

---

# Positionsinformation und Navigationsaufgaben

Christian KRAY, Jörg BAUS und Antonio KRÜGER

## Zusammenfassung

Positionsinformation ist im Kontext von Navigationsaufgaben von zentraler Bedeutung. In diesem Papier gehen wir daher der Frage nach, wie Positionsinformation im Rahmen von mobiler Navigationsunterstützung gehandhabt werden sollte. Dazu geben wir zunächst einen Überblick über zurzeit verfügbare Geräte zur Messung von Positionsinformation und über fundamentale Aufgaben im Kontext von Navigationsassistenten. Danach stellen wir verschiedene Strategien für den Umgang mit Positionsinformation veränderlicher Präzision und Verfügbarkeit vor. Diese Strategien schließen wissensbasiertes Schließen und Benutzerinteraktion mit ein, um entweder die Messdaten zu verbessern oder deren Fehlen zu kompensieren. Außerdem untersuchen wir, wie Navigationsaufgaben an Positionsinformation unterschiedlicher Qualität angepasst werden können. Zum Abschluss betrachten wir verwandte Arbeiten und zeigen auf, welche Verbesserungen mit den zuvor vorgestellten Methoden erzielt werden.

## 1 Einleitung

Ein wesentlicher Vorteil (mobiler) intelligenter Systeme ist die Berücksichtigung kontextueller Faktoren. Besonders die Verwendung von Positionsinformation erlaubt es, die Benutzerin bei Navigationsaufgaben zu unterstützen und sie mit auf sie angepasster Information über ihre unmittelbare Umgebung zu versorgen. Leider unterliegen viele der zurzeit verfügbaren Sensoren zur Messung positionsbezogener Faktoren Fehlern, Ausfällen, Verfälschungen und besitzen damit eine geringe Zuverlässigkeit. Dieser Umstand findet in aktuellen Navigationssystemen aber wenig Berücksichtigung, obwohl er im schlimmsten Fall zu Fehlinformation oder der Nichtverfügbarkeit einzelner Dienste führen kann. Um dieses Problem anzugehen, schlagen wir vor, Positionsinformation nicht nur aufgrund von Sensordaten zu bestimmen sondern auch unter Verwendung verschiedener Strategien. Diese Strategien berücksichtigen unterschiedliche Wissensquellen (z. B. ein Benutzermodell) um Mess- und Sensorprobleme zu überwinden. Außerdem untersuchen wir, wie fehlende Positionsinformation durch Veränderungen an den Inhalten der Systemausgabe kompensiert werden kann. Wir zeigen auf, dass die erforderliche Genauigkeit von Positionsinformation von der jeweiligen Navigationsaufgabe und den Bedürfnissen der Nutzerin abhängt.

Im folgenden Kapitel geben wir einen Überblick über verschiedene Arten von Sensoren zur Messung von Positionsinformation. In Kapitel 3, untersuchen wir, welche Aufgaben im Navigationskontext von Bedeutung sind, und welche Anforderungen diese Aufgaben jeweils an die Informationsqualität stellen. Anschließend stellen wir in Kapitel 4 drei Strategien zum Umgang mit unvollständiger, ungenauer und fehlender Positionsinformation vor, bevor wir die vorgestellten Ansätze in Bezug zu verwandten Arbeiten setzen. Eine kurze Zusammenfassung schließt den Artikel ab.

## 2 Sensoren zur Messung von Positionsinformation

Wir verstehen unter Positionsinformation nicht nur den absoluten bzw. relativen *Aufenthaltort* der Benutzerin, sondern fassen unter diesem Begriff auch ihre *Blickrichtung* sowie ihre *Körperorientierung* zusammen. Weitere relevante Positionsparameter sind die *Geschwindigkeit* und *Beschleunigung* der Nutzerin. Für jeden dieser Parameter nehmen wir an, dass ein *Sensor* existiert, der einen kontinuierlichen Datenstrom produziert. Eine wichtige Beobachtung in diesem Zusammenhang ist jedoch, dass momentan verfügbare Geräte keineswegs unter allen Bedingungen perfekte Messungen für alle oben genannten Faktoren liefert. Anwendungen mit einem breiteren Einsatzgebiet, wie z.B. elektronische Touristenführer, müssen daher auf mehrere Sensoren zurückgreifen, um an umfassende Positionsinformation zu gelangen.

