

# Lokalisierung mobiler Geräte

Seminar Mobile Computing – SS 2001  
Gruppe für verteilte Systeme  
Departement Informatik, ETH Zürich

Roger Zimmermann  
rzimmerm@iic.ethz.ch

## Zusammenfassung

Seit der Mensch seine Umgebung erforscht, sind Informationen über die aktuelle Position - zum Beispiel zur Navigation - bedeutsam. Mit dem Aufkommen kleiner mobiler Geräte wächst das Interesse an Lokalisierungs-informationen, welche durch diese Geräte erbracht werden können. Kleine GPS Empfänger sind ein bekanntes Beispiel dafür. Zunehmend ist aber auch der Standort einer mobilen Ressource von Bedeutung, wie etwa der eines Druckers.

In diesem Vortrag werden zuerst verschiedene Basistechnologien zur Positionsbestimmung erläutert. Neben der einfachen Distanzmessung von zwei Referenzpunkten zu einem Gerät wird auf weitere komplexere Techniken eingegangen.

Im zweiten Teil werden ausgewählte Systeme vorgestellt, die aus der Forschung stammen und auch solche, die bereits ihren breiten Einsatz gefunden haben. Unter anderem sind dies: GPS, Positionierung in GSM und das *Active Badges* Projekt. Abschliessend wird auf die Datenerfassung und die daraus resultierende Informationsstrukturierung eingegangen. Ausserdem wird die Frage betrachtet, wann die Verwendung von symbolischen oder geometrischen Datenmodellen von Vorteil ist.

## 1 Einleitung

Informationen über die aktuelle Position wurden schon vor dem Computerzeitalter zur Navigation eingesetzt. Eher neu ist die Möglichkeit diese Informationen auf kleinen mobilen Geräten darzustellen und zu verarbeiten. In Zukunft werden uns vielleicht kleine intelligente digitale Assistenten begleiten und mit ortsbezogenen Informationen weiterhelfen.

Dieser Vortrag soll einen Überblick über die benötigten technischen Grundlagen zur Positionsbestimmung verschaffen. Im weiteren werden ausgewählte implementierte Systeme vorgestellt, um ein Gefühl dafür zu kriegen, was uns in nächster Zukunft erwarten wird und wie solche Systeme realisiert werden.

## 2 Techniken zur Positionsbestimmung

Es gibt grundsätzlich 2 Arten der Positionsbestimmung: absolut und relativ. Die erste Variante benötigt keine Angaben zu einer vorhergehenden Position. Die zweite Technik kann autonom von der Umwelt eine Positionsverschiebung messen. Sie kann mit der absoluten Positionierung ergänzt werden, um bei Ausfall dieser Technik immer noch eine Positionierung vornehmen zu können.

Die Techniken können im weiteren als selbstortend oder fernortend (remote-positioning) klassifiziert werden. Wie die Namen schon selber aussagen, kann sich im ersten Fall das Objekt selber orten und im zweiten Fall ist es ein „äusseres“ System – ein Netzwerk im allgemeinen, welches die Ortung vornimmt. Diese Klassifizierung ist vor allem für die Privatsphäre/Datenschutz von Bedeutung

Betrachten wir die Genauigkeit der Techniken, so gibt es 2 Arten der Positionsmessung. Entweder bezüglich eines Koordinatensystems oder bezüglich vordefinierten Räumen (Containment) [1]. In diesem Fall ist das Objekt drinnen oder draussen. Die Genauigkeit ist dann individuell abhängig von der Grösse des jeweiligen Containers. Ortungssysteme in Gebäuden verwenden meistens „Containment“.

## 2.1 Absolute Positionierung

Die Position wird mittels Abstand- oder Winkelmessungen zu bekannten Referenzpunkten eruiert. *Trilateration* ist das Verfahren mittels Distanzmessung, *Triangulation* verwendet zur Positionsbestimmung Winkelangaben. Die beiden Verfahren können kombiniert werden. Die Genauigkeit der zur bestimmenden Position ist unter anderem von der Geometrie bzw. der Lage der Referenzpunkten abhängig (Eine Menge von sehr verteilten Referenzpunkten ist einer Menge von Referenzpunkten, die alle ‚aufeinander liegen‘, vorzuziehen). Der hier auftretende Fehler heisst im englischen ‚Dilution of Precision‘ (DOP) [2]. Einfach ausgedrückt wirkt sich der Fehler wie folgt aus:

$$\text{Positionsfehler} = \text{DOP} * \text{Messfehler}$$

### 2.1.1 Messung der Laufzeit – Time of Arrival (TOA)

Dies ist ein Verfahren zur Distanzmessung von 2 Punkten. Die Distanz wird anhand der Laufzeit eines Signals bestimmt. Bei der Einwegmessung (Signal wird nicht reflektiert) müssen die beiden Punkte zeitlich synchronisiert sein. Diese Synchronisation kann auf mehrere Arten erreicht werden:

- Mit genauen synchronen Uhren auf beiden Seiten
- Mit 2 Signalen welche eine unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit haben. Die Entfernung zu einem Blitzeinschlag kann so gemessen werden (Licht- und Schallgeschwindigkeit).
- Mittels einer Messung zu einem zweiten Referenzpunkt

Falls das Signal von der anderen Station reflektiert wird, ist keine Synchronisation nötig und die Distanzmessung ist trivial.

Diese Technik wird von *GPS* und *Radar* verwendet.

### 2.1.2 Signalstärke

Die Stärke eines Signal nimmt mit zunehmender Entfernung zum Sender ab. Mit dieser physikalischen Eigenschaft kann auf die Distanz zum Sender geschlossen werden. Hierzu werden üblicherweise Karten über die Signalstärkeverteilung erstellt. Dieses Verfahren ist besonders anfällig gegenüber Hindernissen und Mehrwegeeffekten des Signals.

### 2.1.3 Laufzeitdifferenz – Time Difference of Arrival (TDOA)

Zwei Referenzstationen senden gleichzeitig ein Signal aus. Der Empfänger misst die Zeitdifferenz für deren Empfang. Daraus lässt sich mit den Positionsangaben der Sender eine hyperbolische Kurve berechnen, auf deren sich der Empfänger befindet. Mit weiteren Messungen zu anderen Referenzenpaaren kann ein Schnittpunkt bestimmt werden. Man beachte, dass hier die Referenzstationen synchronisiert sein müssen.

Die Berechnung ist auch direkt auf der Seite der Referenzstationen möglich (*remote positioning*), wobei nun das gesuchte Objekt ein Signal aussendet.

### 2.1.4 Eingangswinkel eines Signals – Angle of Arrival (AOA)

Das Radarsystem welches vor allem in der Schiffs- und Luftfahrt verwendet wird, ist ein bekanntes Beispiel für die Nutzung dieser Technik. Hier empfängt eine drehende Antenne die Signale und misst gleichzeitig deren Eingangswinkel. Mehrere Antennen können auch mit verschiedenen Ausrichtungen an der gleichen Position angeordnet werden. Dadurch erhaltene Richtungsinformationen werden bei GSM Positionierungssystemen benutzt. Eine dritte Variante der Winkelmessung benutzt zwei phasenverschobene gleichfrequente Signale. Das eine wird von einer Rundstrahlantenne erzeugt, das andere von einer ‚drehenden‘ Richtantenne, dessen Phase richtungsabhängig ist. Diese Technik wird in der Luftfahrt beim VOR-Navigationssystem verwendet.

### 2.1.5 Phase des Trägersignals – Carrier Phase

Theoretisch kann auf Grund der Anzahl Perioden und Phasenverschiebung eines Signals, und deren Wellenlänge, die Distanz berechnet werden. Die Anzahl Perioden können aber in der Praxis nicht direkt gemessen werden. *Carrier Phase* wird zur Genauigkeitssteigerung eingesetzt, wenn die Distanz bis zur Grösse der Wellenlänge bestimmt werden konnte.

## 2.2 Relative Positionierung

Das Trägheitsnavigationssystem in Flugzeugen ist ein Vertreter dieser Gruppe. Mittels Kreisel und Beschleunigungssensoren werden die relative Lage im Raum und die Bewegungen erfasst. Damit kann mit dem Wissen der Ausgangsposition die momentane Position berechnet werden. Die Distanz kann entweder direkt mittels eines Radsensors ermittelt werden oder durch Integration von Geschwindigkeit oder Beschleunigung (Beschleunigungssensoren). Relative Höhenmessungen können mit einem Barometer durchgeführt werden.

Die Lage im Raum kann mit Hilfe von Kreiseln erfasst werden. Drehende mechanische Kreisel bleiben im Raum stabil.

