

# Ortungssysteme für mobile Endgeräte

Erwin Aitenbichler

Fachbereich Informatik, Fachgebiet Telekooperation  
Technische Universität Darmstadt  
Alexanderstraße 6  
64283 Darmstadt  
erwin@tk.informatik.tu-darmstadt.de

**Abstract:** Kontextbezogene Systeme stellen einen wichtigen Baustein des Ubiquitous Computing dar. Um prototypische Systeme und Anwendungen entwickeln zu können, ist die Untersuchung und Auswahl von Ortungssystemen als “Kontextquellen” wesentlich. In diesem Paper werden unterschiedliche Verfahren zur Orts- und Lagebestimmung diskutiert, die in unserer Gruppe entwickelten Systeme vorgestellt und Erfahrungen geschildert.

## 1 Einleitung

Die Gruppe Telekooperation entwickelt neuartige Geräte und Infrastrukturen für das Ubiquitous Computing (UC). Im Unterschied zum Desktop Computing findet man hier eine um Größenordnungen höhere Anzahl von intelligenten Dingen und Geräten vor, die in der Umgebung eingebettet oder aber zu verschiedensten Graden mobil sein können. Diese Komponenten kommunizieren miteinander und bilden durch ihr Zusammenwirken höhere Funktionen.

Durch die Migration dieser Geräte weg vom Desktop kommt dem Kontext, in dem sie sich befinden, eine größere Bedeutung zu. Die Verwertung von Kontextinformationen in solchen Systemen verspricht, diese “intelligenter” zu machen um so einfachere und bessere Benutzerschnittstellen zu ermöglichen. Einer der wichtigsten physikalischen Kontextparameter ist der Ort, denn die meisten anderen physikalischen und situativen Kontextparameter sind eine Funktion von Ort und Zeit.

Auf der Seite des mobilen Benutzers kommt ein Endgerät zum Einsatz, das wir als minimale Entität (ME) bezeichnen [Ha02]. Dieses ME dient als digitaler Repräsentant des Benutzers und verfügt über bestimmte Mindestfunktionalitäten hinsichtlich Kommunikation, Interaktion, Kontextbezug und Sicherheit. Der “Talking Assistant” ist unser Prototyp eines solchen ME-Gerätes und wird in Kapitel 3 vorgestellt.

## 2 Lokalisierungssysteme

Den Aufenthaltsort eines Gerätes zu bestimmen gilt als nicht trivial. Die große Anzahl an entwickelten Verfahren und Systemen [HB01] lässt darauf schließen, dass diese jeweils nur bestimmte Teilbereiche abdecken können. Eine universell einsetzbare Lösung zur Lokalisierung ist derzeit nicht unmittelbar in Sicht. Auf Grund des eingesetzten Übertragungsmediums können die Systeme wie folgt unterschieden werden.

**RF:** Grundsätzlich kann hier zwischen auf Laufzeit und auf Signalstärke beruhenden Verfahren unterschieden werden. Die Laufzeitmessung stellt hohe Hardware-Anforderungen, da die Wellenausbreitung nahezu mit Lichtgeschwindigkeit erfolgt und so die Zeit mit sehr hoher Auflösung gemessen werden muss. Die Signalstärke hingegen wird meist von der drahtlosen Netzwerkschnittstelle bereitgestellt und die Ortung kann rein in Software realisiert werden. Diese Lokalisierungssysteme müssen allerdings auf die jeweilige Einsatzumgebung geeicht werden. RADAR [BP00] etwa basiert auf diesem Prinzip.

Für den Außenbereich gilt GPS derzeit als Standard. Dieses System ist weltweit verfügbar und bietet eine Genauigkeit von 22m in der horizontalen und 27,7m in der vertikalen Ebene [Kap96] und ist zur Navigation von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen konzipiert. Das System benötigt eine direkte Sichtlinie zu mehreren Satelliten und eignet sich daher nur eingeschränkt z.B. zur Fußgängernavigation und ist im Innenraum gar nicht verfügbar.