Für die Bestimmung des aktuellen Aufenthaltsortes existieren verschiedene Ansätze. Am weitesten verbreitet ist dabei das *Global Positioning System* (GPS), welches auf der Auswertung der Laufzeiten mehrerer Satellitensignale beruht. Die Genauigkeit der jeweiligen Messung hängt von der Anzahl der gleichzeitig empfangbaren Satelliten ab. Da das System also die entsprechenden Satellitensignale empfangen muss, funktioniert das GPS im Allgemeinen nicht innerhalb von Gebäuden und kann auch schon bei schlechtem Wetter oder in dichter Vegetation Probleme bereiten. Ein ähnlicher Ansatz verwendet die Zellen des Mobilfunknetzwerkes, was den Vorteil hat, dass auch im Inneren vieler Gebäude eine Bestimmung des Aufenthaltsortes möglich ist. Leider ist die Genauigkeit dabei direkt von der Zellengröße abhängig, die je nach Netzdichte zwischen einigen hundert Metern und mehreren Kilometern liegen kann. Funkbasierte Technologien wie *WaveLAN* oder *Bluetooth* verfügen über wesentlich kleinere Zellengrößen und damit über eine wesentlich höhere Genauigkeit, aber die entsprechende Infrastruktur ist noch nicht vorhanden und die bisherigen Ansätze sind nur in der Lage die Position des Benutzers festzustellen, nicht aber seine Orientierung

Andere Sensoren zur Verfolgung des Aufenthaltsortes des Benutzers beruhen auf *Infrarot-Transmittern* (vgl. Hartner & Hoppner 1994, Want, Schilit, Adams, Gold, Peterson, Ellis & Weiser 1995, Butz, Baus, Krüger & Lohse 2001). Da Infrarotlicht keine Wände durchdringen kann, kann mit dieser Technik sehr gut zwischen verschiedenen Räumen bzw. Raumteilen unterschieden werden. Die entsprechende Zellengröße kann dabei zwischen einigen wenigen bis zu mehreren Metern liegen. Eine Erhöhung der Präzision ist beispielsweise durch die Kombination von Ultraschall und Funktechniken zu erreichen. Dabei wird das Funksignal nicht nur zur Synchronisation der Zeitmessungen sondern auch zur Bestimmung des Zeitrahmens genutzt, in dem Ultraschallsignale Gültigkeit besitzen. Die größte Fehlerquelle bei schallbasierten Messverfahren sind Signalreflexionen an Wänden und Gegenständen. Die Laufwege der Signale werden dadurch verlängert und die Messergebnisse verfälscht. Ein anderer Ansatz zur direkten Ortsbestimmung besteht in der Ortung elektromagnetischer Tags oder Transponder, womit sich z.B. recht einfach bestimmen lässt, wann eine Person einen bestimmten Raum betritt. Voraussetzung dazu ist natürlich die flächendeckende Ausstattung von Personen und Objekten mit den entsprechenden Tags sowie die Installation der zugehörigen Erkennungskomponenten. *Elektromagnetische Geräte* werden oft dazu verwandt, um die Blickrichtung bzw. Körperausrichtung zu bestimmen (z.B. durch einen elektronischen Kompass). Eine Schwachstelle dieser Sensoren besteht in ihrer Beeinflussung durch metallische Objekte in ihrer Nähe. Manche Ansätze benutzen daher Infrarot um sowohl Position als auch

Orientierung auf verschiedenen Granularitätsebenen zu bestimmen (Butz, Baus, Krüger & Lohse 2001). Die Blickrichtung kann auch indirekt bestimmt werden, beispielsweise durch ein *Accelerometer*, das Änderungen der Beschleunigung der Benutzerin misst. Dieser Ansatz wird oft in Verbindung mit anderen Techniken verwandt, um die Gesamtqualität der Messergebnisse zu verbessern. Accelerometer bieten sich auch zur Positionsbestimmung durch *Dead Reckoning* an, eine Methode, bei der die aktuelle Position mittels Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung extrapoliert wird.

Zum besseren Umgang mit unvollständiger, ungenauer und fehlender Messungen der Sensoren erwarten wir, dass jeder Sensor neben Positionsinformation wie Koordinaten oder Richtungen auch ein *Fehlermaß* liefert. Dieses besteht in einer Region, die den aktuellen Messwert räumlich begrenzt, bzw. einem Fehlerintervall um ihn herum. Je kleiner die Region bzw. das Intervall, desto genauer ist die Messung. Die entsprechenden Regionen lassen sich in den meisten Fällen mathematisch als Rechtecke, Ellipsen, Kegel, Polygone oder einer Komposition dieser beschreiben – je nach Eigenschaften und Funktionsprinzip des verwendeten Sensors. (Im Allgemeinen ist die Betrachtung des zweidimensionalen Falls ausreichend, eine Übertragung auf drei Dimensionen aber leicht möglich.) Abb. 1a stellt die ellipsoide bzw. kreisförmige Fehlerregion dar, die sich typischerweise aus den Messwerten eines GPS-Empfängers ergibt und die mögliche Aufenthaltsorte um die vom System gemessene Koordinaten ausdrückt. Eine Infrarotbasierte Ortsbestimmung würde in derselben Situation in einer dreiviertelkreisförmigen Fehlerregion um den Sender (Abb. 1b) resultieren, weil Wände Infrarotlicht abschirmen. Ein fokussierter Infrarotsender würde einen Kegel wie in Abb. 1c dargestellt produzieren. Der Fehler eines Richtungssensors wiederum wird durch eine (unendlich lange) kegelförmige Region repräsentiert (Abb. 1d).