## 3 Ausgewählte Systeme

### 3.1 GPS – Global Positioning System

GPS ist ein satellitenbasiertes Ortungssystem. Es wurde 1973 beim amerikanischen Verteidigungsministerium initiiert und erreichte 1994 seinen vollen Betrieb. Bis dahin verschlang es 13 Mrd. \$. Das System besteht aus 27 funktionierenden GPS-Satelliten welche die Erde zweimal täglich auf einer Höhe von 20'180 km auf 6 verschiedenen nicht geostationären Bahnen umkreisen [3]. Mit Hilfe von GPS ist es möglich die genaue Zeit und Position zu erhalten. Hierzu sendet jeder Satellit folgende Informationen mit ca. 20-50 Watt auf der öffentlichen Frequenz von 1575.42 MHz aus [4]:

- Satellitenzeit und Synchronisationssignale
- Präzise Bahndaten des Satelliten (Ephemeriden)
- Zeitkorrekturinformationen zur Bestimmung der exakten Satellitenzeit
- Ungenauere Bahndaten aller Satelliten (Almanach)
- Korrektursignale zur Berechnung der Laufzeit
- Technischer Zustand des Satelliten (Status)

Diese Informationen ermittelt der Satellit mittels 4 hochpräzisen Atomuhren und durch die Kommunikation mit dem Bodenkontrollzentrum.

Die Position wird durch Trilateration mit TOA (Laufzeit) und den oben erwähnten Positionsangaben (Almanach & Ephemeriden) berechnet. Die Synchronisation mit den Satelliten wird mit dem Einbezug eines zusätzlichen Satelliten erreicht. Im 3-Dimensionalen Raum sind dazu 4 Satelliten nötig.

Die Positionsgenauigkeit ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Seit der Abschaltung der Signalverschlechterung durch das amerikanische Verteidigungsministerium im Mai 2000 beträgt die Genauigkeit ungefähr 15m. Folgende Fehler können die Genauigkeit einschränken:

- Sichtbarkeit der Satelliten (Anzahl und Signalstärke)
- Geometrische Anordnung der Satelliten – DOP
- Atmosphärische Einflüsse
- Mehrwegeeffekte des Signals
- Uhrfehler Empfängerseitig
- Bahnabweichungen der Satelliten
- Absichtliche Verschlechterung

Zur Genauigkeitssteigerung sind 2 Verfahren bekannt: Differential GPS (DGPS) und *Carrier Phase*. Beim ersten Verfahren übermittelt eine Referenzstation die gemessene Abweichung mit GPS. Diese Daten können dann zur Korrektur beim Empfänger verwendet werden. Für *Carrier Phase* siehe Kapitel 2.

Weitere benutze Referenzen: [5] [6] [7] [8].

### 3.2 Lokalisierung in GSM

Lokalisierung in GSM Systemen wird schon kommerziell eingesetzt. Beispiele sind: ortsabhängige Gesprächskosten im Genion Netz [9], ortsabhängige Informationen (Wetter, Kino in der aktuellen Region) und friendZone von Swisscom [10]. Technische Erläuterungen der Funktionsweise von kommerziellen Realisierungen sind schlecht erhältlich. Bei den GSM Netzherstellern sind dazu nur oberflächliche Informationen vom Internet abrufbar [11].

Grundsätzlich werden die 3 Verfahren: TOA, TDOA und AOA eingesetzt (siehe Kapitel 2.1). Eine betrachtete Forschungsstudie [12] analysierte die Möglichkeit der Ortung mit Standard GSM Funktionen und möglichen Erweiterungen. Eine benutzte Grösse, die in der GSM Kommunikation auftritt, war *timing advance*. Diese schreibt der Mobilstation vor, um wieviel früher ein Datenpaket gesendet werden muss. Diese Information ist abhängig von der Distanz zur Basisstation und kann somit vom TOA Verfahren benutzt werden. Die erreichte Genauigkeit betrug 150m in einer Testumgebung.

Ein anderes Forschungsprojekt [13] betrachtete die Signalstärke im GSM Netz. Dazu wurden Karten von der Signalstärkeverteilung in einem ausgewählten Gebiet erstellt – mittels mathematischer Modelle und Messungen. Die Position wurde netzseitig von einem WAP Server bestimmt und auf ein WAP fähige Mobilfunkstation übermittelt. Die Genauigkeit die hier erreicht wurde, lag bei 300m.

### 3.3 „Active Badges“ Lokalisierungs System [14]

Dies ist eines der ersten und bekanntesten Forschungsprojekte zur Lokalisierung. Die Idee dieses Systemes war, Mitarbeiter von Organisationen in Gebäuden zu orten, um so eine bessere Kommunikation - sprich Erreichbarkeit - zu ermöglichen. Jede Person trägt einen ‚Badge‘ in der Art eines Ausweises, welcher regelmässig via Infrarot seine Identität ausstrahlt. Diese ausgestrahlte Information wird von einem Empfänger Netzwerk gesammelt und von einem zentralen System zu Ortungsinformationen aufbereitet. Das System ermöglicht die

Ortung von Personen mit einer Wahrscheinlichkeitsangabe bezüglich der Richtigkeit der Information. Auch können Personen ausfindig gemacht werden, welche in einem bestimmten Raum sind oder mit einer bestimmten Person zusammen sind. Da die Ortung vom ‚System‘ vorgenommen wird, sind meines Erachtens Bedenken gegenüber dem Datenschutz angebracht.

