

8 Ortsbezug

Ein Merkmal von Mobile Computing ist, dass sich die Benutzer und ihre Geräte räumlich bewegen. Für viele Anwendungen ist es wichtig, die aktuelle Position des Benutzers zu kennen und in die Berechnungen einfließen zu lassen. Positionsdaten können dabei auf unterschiedliche Weise verwendet werden:

*Mobile Computing und
Positionsbestimmung*

- Eine Anwendung kann die aktuelle Position benutzen, um den Benutzer zu einem bestimmten Zielort zu führen (*Navigation*). Solche Anwendungen sind beispielsweise in Automobilen im Einsatz. Auf der Basis der aktuellen Position und mit Hilfe eines gespeicherten Straßennetzes kann der optimale Weg zum Ziel berechnet werden.
- Anwendungen können dem Benutzer auf der Basis der Position Informationen über den aktuellen Ort oder die Umgebung liefern. Beispielsweise können elektronische Touristenführer historische Daten über Gebäude präsentieren. Ein elektronischer Museumsführer könnte dem Benutzer Daten über das Gemälde liefern, vor dem dieser sich gerade befindet.
- Auch der kommerzielle Einsatz für den Verkauf ist denkbar. In Supermärkten könnte der Kunde beispielsweise über Sonderangebote informiert werden, wenn er an einem bestimmten Regal vorbei geht.
- Die Kenntnis der aktuellen Position kann nicht nur dem Benutzer helfen, der diese Position einnimmt. Sie kann auch an andere Personen übermittelt werden. So kann beispielsweise ein automatisches Hilferufsystem im Notfall einen Arzt zu der Position des Patienten lotsen oder Eltern können die Position ihres vermissten Kindes bestimmen.
- Eine Verknüpfung von existierenden Diensten des Internets mit Positionsdaten führt zu einer Reihe interessanter Anwendungen. Im World Wide Web könnten Hyperlinks beispielsweise die aktu-

Navigation

*Informationen über die
Umgebung*

Supermarkt

Notrufe

*Verknüpfung mit dem
Internet*

elle Position berücksichtigen. Der Link »Ein italienisches Restaurant in der Nähe« würde dann, je nach Position, auf eine andere Seite führen. Auch die Verknüpfung mit E-Mail-Diensten ist denkbar. So könnten E-Mails an Teilnehmer versendet werden, die eine bestimmte Position einnehmen, z.B. in einer bestimmten Straße wohnen. Eine Erinnerungsnachricht könnte einen Benutzer an eine Besorgung erinnern, wenn dieser eine Einkaufspassage betritt.

Optimierung von
Kommunikations-
infrastrukturen

■ Positionsdaten können auch benutzt werden, um eine vorhandene Kommunikationsinfrastruktur zu optimieren, wie z.B. um das Routing in Ad-hoc-Netzen zu unterstützen [BCSW98]. Auch ortsbezogene Kommunikationsdienste sind denkbar. So könnte ein eingehender Anruf an denjenigen Telefonapparat im Gebäude weitergeleitet werden, der dem Benutzer am nächsten ist.

Militärische
Anwendungen

■ Von besonderem Interesse ist die Positionsbestimmung für militärische Anwendungen. Das Positionierungssystem GPS ist beispielsweise vorrangig aus einer militärischen Motivation heraus entwickelt worden. Mit Hilfe der Positionsdaten können Flugzeuge, Fahrzeuge und Schiffe navigieren oder Flugkörper in ein Ziel gesteuert werden. Zusätzlich werden Positionsdaten für die Einsatzplanung und Logistik verwendet.

Wir starten mit einer allgemeinen Einführung in das Thema Ortsbezogenheit.

8.1 Ortsbezogene Anwendungen und Dienste

8.1.1 Kontextbewusstsein

Orts-,
Positionsbewusstsein
Location Awareness

Die Eigenschaft von Anwendungen, irgendwie geartete Positionsdaten zu berücksichtigen, wird *Orts-*, *Positionsbewusstsein* oder im Englischen *Location Awareness* genannt. *Location Awareness* ist ein Begriff aus einer ganzen Gruppe von Begriffen mit ähnlicher Bedeutung, beispielsweise *Position Awareness*, *Situation Awareness* oder *Context Awareness*.

Context Awareness

Der Begriff *Context Awareness* stellt den allgemeinsten der vorgenannten »Awareness«-Begriffe dar. Er wurde in der Vergangenheit mehrfach von unterschiedlichen Forschern definiert. Die früheste Definition geht auf Schilit und Theimer zurück [ST94]:

Location information is necessary for users and applications that want to query and interact with nearby devices and services. Such information also allows stationary cli-

ents to track moving objects. In general, location information enables software to adapt according to its location of use, the collection of nearby people and objects, as well as the changes of those objects over time. We use the term context-aware computing to describe software exhibiting these general capabilities.