### 3 Navigation und Positionsinformation

Welche Qualität die benötigte Positionsinformation haben muss, hängt wesentlich von den Eigenschaften der zu lösenden Aufgabe ab. Im Kontext von Navigation unterscheiden wir drei verschiedene fundamentale Aufgaben: *(Selbst-)Lokalisierung*, *Wegbeschreibungen* und *Objektidentifikation*. Die *(Selbst-)Lokalisierung* ist dabei nicht nur eine wichtige Aufgabe an sich, da sie der Benutzerin gestattet sich (oder andere Objekte) in ihrer aktuellen Umgebung zu lokalisieren, sondern sie ist auch eine Voraussetzung für sinnvolle und verständliche Weginstruktionen. Dabei muss ein Navigationssystem den aktuellen Aufenthaltsort nicht auf den Zentimeter oder Meter genau kennen. Für Weginstruktionen kann es beispielsweise völlig ausreichen, zu wissen, dass sich die Benutzerin irgendwo auf einem Straßenstück zwischen zwei Kreuzungen aufhält. In diesem Fall entspricht die erforderliche Präzision der Dichte der Straßenkreuzungen, so dass sogar Ungenauigkeiten in der Größenordnung von Hunderten von Metern zur Lokalisierung ausreichen. Wegbeschreibungen erfordern häufig aber auch die Lokalisierung von Fremdobjekten, um z.B. an Entscheidungspunkten die richtige Wahl zu treffen. *Inkrementelle* Wegbeschreibungen werden während der Routenverfolgung generiert, indem jeweils das Teilstück zum nächsten Entscheidungspunkt beschrieben wird, wie dies beispielsweise ein Beifahrer tut. *Vollständige* Wegbeschreibungen hingegen erläutern die gesamte Route von einem Start- zu einem Zielpunkt (z.B. Anfahrtsbeschreibungen). Beide Arten der Wegbeschreibung erfordern die Identifikation prominenter Objekte (so genannter Landmarken). Das (Wieder-)Erkennen dieser Objekte erhöht die Konfidenz der Benutzerin in ihre aktuelle Position und unterstützt sie bei der Identifikation von

Entscheidungspunkten. Wenn die Aufmerksamkeit der Benutzerin explizit auf ein solches Objekt gelenkt werden soll, ist es vorteilhaft, wenn das System neben der Ortsinformation auch über Information zur Orientierung und Blickrichtung der Nutzerin verfügt. Die erforderliche Qualität von Positionsinformation wird aber nicht nur durch die zu erfüllende Aufgabe bestimmt, sondern auch durch das verwendete *Ausgabemedium*. Im Folgenden stellen wir nun mehrere Strategien vor, die diesen Zusammenhängen Rechnung tragen.

## 4 Strategien zum Umgang mit Positionsinformation

Die im Anschluss präsentierten Strategien lassen sich in drei Kategorien unterteilen: *Inferenzstrategien*, die aus vorhandenen Wissensquellen Positionsinformation herleiten, *Interaktionsstrategien*, die die Benutzerin zur Informationsgewinnung heranziehen, und *Kompensationsstrategien*, die dazu dienen, die Benutzerin im Falle schlechterer Informationsqualität trotzdem noch unterstützen zu können.

### 4.1 Inferenz

Falls Positionsinformation nicht oder nur in unzureichender Qualität verfügbar ist, ist es oft möglich andere Informationsquellen neben der direkten Messung heranzuziehen. Wird beispielsweise Positionsinformation wie Aufenthaltsort, Orientierung und Geschwindigkeit in regelmäßigen Intervallen aufgezeichnet (in einer Positionshistorie), können zu einem späteren (aber zeitlich nahen) Zeitpunkt fehlende Informationen recht einfach aus den gespeicherten Daten extrapoliert werden. Diese Technik wird häufig als *Dead Reckoning* bezeichnet (siehe Abb. 2). Mithilfe des verwendeten Weltmodells - das z. B. in Form von Vektoren eines Geoinformationssystems (GIS) vorliegen kann - können Einschränkungen abgeleitet werden, die bei der Elimination von falschen Extrapolationen helfen. Wenn nämlich eine extrapolierte Position innerhalb einer nicht passierbaren bzw. unerreichbaren Region liegt, oder wenn ein solches Gebiet zu ihrer rechtzeitigen Erreichung zu durchqueren wäre, dann muss diese entweder verworfen werden oder unter Zuhilfenahme dieser Einschränkungen angepasst werden. Diese Begriffe beinhalten nicht nur reale Hindernisse wie Flüsse sondern auch Regionen, die die Benutzerin nicht ohne weiteres durchqueren kann wie z.B. private Gärten, Autobahnen oder einen umzäunten Park, der zwar nahe an der letzten bekannten Position liegt, aber dessen Eingänge so weit entfernt von dieser liegen, dass sie unmöglich in der seither verstrichenen Zeit erreicht worden sein können.