### 3.4 Cricket [15]

Dies ist ein System aktuelleren Datums. Hier übermittelt grundsätzlich jeder Raum mittels eines Senders seine Identität unter der Angabe seines Namens und einer Referenz zu einem Server wo mehr Informationen abrufbar sind. Benutzerseitig wird die Entfernung zum nächsten Sender berechnet und so den aktuellen Ort bestimmt. Die Entfernung wird mittels TOA und 2 Signalen mit unterschiedlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit gemessen. Die Vorteile dieses Systems sind Dezentralisierung, Skalierbarkeit und Schutz der Privatsphäre, insofern die Benutzerin selber entscheidet wann und welche Informationen ausgegeben werden. Eine erwähnte Beispielsanwendung ist die eines Druckers, welcher mit einem Empfänger ausgerüstet ist und bei dessen Installation sich selber im jeweiligen Netzwerk mit Ortsangabe bekannt macht.

## 4 Standort Modelle - (Location Space Models)

Standort Informationen können mit geometrischen oder symbolischen Modellen dargestellt werden. Unter geometrischen Modellen versteht man ein n-dimensionales Koordinatensystem. GPS Empfänger stellen standardmässig ihre Positionsangaben geometrisch mit der Angabe von Höhen, Längen- und Breitengraden dar. Solche Informationen sind meistens für das direkte Verständnis von uns Menschen weniger geeignet. Wir können viel besser in Ortsangaben mit symbolischen Namen denken. Ein Beispiel hierzu ist eine hierarchisch strukturierte Ortsangabe: „Der Vortrag findet im Raum C42 statt, welcher sich im IFW Gebäude der ETH befindet...“ (CH/Zürich/ETH/IFW/C42). Diese Art der Darstellung gehört zu den symbolischen Modellen. Das Active Badges und Cricket System stellen in erster Linie ihre Informationen symbolisch dar, da ihre Ortung bezüglich von ‚Räumen‘ (Container) geschieht. Die Herausforderung liegt nun in der Kombination der beiden Modelle, welche langfristig gesehen als nötig betrachtet wird [1].

## 5 Referenzen

(in der Sprache der jeweiligen Publikation)

- [1] U. Leonhardt, „Supporting Location-Awareness in Open Distributed Systems“; Department of Computing; Imperial College of Science, Technology and Medicine; University of London
- [2] GPSWorld Online, „Dilution of Precision“, Richard B. Langley, University of New Brunswick, [http://www.gpsworld.com/0800/0800\\_2\\_dop.html](http://www.gpsworld.com/0800/0800_2_dop.html)
- [3] Jean-Marie Zogg-Weber, „GPS: Satelliten bestimmen den Standort“, Technische Rundschau Nr. 1 1999, Seite 22-24.
- [4] Garmin, „GPS Guide for beginners“, <http://www.garmin.com/aboutGPS/manual.html>
- [5] IBM - Geographic Information Systems, „GPS“, <http://giswww.pok.ibm.com/gps/>
- [6] U.S. Naval Observatory (USNO), GPS Status information and other, <http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>
- [7] U.S. Coast Guard Navigation Center, <http://www.navcen.uscg.gov/>
- [8] Peter H. Dana, „Global Positioning System Overview“, University of Texas at Austin, [http://www.Colorado.EDU/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.Colorado.EDU/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)
- [9] Homezone, Genion – VIAG-Interkom, <http://www.genion.de>
- [10] FriendZone von Swisscom, <http://www.friendzone.ch>
- [11] Ericsson, GSM –Technical Overview, <http://www.ericsson.com>
- [12] Ch. Drane, M. Macnaughtan, and Craig Scott, „Positioning GSM Telephones“, University of Technology, Sydney.
- [13] Ch. Wong, M.C. Lee, and R. Chan, „GSM-based Mobile Positioning using WAP“, Chinese University of Hong Kong.
- [14] R. Want, A.Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, „The Active Badge Location System“. ACM Transactions on Information Systems 10, 1 (January 1992), 91-102.
- [15] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, „The Cricket Location-Support System“, ACM MOBICOM `00.