder auf Funk, Ultraschall oder Infrarot zurückgegriffen. Die verschiedenen Charakteristika dieser drei Medien spiegeln sich in den Anwendungsbereichen und den Implementierungen der Ortungssysteme wider. So ist die Satellitennavigation nur im Außenbereich mit Sichtverbindung zu den Satelliten möglich, und eine Nutzung von Infrarotsignalen ist nur innerhalb von Gebäuden sinnvoll, da eine Störung durch Sonnenlicht die Übertragung von Infrarotsignalen weitestgehend verhindert. Funksignale durchdringen in Abhängigkeit ihrer Frequenz (je niedriger desto besser) auch Wände und sind somit in der Anwendung robuster. Ultraschall ist zwar vergleichsweise stör anfällig, bietet aber auf kurzen Distanzen eine konkurrenzlose Genauigkeit.

In Verwendung dieser Basistechnologien sind einige sehr unterschiedliche Ortungssysteme entstanden, auf die nun im folgenden näher eingegangen wird.

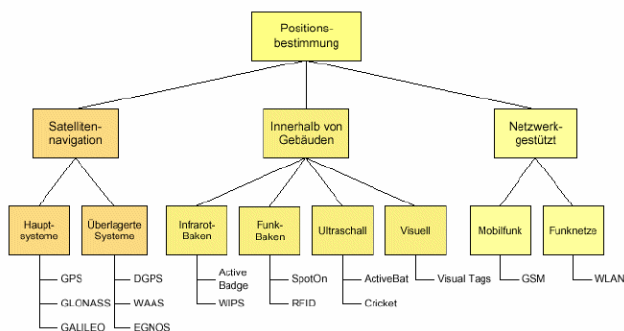


Abbildung 1. Überblick über Positionsbestimmungssysteme [3]

4 Satellitennavigation

Die Idee, Satelliten zur Positionsbestimmung einzusetzen, wurde erstmals in den 60er Jahre aufgegriffen. Die Vorteile liegen vor allem, wie generell bei Satellitensystemen, in der globalen Einsetzbarkeit auch in wenig zivilisierten Gebieten der Erde. So kann eine Positionsbestimmung grundsätzlich überall auf der Erde erfolgen. Gleichzeitig bietet die Satellitennavigation mittlerweile eine hohe Genauigkeit bei der Positionsbestimmung [6]. So ist es durch verschiedene Verfahren, die im Verlauf dieses Kapitels noch vorgestellt werden, möglich, ein Objekt mit einer Genauigkeit von 1-3 Metern zu orten. Nachteilig sind dagegen die erheblichen Kosten zur Installation und Überwachung von Satellitensystemen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Positionsbestimmung nur funktioniert, wenn die Signale von hinreichend vielen Satelliten (i.a. 3-4 Satelliten) empfangen werden. Eine Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden ist aufgrund der Abschattung nicht möglich.

Zur Zeit gibt es zwei operierende Hauptsysteme für die Satellitennavigation: Das russische GLONASS, welches jedoch aufgrund von finanziellen Schwierigkeiten nicht mehr global im Einsatz ist, und das wohl bekanntere Global Positioning System (GPS).

GPS wurde ursprünglich vom amerikanischen Verteidigungsministerium zu militärischen Zwecken konzipiert. Auf dieses System wird im weiteren Verlauf des Kapitels noch näher eingegangen. Das europäische Gegenstück GALILEO1, initiiert von der europäischen Union und der European Space Agency, wird voraussichtlich im Jahre 2008 einsatzbereit sein. Im folgenden wird das grundlegende Prinzip der Positionsbestimmung mit Satelliten vorgestellt.

Um seine eigene Position zu bestimmen, benötigt der Benutzer die exakte Position der Satelliten und die exakte Entfernung zu den Satelliten. Es werden drei Satelliten zur Bestimmung des Punktes auf der Erde benötigt. Bei Kenntnis der Position und Entfernung eines Satelliten gelangt man zu einem Punkt auf einer Kugeloberfläche. Bei Kenntnis der Daten von zwei Satelliten kann man durch den Schnitt der beiden Kugeloberflächen einen Kreis errechnen, auf dem die Position liegen muss. Nimmt man nun einen dritten Satelliten hinzu, so erhält man 2 Punkte, von denen einer im allgemeinen weit im Weltraum liegt und somit als Position für einen Benutzer innerhalb der Erdatmosphäre nicht in Frage kommt (Abbildung 2).