Ein erster Ansatz zur Anpassung der extrapolierten Positionen gemäß dieser Constraints besteht darin, unmögliche Positionen auf nahe gelegene mögliche abzubilden, in dem man die extrapolierte Trajektorie um unerreichbare/unmögliche Gebiete herum 'biegt' (siehe Abb. 3). Dieser Prozess kann durch die Berücksichtigung zusätzlicher Faktoren weiter verfeinert werden. Zunächst kann das Ziel der Benutzerin - falls es bekannt ist - zur Auflösung von Mehrdeutigkeiten herangezogen werden. Ein einfaches Beispiel dafür wäre der Fall eines großen Hindernisses auf der extrapolierten Trajektorie der Benutzerin: liegt ihr Ziel eher rechts davon, ist es wahrscheinlicher, dass sie das Hindernis rechts umgeht. Dies eine vereinfachte Betrachtungsweise: genau genommen muss der vorausberechnete bzw. erwartete Weg zum Ziel berücksichtigt werden, und daher die Wahrscheinlichkeit der Variante erhöht werden, die näher daran liegt.

Verfügt das System über ein Benutzermodell, das auch Information über die Ortskenntnisse der Benutzerin enthält, so kann damit die Wahrscheinlichkeit für eine Abweichung vom 'rechten' Weg genauer abgeschätzt werden. Wissen über Intentionen und Interessen der Benutzerin kann ebenfalls zur Verbesserung der Vorhersage verwendet werden, indem die Wahrscheinlichkeit für die Ablenkung durch nahegelegene und für die Benutzerin potenziell interessante Objekte bestimmt wird. So wird beispielsweise eine Person, die sich beeilt, um einen Zug zu erreichen, höchst unwahrscheinlich bewusst vom schnellsten Weg zu Bahnhof abweichen, um ein interessantes Gebäude in der Nähe zu betrachten. Bei einer Touristin ist dies jedoch deutlich wahrscheinlicher. Sind im Benutzermodell auch persönliche Informationen über die Benutzerin abgelegt (wie z.B., ob sie Rollstuhlfahrerin ist), so kann damit die Menge der potentiellen Positionen weiter eingeschränkt werden.

Eine weitere Wissensquelle, die zur Verfeinerung der Ergebnisse aus dem Dead Reckoning-Prozess herangezogen werden kann, ist das Kontextmodell. Kontextuelle Faktoren wie z.B. das aktuelle Fortbewegungsmittel beeinflussen nicht nur grundlegende Parameter wie die erreichbare Höchstgeschwindigkeit, sondern haben auch Rückwirkungen auf die Passierbarkeit und Erreichbarkeit von Regionen. Auch das aktuelle Wetter kann eine Rolle spielen: die Aufenthaltswahrscheinlichkeit an überdachten Orten wird sich für Fußgänger bei Regen erhöhen. Falls die Positionsbestimmung im Rahmen eines interaktiven Systems erfolgt, gibt es zusätzliche Wissensquellen, die als Ausgangspunkt für Inferenzen dienen können. Abgesehen von der Möglichkeit der direkten Interaktion mit der Benutzerin (siehe dazu auch den folgenden Abschnitt), kann z.B. die Dialoghistorie herangezogen werden. Falls dort vorher übermittelte Weginstruktionen gespeichert sind, so können diese (kombiniert mit Wissen über ihre Ortskenntnis) zur Einengung beitragen. Mit der Zunahme des zeitlichen Abstandes steigt jedoch die Anzahl der möglichen Positionen rapide an (vgl. Abb 2). Damit wächst auch die Wahrscheinlichkeit, dass Interaktion mit der Benutzerin nötig wird, um die abgeleitete Position zu bestätigen oder fehlende Information zu erfragen.