Eine etwas prägnantere Definition liefern Dey und Abowd [DA99]:

Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and the applications themselves.

Beiden Definitionen ist gemein, dass Informationen über die Umgebung die Ausführung einer Anwendung beeinflussen. Der Begriff Kontext kann dabei noch weiter unterteilt werden [DRD⁺00]:

- Der *Infrastrukturkontext* ist der Kontext, der mit der Kommunikationsinfrastruktur zusammenhängt. Der Benutzer nimmt diesen Kontext als Netzwerkbandbreite, -verzögerung oder -verlässlichkeit wahr.

Infrastrukturkontext
- Eine mobile Anwendung wird oft über mehrere Rechner und Geräte verteilt realisiert. Der *Systemkontext* ist der Kontext im Rahmen der anderen Systemkomponenten der Anwendung. Hier-von werden Probleme der verteilten Anwendungsentwicklung berührt.

Systemkontext
- Der *Domänenkontext* stellt eine Beziehung zwischen den Geräten und ihren Benutzern auf der Basis der Anwendungsdomäne her. Insbesondere die Interaktion mit anderen Benutzern fällt darunter.

Domänenkontext
- Mobile Geräte befinden sich in einem *physikalischen Kontext*. Sie sind beispielsweise fest in ein Fahrzeug eingebaut oder werden unter bestimmten Umweltbedingungen eingesetzt. Dieser Kontext berücksichtigt das physikalische Wesen von Geräten und ihre Einsatzbedingungen. Hiervon betroffen sind beispielsweise die Größe und Beschaffenheit von mobilen Geräten und die notwendige Sensortechnologie.

Physikalischer Kontext

Eng verknüpft mit dem Kontext ist der Begriff der *Situation*. Während der Kontext allgemein durch einen Satz von Variablen wie Position oder Zeit bestimmt wird, beschreibt eine Situation eine konkrete Belegung dieser Variablen mit einer bestimmten Bedeutung [CCR+02,

Dey01, DN04, GVW04]. So beschreibt das Tupel Zeit: 4.2.2006, Ort: Fernuniversität Hagen, Raum G04 die Situation: »Fernuni-Seminar«. Situationen können aus den Kontextvariablen durch die Klassifikation von Wertebereichen oder durch die Definition geeigneter Untermengen aller Kontextvariablen abgeleitet werden. Hierzu existieren diverse Forschungsplattformen [BKL+04, CR02, SDA99], allerdings erfordern diese umfangreiches Wissen über die Umwelt. Zusätzlich ist nicht immer klar, wie durchgängig bestimmte Kontextvariablen erfasst werden sollen.

8.1.2 Ortsbewusstsein und ortsbezogene Dienste

Positionsbestimmung und
Context-aware
Computing

Einige der kontextbezogenen Daten sind statischer Natur und ändern sich nur relativ selten, während sich andere Daten häufiger ändern. Es stellt sich heraus, dass kontextbezogene Daten, die sich häufiger ändern, direkt oder indirekt mit der aktuellen Position des Benutzers oder des Geräts im Raum zusammenhängen [DRD+00]. Die Position kann damit als eine Größe benutzt werden, um weitere kontextbezogene Daten abzuleiten. Im Rahmen von *Context-aware Computing* kommt damit der Positionsmessung eine besondere Bedeutung zu.

Ortsbezogener Dienst
Location-based Service
Ortsbezogene
Anwendung

Durch die Einführung von GPS im Jahr 1995 (siehe Abschnitt 8.3.2, Seite 284) stand ein durchgängig einsetzbares Positionsbestimmungssystem zur Verfügung. Man ging davon aus, dass mobile Endgeräte ihre Position selbständig bestimmen und die Positionsinformation den Diensteanbietern mitteilen können. Entsprechende Dienste wurden *ortsbezogene Dienste* (engl.: *Location-based Services*) genannt. Obwohl der Begriff »Dienst« ursprünglich für einen Netzwerkdienst (beispielsweise auf der Basis einer Client-Server-Architektur) verwendet wurde, wird mittlerweile unter einem ortsbezogenen Dienst auch eine Anwendung verstanden, die ohne Netzwerk betrieben werden kann. Häufig wird in einem solchen Fall auch der allgemeinere Begriff *ortsbezogene Anwendung* verwendet.