Da die Satelliten auf festen Umlaufbahnen um die Erde kreisen, und die Navigationssysteme Verzeichnisse aller Satelliten mit ständig aktualisierten Daten besitzen, stellt die Bestimmung der Position der Satelliten kein Problem dar.

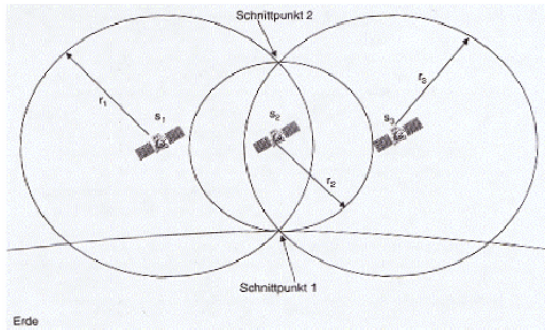


Abbildung 2. Positionsbestimmung mit Satelliten [3]

4.1 GPS

Das Global Positioning System (GPS) ist ein satellitengestütztes Navigationssystem zur weltweiten Positionsbestimmung, das vom Verteidigungsministerium der USA betrieben wird. GPS löste das ältere Satellitennavigationssystem Transit der United States Navy ab.

Die offizielle Bezeichnung ist NAVSTAR - GPS (Navigational Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System; NAVSTAR wird manchmal auch als Abkürzung für Navigation System using Timing and Ranging benutzt). Im allgemeinen Sprachgebrauch wird das System häufig nur noch als GPS bezeichnet. GPS wurde am 17. Juli 1995 offiziell in Betrieb genommen [2], [9].

Aufbau und Funktionsweise GPS ist eine Trackingtechnologie, die auf time of flight (Laufzeitmessung) beruht.

GPS basiert auf Satelliten, die ständig Signale ausstrahlen, aus deren Signallaufzeit GPS-Empfänger ihre Position bestimmen können. Theoretisch reichen dazu die Signale aus drei Satelliten, da daraus die genaue Position und Höhe bestimmt werden kann. In der Praxis haben aber die meisten GPS-Empfänger keine Uhr, die genau genug ist, um daraus die Laufzeiten korrekt berechnen zu können. Deshalb wird meist das Signal eines vierten Satelliten benötigt. Mit den GPS-Signalen lässt sich aber nicht nur die Position, sondern auch die Geschwindigkeit des Empfängers bestimmen. Durch die relative Bewegung des Empfängers zu den Satelliten, ergibt sich durch den Doppler-Effekt eine Verschiebung des Signals und da die Geschwindigkeit der Satelliten bekannt ist, lässt sich die Geschwindigkeit des Empfängers berechnen.

Die Positionsbestimmung mit Hilfe des GPS-Systems wird bestimmt durch die exakte Messung der Laufzeiten von Signalen zum Empfänger, der daraus abgeleiteten Distanz zu den jeweiligen Satelliten und einer zeitlichen Synchronisation von Empfänger- und Sendersignal. Je mehr Signalquellen simultan gemessen werden können, desto genauer ist das Ergebnis der

Positionierung des Empfängers. Theoretisch sind mindestens drei, praktisch jedoch vier Satelliten zur Berechnung der Position in x-, y- und z-Koordinaten notwendig. Bei momentan 26 + 8 zur Verfügung stehenden GPS-Satelliten ist diese Mindestkonstellation jederzeit global verfügbar (Abbildung 3). Ausnahmen bilden topographisch sehr ungünstige Gegebenheiten (z.B. Abschattung im Gebirge, dichtes Laubdach, Häuserschluchten...).