## 4.2 Interaktion

Wenn es unmöglich ist, die augenblickliche Position der Benutzerin durch direkte Messungen und/oder Inferenz zu bestimmen, dann besteht eine weitere Möglichkeit in der direkten Interaktion mit der Nutzerin, beispielsweise durch einen sprachlichen Dialog. Da aber Positionsinformation sehr vielen navigationsbezogenen Aufgaben wie Lokalisierung, Weginstruktionen oder Objektidentifikation zugrunde liegt, ist es von großer Bedeutung, Rückfragen auf ein Minimum zu beschränken. Im anderen Fall könnte jede einfache Anfrage der Benutzerin einen ausgedehnten Dialog zur Positionsbestimmung nach sich ziehen. Das würde zu einem sehr verwirrenden Verhalten des Systems führen, da jede Anfrage der Benutzerin mit einer Reihe von Fragen zu ihrer aktuellen Position 'beantwortet' würde. Folglich muss das System nicht nur sorgfältig abwägen, ob es überhaupt Rückfragen stellt, sondern auch bei der Auswahl der zu stellenden Fragen große Sorgfalt walten lassen. Dabei muss die Menge der möglichen Antworten so reduziert werden, dass das System diese verstehen kann, und auch eine maximale Verkleinerung der Menge möglicher Positionen erreicht werden. Darüber hinaus muss ein geeignetes Medium für die Übermittlung der Frage zur Benutzerin gewählt werden. Dieser gesamte Auswahlprozess hängt nicht nur von der verfügbaren Präsentationshardware (z.B. Bildschirm, Mikrofon, Lautsprecher, Zeigegerät) ab, sondern auch von den Vorlieben der Benutzerin, dem situativen Kontext sowie der allgemeinen Ressourcenlage auf Nutzer- und Systemseite. Basierend auf diesen allgemeinen Überlegungen können drei Fälle unterschieden werden, in denen eine Interaktion mit der Benutzerin Sinn macht: um Inferenzergebnisse mit geringen

Konfidenzwerten zu bestätigen (*Konfirmation*), um Ambiguitäten aufzulösen (*Disambiguierung*) und um dem Fehlen von Positionsinformation zu begegnen (*Exploration*). Der erste Fall tritt auf, wenn zwar eine einzige Position am wahrscheinlichsten ist, aber das Vertrauen des Systems in ihre Korrektheit gering ist. Im zweiten Fall sind nach dem Mess- und Inferenz-Prozess noch einige wenige gleich wahrscheinliche Positionen übrig, aus denen das System von sich aus nicht sicher auswählen kann. Der dritte und schwierigste Fall tritt auf, wenn das System nicht über genug Information verfügt, um die Position der Benutzerin auch nur grob zu bestimmen.

Um eine Position mit geringem Konfidenzwert zu bestätigen, kann die Benutzerin im einfachsten Fall direkt gefragt werden, ob sie sich an der vermuteten Position befindet (siehe Abb. 4). Das kann entweder durch eine Kartendarstellung (z.B. durch eine Karte der näheren Umgebung, in der die Position hervorgehoben ist) erreicht werden, durch eine verbale Frage ("Befinden Sie sich bei X?"), oder durch eine Kombination beider Möglichkeiten. In diesem Kontext gibt es drei mögliche und sinnvolle Antworten: "ja", "nein" und "Ich weiß nicht". Im ersten Fall ist die Position bestätigt und damit keine weitere Interaktion nötig. Lehnt die Benutzerin den Vorschlag ab, kann das System davon ausgehen, dass es nicht über die nötigen Informationen zur Positionsbestimmung verfügt. Dies trifft auch zu, falls die Benutzerin die Frage nicht beantworten kann. Beides impliziert jedoch, dass das System von Neuem beginnen sollte (*Exploration*).

Falls das Ergebnis des Mess- und Inferenz-Prozesse aus einer kleinen Menge gleich wahrscheinlicher Positionen besteht, muss das System zwischen ihnen disambiguieren. Hier wird die Bedeutung des Kommunikationsmediums offensichtlich. Wird eine Karte verwendet, auf der z.B. die Alternativen mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet sind, kann die Benutzerin schnell einen Überblick gewinnen und antworten. Ist sie sich nicht sicher, kann das System versuchen, auf sprachlichem Weg zu disambiguieren. (Dies kann natürlich auch gleich zu Beginn erfolgen, etwa, wenn kein Bildschirm verfügbar ist.) Aufgrund der sequentiellen Natur der Sprache kann es jedoch nötig sein, eine ganze Reihe von Fragen zu stellen (maximal  $n-1$  Fragen bei  $n$  Kandidaten), was deutlich aufwendiger und zeitintensiver ist, als im Falle einer Karte. Das Hauptziel bei der Generierung der Fragen ist dabei, Constraints zu finden, die auf ungefähr die Hälfte aller verbleibender Alternativen zutrifft, so dass in jedem Dialogschritt möglichst viele Kandidaten eliminiert werden. So kann beispielsweise eine Landmarke, die nur von einem Teil der Positionen sichtbar ist, als Unterscheidungskriterium dienen ("Können Sie X sehen?"). Auch Straßennamen eignen sich gut, da sie häufig über Straßenschilder in der Umgebung präsent sind ("Sind Sie in Straße X?"), denn bei diesen Fragen ist der Antwortbereich auf Bejahung, Verneinung und Unwissenheit beschränkt und damit dem System verständlich. Ist die Benutzerin unsicher, sollte das System von Neuem beginnen (*Exploration*), um wie im Falle der Konfirmation Falschpositionierungen zu vermeiden.