Zur groben Positionsbestimmung im Außen- und Innenbereich kann die Zelleninformation von Handynetzen oder von lokalen WLAN oder Bluetooth- Netzen verwendet werden. Die Verwendung der Zelleninformation zur Ortung in Handynetzen ist naheliegend, allerdings stellen die Netzbetreiber die entsprechenden Daten meist gar nicht oder in proprietären Formaten zur Verfügung.

Auf Zeitmessung basierende Verfahren für den Außenbereich und offene Innenbereiche (etwa Hallen) funktionieren meist nach dem inversen GPS-Prinzip (IGPS). Kommerzielle Systeme nach diesem Prinzip sind z.B. PinPoint ([www.rftechnologies.com/](http://www.rftechnologies.com/)), PalTrack ([www.sovereign.com](http://www.sovereign.com)) und LPM ([www.abatec.at/](http://www.abatec.at/)). Neue Ultra WideBand (UWB)-Verfahren (<http://www.ubisense.net/>) sind vielversprechend.

**Ultraschall:** Ultraschall-Ortungssysteme beruhen auf Laufzeitmessung. Im Vergleich zu RF-basierten Verfahren stellt die Zeitmessung hier grundsätzlich kein Problem dar, da sich Schallwellen für die Verhältnisse heutiger Mikrocontroller sehr langsam ausbreiten. Kommerzielle Systeme werden z.B. von InterSense ([www.intersense.com](http://www.intersense.com)) angeboten. Weitere Systeme sind Active Bats und Cricket [PCB00]. Die Installation solcher Systeme ist aufwändig. Das Active Bat System erfordert die Installation eines Sensorengitters an der Decke, das sich über den gesamten Messbereich erstreckt.

**Magnetisch:** Magnetische Tracker kommen vorwiegend in CAVEs zum Einsatz. Sie bieten eine hohe Genauigkeit, können aber nur in kleinen und kontrollierten Umgebungen eingesetzt werden.

**IR:** Typische auf Infrarot basierende Badges senden in periodischen Abständen ihre ID aus, die von örtlich fest platzierten Empfängern dekodiert werden. Dieses einfache Prinzip liefert nur die binäre Information, ob ein Empfänger einen bestimmten Sender sieht, oder

nicht. Der Aufbau eines Ortungssystems erfordert die Installation einer großen Anzahl von Empfängern. Als erstes System dieser Art gilt Active Badge [Wan92]. Dieses Prinzip kann auch umgekehrt werden, sodass die im Raum fest angebrachte Station periodisch IDs aussendet und die mobilen Stationen empfangen. Dieses Prinzip erfordert allerdings einen zusätzlichen RF-basierten Kommunikationskanal hin zur Infrastruktur, wie z.B. in [TP03].

Mittels Triangulation können Ortungssysteme mit hoher Auflösung aufgebaut werden. Kommerzielle Produkte sind z.B. Polaris ([www.ndigital.com](http://www.ndigital.com)) für medizinische Anwendungen, Firefly ([www.cybernet.com](http://www.cybernet.com)) für Motion Tracking und X-pecto ([www.xync.com](http://www.xync.com)) für Studioanwendungen. An unserer Gruppe wurde das System IRIS-LPS entwickelt, das auf Standardkomponenten basiert und große Innenräume abdecken kann. Dieses System wird im nächsten Kapitel vorgestellt. Optische Systeme dieser Art erfordern eine umfangreiche Vorkalibrierung, können aber dann im Gegensatz zu Ultraschall- und signalstärkebasierten Verfahren sehr schnell am Einsatzort installiert werden.

### 3 Implementierte Systeme

Die Auswahl und Entwicklung von Systemen in unserer Forschung orientiert sich an Anwendungen, die uns in der täglichen Arbeit unterstützen sollen. Typische Einsatzgebiete sind daher Büroräume, Hörsäle oder der Universitäts-Campus. Weitere Anwendungsszenarien umfassen einen Führer für Museen, Ausstellungen oder Wissenschaftsparks und die Unterstützung mobiler Feldtechniker. Als zu ortende Geräte kommen einfache IR-Beacons bzw. Badges, der Talking Assistant (TA), PDAs und Notebooks zum Einsatz.