Die Signale werden auf zwei Frequenzen ausgesendet. Mit der so genannten L1-Frequenz (1575,42 MHz) wird der C/A-Code („Coarse/Acquisition“) für die zivile Nutzung, der verschlüsselte P/Y-Code („Precision/encrypted“) für die militärische Nutzung und eine Navigationsnachricht übertragen. Die 1500 bit lange Navigationsnachricht enthält alle wichtigen Informationen zum Satelliten (Datum, Identifikationsnummer, Korrekturen, Bahnen, aber auch den Zustand) und benötigt zur Übertragung ungefähr eine halbe Minute. GPS-Empfänger speichern diese Daten normalerweise zwischen. Zur Initialisierung der Geräte wird des Weiteren auch der sogenannte „Almanach“ übertragen, der alle Bahnen der Satelliten enthält und zur Übertragung über zwölf Minuten benötigt. Die zweite Frequenz (L2-Frequenz; 1227,60 MHz) überträgt nur den P/Y-Code. Durch die doppelte Übertragung können atmosphärische Effekte, die zur Erhöhung der Laufzeit führen herausgerechnet werden.

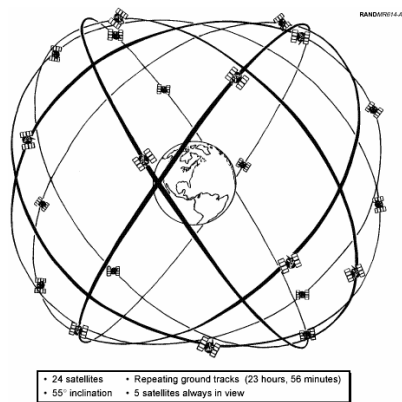


Abbildung 3. GPS-Konstellation [2]

Genauigkeit der Positionsbestimmung Ziele können punktgenau bekämpft und eigene Bewegungen exakt eingehalten werden. Bei der Gelegenheit haben auch alle Satelliten ein abgestimmtes Zeitsignal. Man hat allerdings bald erkannt, dass es insbesondere für Schiff- und Luftfahrt schon aus Sicherheitsgründen wichtig ist, diese Technologie zur teilweisen zivilen Nutzung freizugeben. Teilweise deshalb, weil allein das US-Militär darüber entscheidet, ob und in welcher Qualität und in welcher Region das Satellitensignal freigegeben wird. Die exakten Daten sind verschlüsselt (zu dem nur das Militär Zugang hat), das zivile (unverschlüsselte) Signal wird bei Bedarf ganz abgeschaltet oder mit einer so genannten "selective availability" kurz SA belegt, sprich, man kann die Genauigkeit künstlich herabsetzen. Die

statistische Genauigkeit der Positionierung liegt heute nach Abschaltung der Selective Availability (SA) im zivilen Sektor (C/A-Signal) bei etwa 10 Metern (GPS-Betrieb) bzw. im Zentimeterbereich bei DGPS-Betrieb (Differenzielles GPS); im militärischen Sektor (P-Code) bei ca. <50 cm (nur GPS-Betrieb).

Differential Global Positioning System (DGPS) ist eine Bezeichnung für Verfahren, die mehrere GPS-Empfänger zur Erhöhung der Genauigkeit verwenden. Bei dem Verfahren gibt es einen Empfänger, dessen Position bestimmt werden soll (Rover) (deutsche Bezeichnung ist unbekannt) und mindestens einen weiteren Empfänger, dessen Position bekannt ist (GPS-Basisstation). Eine Basisstation kann diverse Informationen über die Ursachen ermitteln, warum die mittels GPS bestimmte Position fehlerhaft ist, da deren Position bekannt ist. Mit diesen Informationen (Korrekturdaten) von einer Basisstation kann ein Rover seine Genauigkeit erhöhen. Die erreichbare Genauigkeit ist u.a. vom Abstand zwischen Rover und Basisstation abhängig (Abbildung 4) [2].

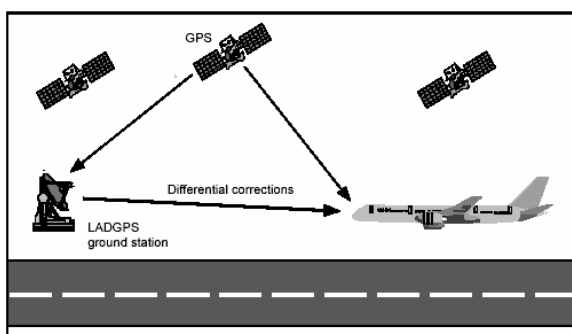


Abbildung 4. DGPS [2]