8.1.3 Ortsbezogene Dienste des Mobilfunks

Ortsbezogene
Mobilfunkdienste

Neben der Inbetriebnahme von GPS als wichtiges Positionsbestimmungssystem gab es einen weiteren Meilenstein für ortsbezogene Dienste: die Einführung des digitalen Mobilfunks. Das Mobiltelefon konnte als erste weit verbreitete mobile Rechnerplattform angesehen werden. Der Erfolg von GSM erlaubte die kommerzielle Einführung von ortsbezogenen Diensten. Häufig wird daher noch unter dem Begriff des ortsbezogenen Dienstes vorwiegend ein Dienst des Mobilfunks verstanden.

Obwohl weit verfügbar, haben Mobiltelefone als Plattform für ortsbezogene Dienste einige Nachteile: Häufig gibt es keine explizite Hardware zur Positionsbestimmung. Zur Bestimmung der Position wird zurzeit vorwiegend die Zellenstruktur des Mobilfunknetzes verwendet (Abschnitt 8.5.1, Seite 301), die aber keine genaue Positionsbestimmung erlaubt. Ein weiterer Nachteil ist das Fehlen von Standards zur Anwendungsentwicklung. Erste Dienste basierten daher auf SMS oder später auf WAP. Unter anderem wegen entsprechender Limitationen stellte sich aber bisher kein kommerzieller Durchbruch ein.

*Nachteil der Mobiltelefone
als Plattform*

Durch die Weiterentwicklung der Endgeräte werden jedoch einige Nachteile der Mobiltelefone zunehmend überwunden:

- Viele Mobiltelefone werden mit GPS-Empfängern ausgestattet, so dass eine genauere Positionsbestimmung möglich ist.
- Mobiltelefone werden zunehmend leistungsstärker, so dass aufwendige Anwendungen laufen können.
- Es gibt verschiedene Entwicklungsplattformen für Mobiletelefone wie beispielsweise Java Micro Edition, Symbian OS oder PalmOS (Abschnitt 11.3, Seite 403), so dass eigenständige Anwendungen entwickelt werden können.

*Weiterentwicklung
der Mobiltelefone*

Nicht zuletzt mit der Einführung von UMTS erwartet man daher ein großes Potenzial ortsbezogener Mobilfunkdienste in der Zukunft [UF00b].

8.1.4 Eine Klassifikation ortsbezogener Dienste

In den letzten Jahren wurden verschiedene ortsbezogene Dienste außerhalb des Mobilfunkbereichs entwickelt. Abb. 8–1 zeigt einige Beispiele: eine Flottenmanagement-Anwendung und Navigationsanwendungen (außerhalb und innerhalb von Gebäuden).

Obwohl der Begriff der ortsbezogenen Anwendungen oder Dienste schon seit Jahren existiert, gibt es keine weit verbreitete oder akzeptierte Klassifikation. In Tab. 8–1 wurden daher mehrere in der Literatur verfügbare Klassifikationen berücksichtigt [BGI+02, Jac04, LQS+01, Roth05a, Spie04, UF00b].

Abb. 8-1
Flottenmanagement und
Navigations-
anwendungen



Tab. 8-1
Klassifikation
ortsbezogener Dienste

| Kategorie | Beschreibung | Beispiel |
|--------------------------------------|--|--|
| Ortsbezogene Informationsdienste | Der mobile Benutzer fordert Informationen über den aktuellen Ort an | Lokale Wettervorhersage, Navigation, lokale Karten, lokale Fahrpläne |
| Points of Interest | Der mobile Benutzer sucht lokale stationäre Objekte oder Einrichtungen | Suchdienste (Restaurant, Hotels etc.), Dienstsuche (z.B. Drucker) |
| Suchen anderer Benutzer | Der mobile Benutzer sucht andere Benutzer in der Nähe | Friend Finder, Flirt Finder, Spiele |
| Tracking-Dienste | Ein (potenziell stationärer) Benutzer verfolgt die Position eines anderen Benutzers oder mobilen Objekts | Flottenmanagement, Positionsüberwachung von Kindern, Verfolgung wertvoller Güter |
| Assistenzdienste | Ein Service-Center empfängt die Position eines mobilen Benutzers, der eine Assistenz anfordert | Notruf, Pannenhilfe |
| Nachrichten- und Ankündigungsdienste | Mobile Benutzer in einem bestimmten Gebiet empfangen Nachrichten | Lokale Werbungen, Nachrichten an Freunde in der Nähe |
| Trigger-Dienste | Ein mobiler Benutzer wird benachrichtigt, wenn ein bestimmtes Gebiet betreten wird | Ortsbezogene Erinnerungen, Verkehrswarnungen, Unwetterwarnungen |
| Ortsbezogene Gebühren | Gebühren werden anhand der Position eines mobilen Benutzers erhoben | Zoll- und Maut-Gebühren, Homezones |