Der TA [AM03a] ist ein drahtloses Headset, unterstützt Audio Ein-/Ausgabe und verfügt über einen Hardware MP3-Decoder. Ein Bluetooth-Modul dient zur drahtlosen Kommunikation mit der Netzwerk-Infrastruktur. Das Gerät verfügt über eine Reihe von Sensoren, um Kontext-Informationen zu erfassen. Das Headset ist mit einem Infrarot-Empfänger und acht Infrarot-Sendediodeen ausgestattet, die zur Positionsbestimmung verwendet werden. Der TA bestimmt weiters die Kopfausrichtung des Benutzers mit Hilfe eines elektronischen Kompasses und eines Beschleunigungssensors. Der Beschleunigungssensor misst neben dynamischen (z.B. Kopfschütteln, Nicken des Benutzers) auch statische Beschleunigungen (Lage). An unserer Gruppe wurden Ortungssysteme entwickelt, die auf den folgenden vier unterschiedlichen Verfahren beruhen: IR, IR/RF, IR-Triangulation und RF-Signalstärke.

**IR:** Das an unserer Gruppe entwickelte Badge-System verwendet empfindliche Infrarot-Empfänger aus der Unterhaltungselektronik und erzielt so eine Reichweite von ca. 10 Metern, typischerweise auch bei nur indirekter Sicht und eignet sich so gut für typische Büroräume. Die Badges treten dabei als Sender auf und pro Raum existiert ein Empfänger.

**IR/RF:** Das TA Headset verfügt über einen Infrarot-Empfänger und eine Bluetooth-Funkschnittstelle. In diesem Fall wird ein im Raum feststehender IR-Sender eingesetzt. Die Positionsinformation wird dann per Bluetooth an die Infrastruktur gemeldet.

**IR-Triangulation:** Für viele Anwendungen ist es allerdings wünschenswert, die Position des Benutzers auf einige Zentimeter genau bestimmen zu können. Das eingesetzte Verfah-

ren soll dabei auch noch in größeren Räumen arbeiten. Diese Anforderungen werden durch ein optisches System erreicht. Um die Position zu bestimmen, sendet das mobile Gerät ein Infrarotsignal aus. Dieses Signal wird an zwei unterschiedlichen Punkten im Raum empfangen und durch Messung der Eintrittswinkel und Triangulation kann die räumliche Position des Senders berechnet werden. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist, dass eine direkte Sichtlinie benötigt wird. Ist das zu verfolgende Objekt verdeckt, so ist keine Messung mehr möglich. RF- oder Ultraschall-basierte Systeme würden in diesem Fall mit reflektierten Signalen arbeiten und immer noch eine Ortung ermöglichen, allerdings mit einer verminderten Genauigkeit und oft kann dieser Umstand nicht erkannt werden.

Das an unserer Gruppe entwickelte System IRIS-LPS (InfraRed Indoor Scout - Local Positioning System) basiert auf zwei Standard USB-Kameras, die in einer Entfernung von 20cm fest montiert sind und einem PC zur Bildverarbeitung. Die Kameras sind mit Weitwinkellinsen und Infrarot-Filtern ausgestattet. Acht Infrarot-Emitterdioden sind auf der Oberseite des TA Headsets angebracht, um eine höhere Reichweite zu erzielen. Zu jeder Zeit ist immer nur der Emitter aktiv, der in Richtung der Stereo-Kamera abstrahlt. Die entsprechende Richtung wird mit Hilfe der Informationen vom Kompass, der ungefähren Position und des Weltmodells ermittelt. Die Genauigkeit des Systems wurde in einem 15,1x9m großen Hörsaal evaluiert. Das Ergebnis ist ausführlich in [AM03b] dargestellt.