Oft wird irrtümlich darauf hingewiesen, dass die Atomuhren in den Satelliten aufgrund von Effekten der Relativitätstheorie einen Gangunterschied zu irdischen Uhren aufweisen, der zu einem Positionsbestimmungsfehler von etwa 10 km pro Tag führen würde, wenn er nicht korrigiert würde. Ein solcher Fehler würde auftreten, wenn die Positionsbestimmung über die Ermittlung der Abstände des GPS-Empfängers zu 3 Satelliten anhand eines Uhrenvergleichs mit einer Uhr im Empfänger erfolgen würde. GPS-Empfänger sind aber ohne Atomuhr ausgestattet. Statt dessen werden die Zeitdifferenzen von Satellitensignalen ausgewertet, wobei mindestens 4 Satelliten erforderlich sind. Da alle Satelliten den gleichen relativistischen Effekten ausgesetzt sind, tritt dieser Fehler jedoch nicht auf. Trotzdem werden die Uhren so eingestellt, dass sie unter Berücksichtigung relativistischer Effekte synchron zu irdischen laufen.

Fehlerarten und -einflüsse Bei der Positionsbestimmung fließen unterschiedliche Fehler in die Berechnung ein. Grundsätzlich kann man zwischen drei wesentlichen Fehlerarten unterscheiden [6]:

- zufällige Fehler
- grobe Fehler

- systematische Fehler

Zufällige Fehler treten meist als Folge momentaner Meßbedingungen (z.B. Baumbestand, Signalabschattung, Überreichweiten, Wetterlage....) auf und sind z.T. korrigierbar. Grobe Fehler können durch unsachgemäße Handhabung eines GPS-Empfängers verursacht werden (sind also nutzerbedingt).

Systematische Fehler sind grundsätzlicher physikalischer und/oder gerätetechnischer Natur. Diese Art von Fehlern wird bei der Datenverarbeitung so weit wie möglich zurückgedrängt, da man sie reproduzieren und z.T. korrigieren kann. Zu den systematischen Fehlern gehört(e) auch die künstlich erzeugte SA-Charakteristik der Signale für den CA-Code.

Fast alle Fehlertypen beeinflussen die Beobachtungsgrößen hinsichtlich der Signalausbreitung (Laufzeit-) und Empfängereigenschaften (Trägerphasenmessungen)! Zusätzlich spielt die Satellitengeometrie eine erhebliche Rolle für die Güte einer Positionsmessung.

4.2 GLONASS

GLONASS ist die Kurzbezeichnung für ein Satellitennavigationssystem, das vom russischen Verteidigungsministerium betrieben wird. Es ähnelt in Aufbau und Funktionsweise dem US-amerikanischen GPS.

Technisch basiert Glonass auf den gleichen Prinzipien wie GPS, aus militärstrategischen Gründen war die Einrichtung eines eigenen, dem der USA gleichwertigen, Systems unabdingbar.

Die Bezeichnung GLONASS steht für (GLObales NAVigations-Satelliten-System), was dasselbe bedeutet wie der international verwendete Überbegriff GNSS für neuere Systeme der Satellitennavigation [2].

Wichtige Daten des Systems [2]:

- Vollausbau (nie erreicht) mit 24 Satelliten (21 Standard + 3 Reservesatelliten), angeordnet in
- 3 Bahnebenen mit $64,8^\circ$ Neigung gegen den Äquator (bei GPS sind es 55°)
- Gross Halbachse 25.500 km, Bahnhöhe 19.100 km (GPS 20.200 km)
- Umlaufzeit 11:15 Stunden (GPS 11:58, genau 1/2 Sterntag)
- Alle Satelliten mit gleichem Code (PRN), aber auf verschiedenen Frequenzen von ... bis ... MHz
- Steht in Verruf wichtige Frequenzen für die Radioastronomie zu stören

Wie GPS benötigt GLONASS zum Regelbetrieb knapp 2 Dutzend Satelliten, damit gewährleistet werden kann, dass immer zumindest 3 davon an einem Ort "sichtbar" sind. Tatsächlich reichte bisher die Anzahl der funktionsfähigen Satelliten dafür nicht aus, so dass allenfalls Teile der Erdoberfläche bedient werden konnten und ein praktischer Nutzen (außer vielleicht zur Zeitbestimmung) nicht gegeben ist.