Man kann die folgenden Eigenschaften ortsbezogener Dienste unterscheiden:

- **Geschäftsbezogene Eigenschaften:** Für Dienstanbieter ist das Geschäftsmodell besonders wichtig. Ortsbezogene Dienste können in die Klassen *C2C*, *C2B*, *B2B*, *B2C*, *C2G* und *B2W* eingeteilt werden [LQS+01], wobei die »2« als »to« gesprochen wird und die Buchstaben Folgendes bedeuten: »B«: Business (Geschäft), »C«: Consumer (Kunde), »G«: Government (Regierung, Verwaltung) und »W«: Workforce (Arbeitskräftepotenzial). Dienste können auch gemäß dem Peer-to-Peer-Paradigma realisiert werden und ohne Dienstanbieter nur durch die teilnehmenden Benutzer bereitgestellt werden.

*Geschäftsbezogene
Eigenschaften*
- **Weitergabe der Position:** Man kann Dienste danach unterscheiden, ob eine Position im Rahmen der Dienstbearbeitung an Dritte weitergegeben werden muss. In diesem Fall müssen Aspekte der Vertraulichkeit berücksichtigt werden. Auch wenn nicht in allen Ländern explizit geklärt ist, wie man mit der Position des Benutzers umgehen darf, wird sie doch gemeinhin als »privat« eingestuft. Für zellulare Netze ist es notwendig, die Position zellengenau zu kennen, aber Dritte sollten diese nicht generell aufdecken oder gar Bewegungsprofile erstellen können. Einige der oben dargestellten Dienste erfordern jedoch, dass die Position weitergegeben wird (z.B. Assistenzdienste). Hier müssen Sicherheitsmechanismen eingeführt werden.

*Vertraulichkeit der
Position*
- **Technische Eigenschaften:** Als wichtiges Merkmal kann man *Push-* und *Pull-Dienste* unterscheiden. Diese Unterscheidung betrifft nicht alleine technische Aspekte, sondern auch die Art der Interaktion. Pull-Dienste arbeiten nur auf Anforderung durch den Benutzer, während Push-Dienste durch Ereignisse (hier Bewegungsereignisse) aktiviert werden. Push-Dienste erfordern eine spezielle Unterstützung vom unterlegten Netzwerk (siehe auch Abschnitt 7.4.2, Seite 257). Eine weitere Unterscheidung betrifft den *Zustand* [Jac04]: Ein Dienst ist *zustandsbehaftet*, wenn ein Zustand über mehrere Anfragen hinaus verwaltet werden muss, sonst *zustandslos*. Ein letztes Merkmal ist die Genauigkeitsanforderung der Positionsbestimmung. Einige Dienste funktionieren auch bei moderater Genauigkeit, während andere (besonders Assistenzdienste) eine höhere Genauigkeit erfordern [BGI+02, Spie04].

*Push vs. Pull
Zustandsbehaftet vs.
zustandslos
Genauigkeit der
Positionsbestimmung*

Tab. 8–2 fasst die Eigenschaften zusammen.

Tab. 8-2
Eigenschaften
ortsbezogener Dienste
(gemäß [BGI+02, Jac04,
LQS+01, Spie04])

| Kategorie | Geschäftsmodell | Pull vs. Push | Position an Dritte übermittelt | Zustand | Genauigkeit |
|--------------------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|-------------|
| Ortsbezogene Informationsdienste | C2B | Pull | Nein | Zustandslos | <1 km |
| Points of Interest | C2B | Pull | Nein | Zustandslos | <1 km |
| Suchen anderer Benutzer | C2C | Pull | Ja | Zustandsbehaftet | <200 m |
| Tracking-Dienste | C2C, B2B, B2W | Pull durch Verfolger | Ja | Zustandsbehaftet | <200 m |
| Assistenzdienste | C2G, C2B | Push | Ja | Zustandslos | <20 m |
| Nachrichten- und Ankündigungsdienste | C2C, B2C | Push | Nein | Zustandslos | <1 km |
| Trigger-Dienste | C2C, C2B, B2C | Push | Beides möglich | Zustandsbehaftet | < 500 m |
| Ortsbezogene Gebühren | B2C, B2B | Push durch Gebührenerheber | Beides möglich | Zustandslos | < 500 m |