Es ist auch möglich, dass gleich zu Beginn die *Exploration* erforderlich ist, dann nämlich, wenn benötigte Information überhaupt nicht verfügbar ist. Dieser Fall kann beispielsweise eintreten, wenn ein Sensor ausfällt oder keine Messwerte liefert. Trotzdem kann die Benutzerposition in vielen Fällen noch bestimmt werden, aber der Umfang der Interaktion nimmt deutlich zu und ist abhängig vom verwendeten Kommunikationsmedium. Falls der Benutzerin eine Karte präsentiert werden kann, die es ihr ermöglicht ihre Position anzugeben, ist nur wenig Interaktion nötig. In vielen Fällen (z.B. bei einer Touristin, die eine fremde Stadt besichtigt) wird die Benutzerin aber nicht über ausreichende Ortskenntnis verfügen oder eine entsprechende Karte kann nicht generiert werden – etwa auf Grund von

Beschränkungen der Ausgabemedien, wie z.B. zu geringer Bildschirmauflösung. In diesem Fall ist die verbale Kommunikation in gesprochener oder textueller Form zu bevorzugen. Besonders im Kontext von sehr geringer Informationsverfügbarkeit ist es von großer Bedeutung, den Bereich der möglichen Antworten auf Systemfragen einzuschränken. Im urbanem Umfeld fällt das Fragen nach dem Namen der Straßen, in der die Benutzerin sich aktuell aufhält, in diese Kategorie: die zulässige Antwortmenge besteht aus allen Straßennamen und "Ich weiß nicht". Darüber hinaus sind in vielen Städten fast an allen Kreuzungspunkten Straßenschilder angebracht, und damit die Benutzerin in der Lage, die erfragte Information zu liefern. Konnte die Straße bestimmt werden, in der sich die Benutzerin gerade befindet festgestellt werden, so besteht die noch zu lösende Aufgabe aus einer Disambiguierung zwischen allen Positionen auf dieser Straße.

Eine alternative Explorationsstrategie besteht darin, von der letzten bekannten Position auszugehen und Landmarken zu identifizieren, die die Benutzerin seither hätte erreicht oder passiert haben können. Durch eine Reihe von Fragen der Art "Sind Sie an X vorbeigekommen?" kann die Zahl der möglichen Positionen schnell reduziert werden und zu einer Disambiguierung der verbleibenden Alternativen übergegangen werden. So kann auch verfahren werden, wenn man vom Wissen über das aktuelle Ziel der Benutzerin bzw. über ihre (evtl. vom System zuvor vorgeschlagene) Route ausgeht. Trotzdem ist es möglich, dass das System die Position nicht bestimmen kann, z.B. wenn die letzte bekannte Position zu weit zurückliegt. Im Kontext von Navigationsunterstützung bedeutet dies aber nicht zwangsläufig, dass die Benutzerin dann keine Unterstützung erfahren kann. In einigen Fällen ist es nämlich möglich, fehlende Information zu kompensieren.

### 4.3 Kompensation

Während häufig mit Hilfe der zuvor beschriebenen Techniken die Qualität und Verfügbarkeit von Positionsinformation verbessert werden kann, sind jedoch viele Fälle vorstellbar, in denen dies nicht machbar ist. So sind Situationen denkbar, in denen keine Interaktion möglich ist, Sensoren ausfallen, etc.. Im Folgenden analysieren wir typische Aufgaben im Kontext von Navigationunterstützung und stellen verschiedene Ansätze vor, wie sich diese anpassen lassen, um schlechte oder fehlende Positionsinformation zu *kompensieren*. Im Allgemeinen können vier verschiedene Qualitätsstufen für jeden relevanten Positionsparameter (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ort, etc.) unterschieden werden: Die Information kann entweder ausreichend präzise zur Lösung der aktuellen Aufgabe sein oder nicht, sie kann (teilweise) fehlen, oder schlimmstenfalls falsch sein. Ist sie präzise, ist keine Kompensation nötig. Falsche Information verlangt nach Konsistenzprüfung und Fehlererkennung, die außerhalb des Rahmens dieses Artikels liegen. Die beiden anderen Fälle unpräziser bzw. fehlender Information jedoch bieten sich für den Einsatz von Kompensationsstrategien an. Während mangelnder Präzision am besten durch individuelle Strategien für die einzelnen fundamentalen Aufgaben im Navigationskontext begegnet wird, können für den Fall (teilweise) fehlender Positionsinformation einige allgemeine Strategien formuliert werden.