4.3 TRANSIT

Transit war der Vorgänger des GPS in den USA. Seine Sendefrequenz betrug 150 und 400 MHz. Transit wurde ab 1958 entwickelt, 1964 das erste mal in Betrieb gesetzt und seit 1967 auch zivil genutzt. Das Satellitensystem Transit ist seit dem 31. Dezember 1996 außer Betrieb. Es war das erste funktionierende Satellitennavigationsystem überhaupt, und wurde ursprünglich zur Zielführung ballistischer Raketen der US-Navy entwickelt. Sie benötigten dringend ein Zielführungssystem, in der Hauptsache für die Nuklearwaffen der U-Boote und Flugzeugträger. Die Genauigkeit betrug je nach Empfangssystem zwischen 500 und 15 m. Es bestand insgesamt aus 6 Satelliten, 3 in Funktion, und 3 als Backup-System. Zwingend notwendig war der Einsatz von 4 Bodenstationen, die Korrekturdaten alle 12 Stunden an die Satelliten übermittelten.

4.4 GALILEO

Als Alternative zum amerikanisch bestimmten GPS plant die Europäische Union das Project Galileo. Es basiert auf 30 Satelliten (27 + 3 Ersatz), die in einer Höhe von rund 24.000 km die Erde umkreisen, dem Prinzip der Laufzeitmessung und einem Netz von Bodenstationen, die die Satelliten kontrollieren. Galileo ist für zivile Zwecke konzipiert und unterliegt nicht wie das amerikanische GPS und das russische GLONASS einer nationalen militärischen Kontrolle [6].

Die ersten drei geplanten Galileo-Satelliten sollen bis 2006 in Betrieb gehen. 2008 soll das Netz mit allen 30 Satelliten voll funktionsfähig sein. Ein erster Test-Satellit soll bereits Ende 2005 mit einer russischen Sojus-Rakete gestartet werden. Der Großteil der Galileo-Satelliten dürfte aber mit der europäischen Trägerrakete Ariane 5 starten.

Dienste Neben einem kostenlosen Basisdienst soll Galileo höherwertige verschlüsselte Dienste anbieten, die störungsfreie Signale garantieren sollen [10], [6]:

Der Offene Dienst (Open Service, OS) soll frei zugänglich sein. Er liefert (kostenlos) Daten über Position, Geschwindigkeit und Zeit. ICs, die diese Daten auswerten, sollen z.B. in Navigationssysteme von Autos und in Mobiltelefonen eingebaut werden. Weil der OS zwei Sendefrequenzen benutzt, kann die Position auf 4 Meter genau bestimmt werden.

Der Kommerzielle Dienst (Commercial Service, CS) ermöglicht die genaueste Positionsbestimmung und soll kostenpflichtig sein. Die Genauigkeit liegt bei weniger als einem Meter und soll mit Hilfssendern auch zentimetergenaue Navigation in Gebäuden ermöglichen. Die Gebühren für CS sollen die Haupteinnahme der Betreiber von Galileo erbringen.

Der Safety-of-Life-Dienst (SoL) soll in sicherheitskritischen Bereichen, z.B. dem Luft- und dem Schienenverkehr kostenlos zur Verfügung

stehen. Dieses sehr robuste Signal soll fälschungssicher sein und außerdem die Messung seiner Signalqualität und Ausfallwahrscheinlichkeit erlauben.

Der Staatliche Dienst (Public Regulated Service, PRS) steht ausschließlich hoheitlichen Diensten zur Verfügung, also Polizei, Küstenwache, Geheimdienst, etc. Über militärische Verwendung denken einige beteiligte Staaten intensiv nach.

Der Such- und Rettungsdienst (Search And Rescue, SAR) soll die weltweite Ortung von hilfsbedürftigen Menschen erlauben, die in Not geraten sind. Dazu müssen diese ein Gerät bei sich haben und ein Notsignal senden. Auch ein einfacher Dialog mit der Rettungsstelle (z.B. Antwort „Hilfe ist unterwegs!“) soll möglich sein.

Anforderungen

- Genauigkeit: im Bereich von einem bis zu vier Meter bei der lokalen Komponente, zehn Meter bei der Globalen (keine künstliche Verzerrung aus militärischen Gründen).
- Geschwindigkeit: es soll möglich sein, die Geschwindigkeiten auf 0,2 Meter pro Sekunde (= 0,72 km/h) zu bestimmen.
- Verfügbarkeit: weltweit und jederzeit (keine Einschränkungen aus militärischen Gründen).
- Integrität: in weniger als sechs Sekunden soll der Nutzer über eine etwaige Fehlfunktion des System in Kenntnis gesetzt werden.