8.2 Positionsdaten und Positionsbestimmung

Je nachdem, welches Verfahren zur Positionsbestimmung verwendet wird, haben die gewonnenen Positionsdaten unterschiedliche Eigenschaften. Umgekehrt haben Anwendungen, die Positionsdaten auswerten müssen, sehr unterschiedliche Anforderungen an die Positionsdaten. Folgendes gilt es zu beachten:

Koordinatensysteme

- **Koordinatensysteme:** Weltweit eindeutige Koordinaten können auf mehrere Arten angegeben werden. *Geographische Koordinatensysteme* spezifizieren Punkte durch Längengrad, Breitengrad und Höhe (Abb. 8-2a). Um die Erdoberfläche geeignet zu modellieren, werden *Ellipsoide* verwendet, z.B. WGS 84 (World Geodetic Survey 1984) [Euro98]. *Geozentrische, kartesische Koordinatensysteme* (Abb. 8-2b) spezifizieren Punkte über drei Achsen und sind für einige Zwischenberechnungen sinnvoll. *Ebene Koordinatensysteme* (Abb. 8-2c) teilen die Erdoberfläche in Abschnitte ein, in denen kartesische Koordinaten ohne allzu große Fehler verwendet werden können. Beispiele für ebene Koordinatensysteme sind

Gauß-Krüger (z.B. von deutschen Vermessungsämtern verwendet) oder *UTM (Universal Transversal Mercator)*.

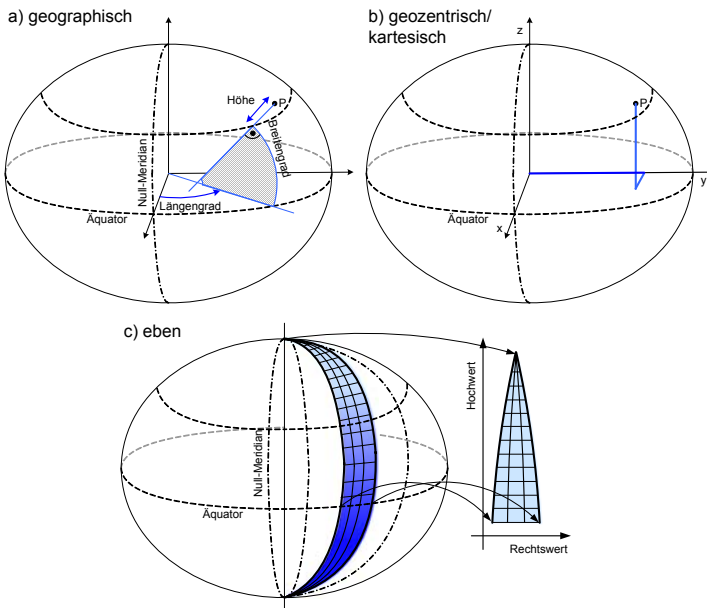


Abb. 8-2
Global gültige
Koordinatensysteme

- Häufig ist nicht eine weltweit eindeutige Position notwendig, sondern man benötigt lediglich eine relative Position zu einem gegebenen Punkt. Beispielsweise reicht für die Navigation in einem Gebäude eine relative Position zu einer Gebäudeecke.
- Neben der Position ist häufig noch die Orientierung im Raum von Interesse. Die Raumrichtung kann durch drei Winkel, genannt *Roll-Nick-Gier-Winkel* (engl.: *Roll-Pitch-Yaw*), spezifiziert werden. Für Navigationszwecke ist jedoch häufig nur der Winkel von Bedeutung, der die Himmelsrichtung angibt. Die Orientierung ist beispielsweise für ein Navigationssystem wichtig, bei dem die Fahrtrichtung in die Navigation einfließt. Für den elektronischen Touristenführer ist es wichtig zu wissen, auf welches Exponat der Benutzer gerade blickt. Leider können die meisten Verfahren zur Positionsbestimmung die Orientierung nicht ermitteln. Elektronische Kompassse können zumindest grob die Richtung in der Ebene berechnen.
- Eine weitere Größe im Zusammenhang mit der Position ist die Geschwindigkeit. Kann die Geschwindigkeit nicht über das Verfahren zur Positionsbestimmung direkt ermittelt werden, können zwei zeitlich versetzte Positionsmessungen herangezogen werden. Bei

Relative Position

*Orientierung,
Raumrichtung
Roll-Nick-Gier-Winkel*

Geschwindigkeit

hinreichend genauer Messung zweier Positionen kann über die zeitliche Differenz die Geschwindigkeit berechnet werden.