Beim Fehlen jeglicher Positionsinformation kann das System versuchen, auf die Fähigkeit der Benutzerin, sich selbst zu lokalisieren, zurückzugreifen, indem es ihr die nötige Kontextinformation liefert (vgl. Lynch 1960). Dies kann etwa durch die Darstellung einer hinreichend großen Karte, z.B. eines ganzen Stadtviertels, erreicht werden, in der alle potenziell bekannten Objekte sowie solche, die mit der aktuellen Aufgabe im Zusammenhang stehen, hervorgehoben werden. Eine andere Alternative besteht in verbalen

Beschreibungen, die auf topologischen oder distanzabhängigen Relationen (siehe Cohn 1996) beruhen, aber sich auf eine höhere Abstraktionsebene ("Sie befinden sich im Nauwieser Viertel.") beziehen, z.B. auf den geographischen Raum (vgl. Montello 1993). Eine weitere Herangehensweise an das Fehlen von Positionsinformation ergibt sich aus der Verwendung von *induzierten Referenzsystemen*. Im Gegensatz zu allozentrischen oder egozentrischen Referenzsystemen (vgl. Maass, Baus, Paul 1995), werden induzierte Referenzsysteme nicht direkt etabliert, sondern verlangen von der Benutzerin zunächst eine (mentale) Reorientierung bzw. Relokation. Dies kann durch explizite oder implizite Instruktionen realisiert werden ("Wenn Sie vor der Kirche stehen und ihr den Rücken zuwenden, ist die Bibliothek links von Ihnen."). Durch die vorhergehende Relokation bzw. Reorientierung sind induzierte Referenzsysteme sehr gut geeignet, um das Fehlen von Positionsinformation zu kompensieren, da die Benutzerin prinzipiell an jedem Ort positioniert werden kann. Dasselbe trifft zu, falls nur ein Teil der Positionsinformation fehlt. Wenn z.B. die momentane Blickrichtung unbekannt ist, aber der Aufenthaltsort bestimmbar ist, kann der Blick der Benutzerin über ein induziertes Referenzsystem in eine Richtung gelenkt werden ("Wenn Sie sich zum Turm drehen, ..."), wodurch die fehlende Information kompensiert wird. Es kann auch auf Relationen zurückgegriffen werden, die die fehlende Information nicht benötigen (z.B. topologische Relationen bei fehlender Richtung). Besonders im Fall fehlender bzw. ungenauer Ortsinformation kann ein Wechsel der Abstraktionsebene (siehe oben) nötig sein, um falsche Systemäußerungen zu vermeiden.

Neben diesen allgemeinen Strategien, gibt es auch einige Methoden, die nur auf bestimmte Aufgaben im Kontext von Navigationsunterstützung anwendbar sind. Im Falle einer Objektlokalisierung kann z.B. auf ein allozentrisches Referenzsystem ausgewichen werden, das auf einem der Benutzerin bekannten Objekt basiert ("X ist in der Nähe von Y, das Sie vor einer Stunde besichtigt haben."). Falls die Benutzerin ihre eigene Position erfahren will (Selbstlokalisierung), kann das System bei fehlender Positionsinformation alternativ die letzte bekannte Position kommunizieren ("Vor zehn Minuten waren Sie bei X.") und ihr damit einen Anhaltspunkt liefern. Soll ein Objekt in der Umgebung identifiziert werden, können bei fehlender Positionsinformation vor allem nicht raumbezogene Eigenschaften herangezogen werden ("Das große rote Gebäude ist das Museum."). Im Kontext von Weginstruktionen können zwei weitere Strategien zum Einsatz kommen. Einerseits kann das System statt inkrementellen Instruktionen eine komplette Wegbeschreibung liefern und die letzte bekannte Position der Benutzerin hervorheben. Andererseits können positionsunabhängige Instruktionen generiert werden, die die Nutzerin zur gewünschten Position führen. Hat sich die Benutzerin beispielsweise in den engen Gassen eines Altstadtviertels verirrt, in denen kein GPS-Empfang möglich ist, könnte diese Strategie dazu führen, die Nutzerin zu einer wohl definierten Position oder einer prominenten Landmarke zu leiten ("Bitte gehen Sie zum Dom."). Bestätigt die Nutzerin, dass sie diese Position erreicht hat, kann die Routenführung von dort fortgesetzt werden. Da Weginstruktionen oft auch Lokalisierungen bzw. Objektidentifikationen beinhalten, können auch die für diese Aufgaben vorgestellten Kompensationsstrategien zum Einsatz kommen.

## 5 Verwandte Arbeiten

Eines der ersten Projekte im Bereich kontextbewußter Reiseführer war Cyberguide (siehe Long, Kooper, Abowd & Atkeson 1996). Im Rahmen des Projektes wurden je ein Prototyp für Innen- und Außennavigation erstellt. Die Variante für den Gebrauch innerhalb von