Genauigkeit, Verfügbarkeit und Integrität sind die Schlüsselkriterien, die Galileo im Gegensatz zu GPS ausnahmslos erfüllen soll, um auch für sicherheitskritische Anwendungen eingesetzt werden zu können. Galileo wird als Satellitennavigationssystem der zweiten Generation bezeichnet [10].

5 Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden

Satellitennavigation stellt zwar eine bequeme, präzise und für den Endverbraucher kostengünstige Positionsbestimmung zur Verfügung, jedoch können die eingesetzten Signale nur ungenügend solides Mauerwerk durchdringen und sind somit nicht in Gebäuden einsetzbar. Zur Ortung in Gebäuden sind daher andere Verfahren unumgänglich. Die grundlegenden Technologien sind dabei [1].

- Infrarot-Systeme (Active Badge, WIPS)
- Funk-Systeme (SpotON, RFID)
- Ultraschall-Verfahren (ActiveBat, Cricket)
- Visuelle Positionsbestimmung (Visual Tags)

5.1 Infrarot-Systeme

Das bekannteste Ortungssystem auf Infrarot Basis ist Active Badge [4]. Es ist ein Tracking-System, für das in der Regel in jedem Raum ein Infrarot-Sensor

installiert ist. Jeder Benutzer trägt einen kleinen Infrarotsender (Active Badge) offen sichtbar bei sich. Alle 15 Sekunden sendet der Active Badge für ca. 0,1 s ein Infrarotsignal, in dem die Benutzererkennung kodiert ist. Die Infrarotsender leiten die empfangenen Signale an einen Location Server weiter, der die Informationen der Sensoren sammelt und somit die Position jedes Benutzers bestimmen kann. Aufgrund der kurzen Impulsdauer von 0,1 s weist der Infrarotsender einen sehr geringen Batterieverbrauch auf und kann bis zu einem Jahr ohne Batteriewechsel auskommen. Ein weiterer Vorteil der sehr kurzen Impulsdauer im Vergleich zur Wartezeit ist die sehr geringe Wahrscheinlichkeit einer Kollision zweier Signale. Diese wird noch dadurch verringert, dass geringe Abweichungen in der 15 Sekunden Periodendauer erzwungen werden [5].

Nachteile des Active Badge Systems liegen in der relativ schlechten Ortsauflösung (Empfangsbereich des Sensors) und in der Sicherheit. Ein Signal könnte durch andere Signalquellen imitiert werden. Zur Vermeidung dieses Problems wäre ein Challenge-Response System erforderlich, welches um einiges aufwändiger und teurer wäre. Der größte Nachteil besteht darin, dass die Ortsinformationen primär beim Location Server und nicht beim Benutzer vorliegen. Dort knüpft das im Vergleich zu Active Badge umgekehrte Verfahren WIPS (Wireless Indoor Positioning System) an. Bei diesem System sind die Infrarotsender fest installiert und nicht vernetzt. Die Badges empfangen das Signal der Baken und geben die entsprechende Information an den Location Server über WLAN (Wireless Local Area Network) weiter. Nach Aufbereitung der Daten durch den Location Server wird die Ortsinformation über WLAN an die Badges zurückgesendet.

5.2 Funk-Systeme

Ein auf Funksignalen basiertes System ist SpotON. Funksignale können im Gegensatz zu Infrarotsignalen Wände durchdringen. Das Funksignal ist dadurch nicht auf einen Raum beschränkt. Sensoren empfangen die Signale und ein Location-Server kann auf Basis der gemessenen Signale die Position bestimmen, zu der alle in den Sensoren gemessenen Signalstärken passen. Das Problem ist hierbei, dass die Signalstärke auch durch Hindernisse beeinflusst wird. Mit SpotON konnte eine Genauigkeit von 3 m erzielt werden.