- Messfehler* ■ Bei jeder Positionsmessung ist ein bestimmter Messfehler zu beachten. Diese Ungenauigkeit ist teilweise nicht nur von dem eingesetzten Verfahren, sondern auch von den jeweiligen Umgebungsbedingungen abhängig. So können bestimmte Positionsmessungen je nach Tageszeit am gleichen Ort zu unterschiedlichen Werten führen. Benutzer und Anwendungen, die auf Positionsdaten zugreifen, müssen sich der Ungenauigkeit bewusst sein.
- Semantische Position* ■ Oft ist eine Anwendung oder ein Benutzer gar nicht an den Koordinaten, sondern vielmehr an der »Bedeutung« der aktuellen Position interessiert. Beispielsweise ist für die Navigation in einem Gebäude wichtig, in welchem Stockwerk, in welchem Flügel oder Raum man sich befindet, nicht so sehr die exakten x-y-z-Koordinaten. Solch eine Positionsangabe wird auch *semantische Position* genannt. Einige Verfahren zur Positionsbestimmung liefern direkt semantische Positionen. Andere Verfahren müssen semantische Positionen anhand von gespeicherten Informationen, beispielsweise über Karten, berechnen [Roth05a].

Klassifikation von Verfahren zur Positionsbestimmung

Verfahren zur Positionsbestimmung können grob in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Tracking* ■ Vom *Tracking* spricht man, wenn die Position einer Person oder eines Objektes von einem Sensornetzwerk bestimmt wird. Hierzu wird der Benutzer mit einer Marke (engl.: *Tag*) versehen, die vom Netzwerk erkannt wird. Die ermittelte Position liegt damit vorerst nur dem Positionierungssystem vor und muss gegebenenfalls über ein drahtloses Netzwerk an den Benutzer übertragen werden.
- Positioning* ■ Beim *Positioning* ermittelt der mobile Benutzer selbst die Position. Dazu wird ein System von Sendern oder *Baken* (engl.: *Beacons*) benutzt, die Funk-, Infrarot- oder Ultraschallsignale aussenden. Der Vorteil beim Positioning liegt darin, dass die Positionsangabe direkt beim Benutzer anfällt. Während beim Tracking die Positionsdaten potenziell auch für andere Benutzer zugreifbar sind, sind sie beim Positioning relativ gut im mobilen Gerät geschützt. Damit müssen auch keine aufwendigen Sicherungsverfahren eingerichtet werden.

Sowohl beim Tracking als auch beim Positioning kommen diverse Basistechniken zur Positionsbestimmung allein oder häufig auch in Kombination zum Einsatz:

- Cell of Origin (COO)*: Diese Technik wird verwendet, wenn das Positionierungssystem eine Zellenstruktur aufweist. Drahtlose Übertragungstechnologien haben eine begrenzte Reichweite, d.h., ein ausgestrahltes Signal wird nur in einem bestimmten Bereich, der Zelle, aufgefangen. Aus der Identifikation der Zelle lassen sich Rückschlüsse auf die Position ziehen.

Cell of Origin, COO

- Time of Arrival (TOA), Time Difference of Arrival (TDOA)*: Elektromagnetische Signale bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit. Diese Geschwindigkeit ist zwar mit ca. 300.000 km/s sehr hoch, die entsprechende Laufzeit kann aber mittlerweile präzise bestimmt werden. Ermittelt man den Zeitunterschied zwischen Aussenden und Empfangen eines Signals, kann auf die Entfernung zwischen Sender und Empfänger geschlossen werden. Ein ähnliches Prinzip kann mit Ultraschall angewendet werden. Die Signallaufzeiten sind hier wesentlich einfacher zu messen, allerdings breitet sich Ultraschall nur über geringe Distanzen aus. Im Zusammenhang mit GSM-Netzwerken wird häufig statt TDOA der Begriff *Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)* verwendet.

Time of Arrival, TOA
Time Difference of Arrival, TDOA
E-OTD

- Angle of Arrival (AOA)*: Benutzt man Antennen mit Richtungscharakteristik, so kann ermittelt werden, aus welcher Richtung ein bestimmtes Signal eintrifft. Da es zu aufwendig ist, eine Antenne zur Messung laufend zu drehen, sind Empfänger üblicherweise mit einem ganzen Satz von Antennen ausgestattet, die in alle Richtungen mit einem bestimmten Winkelabstand ausgerichtet sind.

Angle of Arrival, AOA

- Messung der Signalstärke*: Aus der Signalstärke am Empfangsort kann auf den Abstand zum Sender geschlossen werden. Allerdings ist diese Methode sehr ungenau, da neben dem Abstand auch andere Einflüsse, z.B. Hindernisse, das Signal abschwächen.