Gebäuden basiert auf Infrarotsendern, die an kritischen Stellen montiert wurden und aktiv eindeutige IDs aussenden. Die Orientierung wird mithilfe einer Positionshistorie bestimmt. Im Außenszenario kommt das GPS zum Einsatz, die Orientierung wird vermutlich analog zum Innenszenario bestimmt (die Autoren führen diesen Punkt nicht aus). Beide Systeme sind unabhängig und erlauben keinen nahtlosen Übergang von innen nach außen. Ein ähnliches Projekt ist das Guide System, das sich zum Ziel genommen hat, die Stadt Lancaster mit einem stadtweiten kontextsensitiven Multimedia-Führer für Besucher auszustatten (vgl. Davies, Mitchel, Cheverst & Blair 1998, Cheverst, Davies, Mitchell, Friday & Efstratiou 2000). Das System basiert auf Internet-Technik, portablen Endgeräten und einer zellbasierten Netzwerkinfrastruktur. Die präsentierte Information wird sowohl auf Benutzerin als auch auf ihre aktuelle Umgebung zugeschnitten. Positionsinformation wird von strategisch positionierten Basisstationen ausgesendet. Daher bedeutet der Verlust der Netzwerkverbindung auch den Verlust sämtlicher Positionsinformation. Um die Benutzerin über den aktuellen Status der Positionsinformation auf dem Laufenden zu halten, stellt das System neben der letzten bekannten Position auch die aktuelle Empfangsstärke dar. Johnson & Cheng 2000 stellen ebenfalls ein System vor, das auf tragbaren Endgeräten beruht und eine kontextbewusste Architektur verwendet, um über Infrarottransmitter und ein drahtloses Netzwerk mobile Mensch-Maschine-Interaktion in Gebäuden zu ermöglichen. Die Architektur erlaubt neben einer Reihe von Navigationsdiensten auch 'soziale' Anwendungen wie z.B. das Wiederfinden von Kindern, die ihre Eltern in einem Einkaufszentrum verloren haben. Sämtlichen dieser Systeme ist gemein, dass sie nur über geringe oder gar keine Fähigkeiten für den Umgang mit fehlender, unvollständiger oder ungenauer Positionsinformation verfügen.

## 6 Zusammenfassung

In diesem Artikel haben wir einen Ansatz zur Behandlung von Positionsinformation vorgestellt, der alle Bereiche von der Verarbeitung von Sensordaten bis zu konkreten Aufgaben im Navigationskontext abdeckt. Wir haben verschiedene Sensoren untersucht, fundamentale Navigationsaufgaben und diese in Zusammenhang mit Positionsinformation unterschiedlicher Güte gebracht. Für den Umgang mit schwankender Informationsqualität haben wir drei grundsätzliche Strategien vorgestellt: Inferenz, Interaktion und Kompensation. Für jede dieser Kategorien stellten wir mehrere konkrete Vorgehensweisen vor, die es sogar erlauben, beim vollständigen Fehlen von Positionsinformation sinnvoll zu reagieren und die Benutzerin zu unterstützen.

## 7 Literatur

- Butz, A., Baus, J., Krüger, A. & Lohse, M. (2001): *A hybrid indoor navigation system*. In: IUI2001: International Conference on Intelligent User Interfaces, New York, ACM.
- Cheverst, K., Davies, N., Mitchell, K., Friday, A. & Efstratiou, C. (2000): *Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences*. In: Proceedings of CHI 2000, S. 17-24.

- Cohn, A.G (1996): *Calculi for qualitative spatial reasoning*. In: J. Calmet, J. A. Campbell, and J. Pfalzgraf, (Hrsg.) *Artificial Intelligence and Symbolic Mathematical Computation (LNCS 1138)*, Springer, S.124-143.
- Davies, N., Mitchel, K., Cheverst, K., & Blair, G. (1998):. *Developing a Context Sensitive Tourist Guide*. In: C. Johnson, (Hrsg.), *Proceedings of the First Workshop on Human Computer Interaction for Mobile Devices*.
- Hartner, A. & Hoppner, A. (1994): *A distributed location system for the active office*. *IEEE Network*, 8(1).
- Johnson, C. & Cheng, K. (2000):. *The Glasgow Context Server: A Wireless System for Location Awareness in Mobile Computing*. Technical report, University of Glasgow.
- Long,S., Kooper, K., Abowd, G.D. & Atkeson, C. G. (1996): *Rapid Prototyping of Mobile Context-Aware Applications: The Cyberguide Case Study*. In: Proc. of the 2nd ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, S. 97-107.
- Lynch, K. (1960): *The image of the city*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Maaß, W., Baus, J. & Paul, J. (1995): *Visual grounding of route descriptions in dynamic environments*. In: AAAI Fall Symposium on Computational Models for Integrating Language and Vision, MIT, Cambridge, MA.
- Montello, D. (1993): *Scale and multiple psychologies of space*. In: Frank and Campari, (Hrsg.), *Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS*, Springer, S. 312-321.
- Priyantha, N., Chakraborty, A. & Balakrishnan, H. (2000): *The cricket location-support system*. In: ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing. ACM Press.
- Want, R., Schilit, W., Adams, N., Gold, R., Petersen, K., Ellis,J., & Weiser, M. (1995): *An overview on the parctab ubiquitous computing experiment*. *IEEE Personal Communications*, 2(6), S. 28-43.