Eine weitere Möglichkeit mit Funksignalen Objekte zu lokalisieren sind RFID-Tags (Radio Frequenz Identifikation). RFID-Tags sind kleine Systeme mit Prozessor, Speicher und Antenne, die jedoch über keine eigene Stromversorgung verfügen. Die notwendige Energie zum Arbeiten wird aus den Funksignalen gewonnen, welche aus einem Lesegerät in maximal einem Meter Entfernung ausgesendet werden. So können Daten in den Speicher geladen oder zurückgefunkt werden. In der Regel wird eine Objekt ID an das System übermittelt. Mit RFID-Transpondern wird jedoch keine Positionsbestimmung durchgeführt. Es dient lediglich zur Verfolgung von Objekten anhand von Wegpunkten (Transport, Produktion) [3].

5.3 Ultraschall-Systeme

Ein wesentlich genaueres Indoor-Ortungssystem, das ActiveBat, benutzt Ultraschall, um den Abstand zwischen Sender und Empfänger zu ermitteln. Der Benutzer trägt ein Gerät (Bat), welches auf Anforderung des Servers über Funk einen Ultraschallimpuls abgibt. Die aufgrund der Laufzeit des Schalls gewonnenen Daten erreichen eine Genauigkeit von 10 cm. Zur Messung ist an der Decke des Raumes ein Sensornetzwerk in einem Raster von 1,2 m angebracht. Die Übertragung der Informationen an den Location-Server erfolgt über ein drahtgebundenes Netzwerk. Die Positionsberechnung ähnelt der Berechnung bei der Satellitennavigation.

Ein weiteres Ultraschall-Verfahren ist Cricket. Fest installierte Baken senden zeitgleich einen Ultraschall Impuls und ein Funksignal aus. Aus dem Laufzeitunterschied kann die Entfernung bestimmt werden. Cricket wurde jedoch nicht zur Positionsbestimmung entwickelt. Vielmehr sollen dem Benutzer Informationen über vorhandene Dienste mitgeteilt werden [11].

5.4 Visuelle Systeme

Schließlich gibt es noch die Möglichkeit der visuellen Positionsbestimmung anhand der Auswertung von Video-Aufnahmen. Hierzu tragen die Benutzer leicht zu erkennende Muster (Visual Tags), aus denen ID und Entfernung zur Kamera bestimmt werden können.

6 Netzwerkgestützte Positionsbestimmung

6.1 Positionsbestimmung in GSM Netzen

Positionsbestimmung wird bereits kommerziell in GSM-Netzen eingesetzt. O2 bietet mit seinem Genion-Dienst ortsabhängige Abrechnung an, und Swisscom eröffnet mit seiner *Friendzone* die Möglichkeit, Freunde zu orten. Da GSM ein zellulARES Netz ist, liegt die Identifikation der Zelle (Cell Global Identify) bereits im Netz vor. Diese Informationen werden im Visitor Location Register (VLR) und im Home Location Register (HLR), die als eine Art Lokationsserver hauptsächlich dem Routing, der Registrierung und der Abrechnung dienen, gespeichert. Da Funkzellen in ländlichen Gebieten aber eine Ausdehnung von bis zu 35 km erreichen können, hat Ericsson mit dem Mobile Positioning System (MPS) verschiedene Verfahren zusammengefasst, um ein Endgerät möglichst bis auf unter 100 m zu orten. Der große Vorteil liegt darin, dass bei Installation nur minimale Änderungen an der Kommunikationsinfrastruktur, dagegen jedoch keine Modifikationen an den Endgeräten vorgenommen werden müssen [3].

6.2 Positionsbestimmung in WLANs

Entsprechend der Idee der GSM-Lokalisierung kann man sich vorhandene WLAN-Infrastrukturen mit Basisstationen zunutze machen. Dazu wird die bereits genannte Methode des „Lernen und Vergleichen“ angewandt. An einigen Wegpunkten wird die Signalstärke zu mehreren Basisstationen gemessen und in einer Tabelle eingetragen. Zur Positionsbestimmung wird dann der ähnlichste Wert gesucht. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung hängt von der Anzahl der in der Trainingsphase verwendeten Wegpunkte ab. In einem Experiment wurde eine Genauigkeit von 2-3 Metern erreicht (Fläche 43 x 22 m, 70 Wegpunkte in der Trainingsphase). Der Vorteil bei diesem Verfahren liegt darin, dass keine neuen Installationen vorgenommen werden müssen. Nachteile liegen im „Springen von Positionen“ bei ähnlichen Signalprofilen und vor allem in der aufwändigen Trainingsphase. Nach Änderungen (z.B. Neupositionierung der Basisstationen, bauliche Veränderungen) muss außerdem eine neue Trainingsphase durchgeführt werden [3].