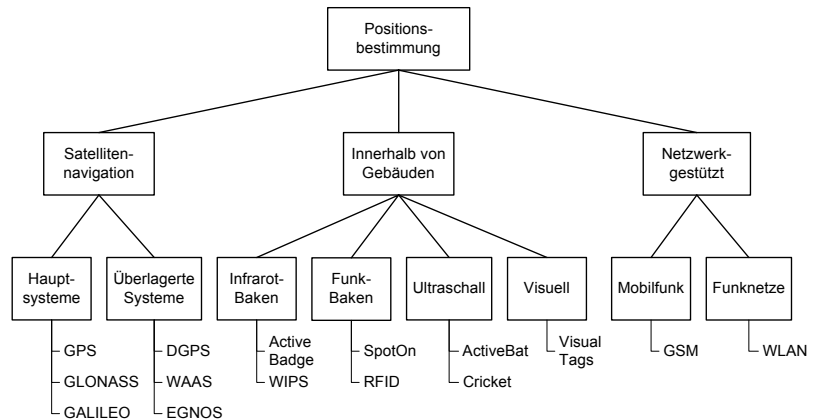
Signalstärke

- Auswertung von Video-Daten*: Über Video-Bilder kann man die Position von Personen berechnen. Dazu benötigt man mehrere Aufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln. Häufig müssen dazu optisch markante Marken getragen werden. Genau genommen handelt es sich bei diesem Verfahren um Angle of Arrival, allerdings basiert die Analyse von Video-Daten auf völlig anderen, teilweise sehr aufwendigen Verfahren.

Abb. 8–3 zeigt einen Überblick über Systeme zur Positionsbestimmung.

Abb. 8-3

Klassifikation der Systeme
zur Positionsbestimmung



Klassifikation der Systeme

In den folgenden Abschnitten werden diese Systeme beschrieben. Zur Strukturierung wurde eine Einteilung in *Satellitennavigation*, *Positionsbestimmung innerhalb von Gebäuden* sowie in *netzwerkgestützte Positionsbestimmung* vorgenommen.

Übungsaufgabe 8.1

Ein Fahrzeug möchte seine Geschwindigkeit ermitteln. Das eingesetzte Verfahren zur Positionsbestimmung erlaubt keine direkte Geschwindigkeitsmessung. Daher werden zwei Positionsmessungen im Abstand von 3 s durchgeführt.

1. Berechnen Sie die aktuelle Geschwindigkeit, wenn zwei Positionen $p_1 = (0 \text{ m}, 0 \text{ m})$, $p_2 = (106 \text{ m}, 106 \text{ m})$ gemessen wurden. Hierbei werden die Positionen in einem kartesischen Koordinatensystem angegeben, dessen 0-Punkt der ersten gemessenen Position entspricht. Die Höhe wird hierbei nicht berücksichtigt.
2. Das eingesetzte Verfahren hat eine Genauigkeit von 30 m. Geben Sie das Intervall der möglichen Geschwindigkeiten an, die zu der oben genannten Messung führen können.
3. Durch welchen Umstand könnte trotz einer hohen Ungenauigkeit dennoch eine relativ genaue Geschwindigkeitsmessung möglich sein?

8.3 Satellitennavigation

8.3.1 Grundlagen der Satellitennavigation

Die Idee, Satelliten zur Positionsbestimmung einzusetzen, geht bis in die 60er Jahre zurück. Die Satellitennavigation vereint die folgenden Vorteile:

*Eigenschaften der
Satellitennavigation*

- Die Positionsbestimmung kann überall auf der Erde erfolgen.
- Umweltbedingungen wie z.B. das Wetter haben nur geringen Einfluss auf die Positionsbestimmung.
- Es wird eine hohe Genauigkeit erzielt.

Vorteile

Diese Vorteile machen die Satellitennavigation unter anderem für das Militär interessant. Aber auch für zivile Zwecke ist eine Vielzahl von Anwendungen denkbar. Allerdings bringt die Satellitennavigation auch Nachteile mit sich:

*Nachteile der
Satellitennavigation*

- Es entstehen erhebliche Kosten zur Installation und Überwachung der Satelliten.
- Die Positionsbestimmung funktioniert nur, wenn die Signale von hinreichend vielen Satelliten empfangen werden. Insbesondere im Inneren von Gebäuden ist keine Positionsbestimmung möglich.

Das prominenteste Beispiel für ein Satellitennavigationssystem ist *GPS (Global Positioning System)*. Bevor wir uns mit GPS im Detail befassen, sollen in diesem Abschnitt zuerst die allgemeinen Grundlagen der Satellitennavigation dargestellt werden.