**RF-Signalstärke:** In unserer Gruppe wurde ein Ortungssystem basierend auf WLAN-Funknetzen entwickelt, das unter Verwendung der Signalstärke die Position eines mobilen Gerätes trianguliert [Son02]. Die Signalstärkeparameter werden dabei mit Hilfe eines erweiterten Linux-WLAN-Treibers gewonnen. Mit unserem Interpolations-Algorithmus konnten wir gegenüber den in RADAR eingesetzten Algorithmen geringfügig bessere Ergebnisse erzielen. Die Genauigkeit liegt ebenfalls in der Größenordnung von 2-3 Metern.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

IR-basierte Verfahren eignen sich gut für Innenräume und sind mittlerweile relativ robust gegenüber schwacher bis mittlerer indirekter Sonneneinstrahlung. Die Verwendbarkeit im Außenbereich ist allerdings eingeschränkt. Unidirektionale IR-Badges haben einen geringen Stromverbrauch und können daher (bei verminderter Sendeleistung) auch mit Solarzellen versorgt werden. Der große Vorteil dieser Lösung ist, dass die Badges wartungsfrei sind. Allerdings ist die Anzahl der Tags pro Raum begrenzt, da typischerweise mit geringen Bitraten über ein gemeinsames Medium übertragen wird. Die Anzahl der Klienten ist bei IR/RF-Verfahren hingegen nur durch die Eigenschaften der RF-Schnittstelle begrenzt. In aktuellen Arbeiten untersuchen wir bidirektionale IR-Badges und die Senkung des Energieverbrauchs basierend auf zeitbasierten MAC-Protokollen.

Die eben genannten Verfahren erlauben es, die Präsenz von Badges in Räumen zu erkennen. Das von uns entwickelte System IRIS-LPS ermöglicht eine genaue Ortung und erreicht 16,67cm (RMS) auf einer Fläche von etwa  $100m^2$  und erlaubt somit z.B. die Unterscheidung der Sitzplätze in einem Hörsaal. Eine kontinuierliche Ortung erfordert, dass die Emitter an exponierten Stellen angebracht werden und permanentes Senden. Durch

den höheren Energieverbrauch ist das Verfahren eher für größere Geräte wie den TA, PDAs oder Notebooks geeignet. Wegen der Immunität gegenüber magnetischen und RF-Störungen finden derartige Systeme auch zunehmend Einzug in CAVEs.

Auf WLAN-Signalstärken basierende Systeme eignen sich zur groben Positionsbestimmung vorwiegend in großen Innenräumen und im Außenbereich. Dieses Verfahren ist interessant, da es in Form einer reinen Softwarelösung mit existierender Standard-Hardware realisiert werden kann. Auf Zeitmessung beruhende RF-Verfahren stellen generell die bessere Lösung dar, da diese nicht auf das Einsatzgebiet geeicht werden müssen und eine höhere Genauigkeit bieten. Entsprechende kommerzielle Systeme sind angekündigt bzw. befinden sich noch im frühen Produktstadium.

## Literatur

- [AM03a] Erwin Aitenbichler and Max Mühlhäuser. Audiobasierte Endgeräte für Ubiquitous Computing und geeignete Infrastrukturen. *HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik*, (229):68–80, February 2003.
- [AM03b] Erwin Aitenbichler and Max Mühlhäuser. An IR Local Positioning System for Smart Items and Devices. In *3rd International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC03)*. IEEE, 2003.
- [BP00] P. Bahl and V. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System. In *Proc. IEEE Infocom 2000, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif.*, pages 775–784, 2000.
- [Ha02] Andreas Hartl and al. Engineering Multimedia-Aware Personalized Ubiquitous Services. In *IEEE Fourth International Symposium on Multimedia Software Engineering (MSE 2002)*, Newport Beach, California, 2002.
- [HB01] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello. Location Systems for Ubiquitous Computing. *Computer, Issue on Location Aware Computing*, Volume 34 Number 8:57–66, August 2001.
- [Kap96] Elliott D. Kaplan, editor. *Understanding GPS - Principles and Applications*. Artech House, 1996.
- [PCB00] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. The Cricket Location Support System. In *Proc. 6th Ann. Int'l Conf. Mobile Computing and Networking (Mobicom 00)*, pages 32–43, New York, 2000. ACM Press.
- [Son02] Yong Song. In-House Location Tracking. Diplomarbeit. FG Telekooperation, Technische Universität Darmstadt, 2002.
- [TP03] Dirk Elias Tom Pfeifer. Commercial Hybrid IR/RF Local Positioning System. In *KiVS 2003, Kommunikation in Verteilten Systemen, Universität Leipzig*, 2003.
- [Wan92] R. Want. The Active Badge Location System. *ACM Trans. Information Systems*, pages 91–102, January 1992.