7 Ausblick

Navigationssysteme haben sich bis heute nur langsam etablieren können und sich noch nicht als Massenanwendung durchgesetzt. Bis auf die angesprochenen Satelliten- und GSM- basierten Systeme sind die meisten Ortungstechniken oft nur in Forschungszentren im Einsatz. Trotz viel versprechender Anwendungsgebiete bleibt es offen, wann und wie die Bedeutung von Ortungssystemen zunehmen wird. Den wohl erfolgsversprechendsten Bereich stellt die Ortung mit Satellitensystemen und vor allem im Mobilfunkbereich die Lokalisierung in GSM- bzw. UMTS-Netzen dar. Beispielsweise wurden die Mobilfunkbetreiber in den USA von der Federal Communications Commission (FCC) verpflichtet, spätestens bis zum 1. Oktober 2001 die Koordinaten von mindestens 67 Prozent der Handys mit einer Präzision von 100 Metern bestimmen zu können.

Für die weitere Verbreitung wird auch vieles vom Erfolg der so genannten ortsbezogenen Dienste (Location Based Services) abhängen. Durch standortbezogene Dienste kann beispielsweise einem Mobilfunkkunden ein direkter Zugang zu Informationen, die sich auf den aktuellen Aufenthaltsort beziehen, ermöglicht werden. Verkäufer auf der anderen Seite bekommen die Möglichkeit, ihren suchenden Kunden direkte ortsbezogene Hinweise zu Produkten oder Sonderangeboten zu machen. Diese könnten in einem weiteren Schritt sogar noch auf das jeweilige Profil des Kunden personalisiert werden.

Alles in allem bleibt es wohl nur eine Zeitfrage, bis Navigationssysteme als Basis vieler neuer Anwendungen eine bedeutende Rolle spielen werden. In einigen Jahrzehnten werden sie, wie viele andere Innovationen, aus unserem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken sein.

Literatur

1. Butz, A., and Baus, J., and Krüger, A., and Lohse, M. A Hybrid Indoor Navigation System. IUI2001: International Conference on Intelligent User Interfaces, ACM, New York, 25-33.
2. The Global Positioning System. Assessing National, <http://www.rand.org/publications/MR/MR614/>, GPS technologies and alternatives APPENDIXa and B.pdf.
3. Roth, J., Mobile Computing, dpunkt-Verlag, 2002.
4. Want, R.; Hopper, A.; Falcão, V. and Gibbons, J., The Active Badge Location System, Olivetti Research Ltd. (ORL), Cambridge, England, 1992.
5. Zimmermann, Roger: Lokalisierung mobiler Geräte, Seminar Mobile Computing, ETH Zürich, 2001, Abrufbar unter: <http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2001/MC/beitraege/07-location-rep.pdf>
6. Hans Dodel, Dieter Häupler. Satellitennavigation.GALILEO,GPS, GLONASS, Integrierte Verfahren.Hüthig Verlag. 1.Auflage 2004.
7. Jannick P.Rolland, Yohan Baillot, and Alexei A. Goon.A survey of tracking technology for virtual environments.University of Central Florida, Orlando FL 32816.
8. Jörg Baus, Christian Kray, Antonio Krüger, Wolfgang Wahlster. University of Saarbücken. A resource-adaptive mobile navigation system.
9. Samuel Kuster. Diplomarbeit im Fach Informatik, Universität Zürich, Dezember 2004. Nutzung von Kommunikationswerkzeugen zur Lokalisierung und Personalisierung der Kommunikationspartner.
10. GALILEO. www.mobilecomms-technology.com >Industry Projects> Satellite> GALILEO. 2005.
11. Mike Addlesee, Rupert Curwen, Steve Hodges, Joe Newman, Pete Steggles, Andy Ward, Andy Hopper. Implementing a Sentient Computing System. IEEE Computer Magazine, Vol. 34, No. 8, August 2001, pp. 50-56.
12. Dissertation. Stanford University. A Leapfrog Navigation System. May 2003.