Ein Benutzer, der die Position mit Hilfe der Satelliten bestimmen möchte, benötigt die exakte Position der Satelliten sowie die exakte Entfernung zu den Satelliten. Abb. 8–4a zeigt das Prinzip der Positionsbestimmung.

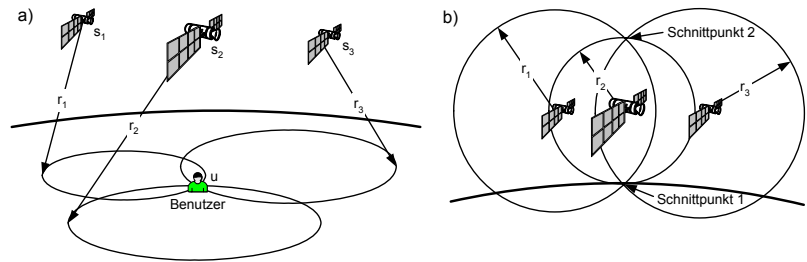
Hat der Benutzer die Position eines Satelliten (s_i) sowie die Entfernung zum Satelliten (r_i) ermittelt, ist die Position u des Benutzers auf eine Kugeloberfläche genau festgelegt. Liegt zusätzlich noch die Information eines zweiten Satelliten vor, so kann die Position nur noch auf der Schnittmenge zweier Kugeloberflächen liegen (üblicherweise ist dies ein Kreis). Damit der Benutzer zweifelsfrei die Position u bestimmen kann, ist noch die Kenntnis eines dritten Satelliten notwendig. Erst der Schnitt dreier Kugeloberflächen führt zur genauen Position. Abb. 8–4a zeigt aus Gründen der Übersicht nicht die Kugeloberflächen, sondern nur deren Schnitte mit der Erdoberfläche.

*Positionsbestimmung mit
drei Satelliten*

Genau genommen führt der Schnitt von drei Kugeloberflächen üblicherweise zu zwei Schnittpunkten (Abb. 8–4b). Der zweite Schnitt-

punkt liegt jedoch weit im Weltraum, kommt somit als Position für einen Benutzer innerhalb der Erdatmosphäre nicht in Frage.

Abb. 8-4
Prinzip der
Positionsbestimmung
mit Satelliten



Position der Satelliten

Bisher wurde unterstellt, dass die Positionen s_i der Satelliten sowie die Entfernungen r_i vom Benutzer ermittelt werden können. Da sich die Satelliten auf festen Bahnen um die Erde bewegen, ist deren Position einfach zu bestimmen. Hierzu verfügen Navigationssysteme über die Verzeichnisse aller Satelliten, die ständig aktualisiert werden. Die Verzeichnisse werden auch über stillgelegte sowie neu eingerichtete Satelliten und deren Bahndaten informiert.

Entfernungsmessung zum Satelliten

Die Bestimmung der Entfernungen ist dagegen etwas aufwendiger. Ein Satellitennavigationssystem verwendet folgendes Verfahren:

- Jeder Satellit sendet ein Signal, das den Zeitpunkt des Aussendens exakt kodiert.
- Ein Empfänger vergleicht diesen Zeitpunkt mit der internen Uhr. Aus dem Laufzeitunterschied Δt kann anhand der Formel $r = c \cdot \Delta t$ die Entfernung ermittelt werden. Dabei bezeichnet c die Lichtgeschwindigkeit (ca. 300.000 km/s).

Exakte Zeitmessung

Die Zeitmessung ist bei diesem Verfahren der kritische Punkt. Da die Lichtgeschwindigkeit sehr hoch ist, muss die Zeitmessung sehr exakt erfolgen. So führt ein Fehler von nur 1 μs beispielsweise zu einem Unterschied von 300 m in der Positionsberechnung. Jeder Satellit ist daher mit einer Atomuhr ausgestattet, die eine sehr exakte Zeitbestimmung erlaubt. Die exakte Uhrzeit des ganzen Navigationssystems wird mit *Systemzeit* bezeichnet.

Ein mobiles Gerät zur Positionsbestimmung kann aus Kosten- und Platzgründen nicht mit einer Atomuhr ausgestattet werden. Jedes Gerät verfügt zwar über eine interne Uhr, ohne eine Synchronisation mit der Systemzeit ist die notwendige Genauigkeit jedoch nicht zu erreichen. Eine Synchronisation direkt mit den Uhren der Satelliten ist leider nicht möglich, da die Übertragung der Zeitinformation auch »nur« mit Lichtgeschwindigkeit übertragen werden kann.