

Digitale Weltmodelle – Grundlage kontextbezogener Systeme

Kurt Rothermel, Universität Stuttgart, IPVS
Martin Bauer, Universität Stuttgart, IPVS
Christian Becker, Universität Stuttgart, IPVS

Die rasant fortschreitende Entwicklung der drahtlosen Kommunikation und Sensorik führt zu multifunktionalen mobilen Endgeräten, die neben klassischen Funktionen zusätzlich Kontextinformation erfassen, verarbeiten und kommunizieren können. Durch weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der eingebetteten Systeme entstehen „smarte“ Alltagsgegenstände, die häufig über sensorische Fähigkeiten verfügen und vernetzt sind. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen ist es absehbar, dass in wenigen Jahren viele Milliarden von Sensoren existieren werden, die kontinuierlich den Zustand der Realwelt erfassen und kommunizieren. Führt man die sensorisch gewonnen Informationen in einem räumlichen Modell zusammen, so entsteht ein digitales Abbild der Realwelt, also ein digitales Weltmodell, das analog zum heutigen Web einen globalen Informationsraum darstellt. Das digitale Weltmodell kann Grundlage sein für eines breiten Spektrums kontextbezogener Anwendungen, für die wohl anwendungsspezifische Sichten definiert sind, deren Kontext aber prinzipiell keinen räumlichen Beschränkungen unterworfen ist.

In diesem Beitrag wird der Begriff der kontextbezogene Anwendungen präzisiert und Anwendungen dieser Art anhand von Beispielanwendungen beschrieben und klassifiziert. Außerdem wird die Vision, Kontextinformationen in Form digitaler Weltmodelle zu verwalten, dargelegt und motiviert. Schließlich werden die sich aus dieser Vision ergebenden wissenschaftlichen Herausforderungen diskutiert.

Einleitung

Die rasch fortschreitende Entwicklung und Verbreitung von Mobilkommunikation birgt ein hohes Potenzial für ein breites Spektrum neuartiger Anwendungen. Den heute flächendeckend verfügbaren Mobilfunknetzen der zweiten Generation werden voraussichtlich im Jahre 2003 die leistungsfähigeren UMTS-Netze folgen. Für so genannte *Personal Area Networks* steht mit Bluetooth eine Technologie zur Verfügung, die eine Vernetzung von Geräten und „intelligenten“ Alltagsdingen zu sehr geringen Kosten ermöglichen wird.

Es gibt heute schon mobile Multifunktionsgeräte, die Kommunikations-, Rechner- und Sensorfunktionen integrieren. Mit GPS und DGPS stehen für den Außenraum-Bereich Positionierungstechniken mit Genauigkeiten bis zu wenigen Metern zur Verfügung. Eine weitere Möglichkeit zur Positionsbestimmung bieten zellula-

re Mobilfunknetze mit Verfahren wie Cell-Id, EOTD und A-GPS. Ebenso gibt es bei den Positionierungsverfahren für Innenräume viel versprechende Entwicklungen, die in Genauigkeitsbereiche von wenigen Zentimetern vordringen.

Vielfältige weitere Umgebungsinformation, wie etwa Temperatur, Helligkeit, Feuchtigkeit, Luftdruck oder Beschleunigung kann bereits heute durch extrem miniaturisierte Sensoren als kostengünstige Standardkomponenten verfügbar gemacht werden. Das Gleiche gilt für Transponder-Technologien, mit denen sich so genannte *Smart-Labels* realisieren lassen. Smart-Labels sind elektronische Kennzeichnungen, mit deren Hilfe beliebige Realweltobjekte identifiziert und mit Informationen verknüpft werden können.

Viele der heutigen mobilen Anwendungen sind Erweiterungen klassischer Client/Server-Systeme, die mobilen Klienten den Zugriff auf Information und andere Ressourcen „*Anytime, Anyplace*“ ermöglichen. Durch die oben skizzierten technischen Entwicklungen kann eine neue Klasse von Anwendungen erschlossen werden, die kontextbezogenen Systeme, die weit über die Möglichkeiten heutiger mobiler Anwendungen hinausgehen. Solche Systeme nutzen Kontextinformation, die von Sensoren erfasst und der Anwendung zur Verfügung gestellt werden. Es ist absehbar, dass in naher Zukunft viele Milliarden von Sensoren – integriert in mobilen Endgeräten und „intelligenten“ Alltagsdingen – Zustandsinformation der Realwelt erfassen und kommunizieren werden. Zukünftigen Anwendungen wird daher Kontextinformation in einem enormen Umfang zur Verfügung stehen. Allerdings müssen für eine globale Nutzung dieser Information die gewonnenen Sensordaten in ein weltumspannendes Umgebungsmodell integriert werden.

Kontextbezogene Systeme sind in der Lage, sich dem aktuellen Kontext dynamisch anzupassen, wobei der jeweilige Kontext anwendungsspezifisch ist. So kann für eine Anwendung der Kontext eines Benutzers interessant sein, also beispielsweise seine Identität, sein Ort und die Situation, in der er sich befindet, aber auch andere Personen und Objekte in seiner Nähe oder die Zeit. Die Fähigkeit eines Systems sich auf einen veränderten Kontext anzupassen ist mit einer Vielzahl von Vorteilen verbunden. Beispielsweise können die angebotenen Informationen und Dienste kontextbezogen selektiert werden. Das Angebot kann davon abhängen, wo sich der Benutzer zu welcher Zeit befindet und in welcher Situation er ist, ob er als Tourist oder Geschäftsreisender unterwegs ist, wie schnell und mit welchem Verkehrsmittel er sich fortbewegt. Die Präsentation der Information kann ebenfalls kontextabhängig sein. So wird man Information für einen Fußgänger in anderer Weise darstellen als einem Fahrzeugführer, der mit hoher Geschwindigkeit unterwegs ist.

Gegenstand dieser Arbeit sind kontextbezogene Systeme, ihre Anwendung und die mit ihrer Realisierung verbundenen wissenschaftlichen Herausforderungen. Im folgenden Kapitel wird der Begriff des Kontexts präzisiert und eine Einordnung von Kontextinformation vorgenommen. Im dritten Kapitel werden Merkmale kontextbezogener Anwendungen eingeführt und für eine Reihe existierender Anwendungen diskutiert. Auf Modelle für die Kontextparameter Zeit, Identität und Ort wird in Kapitel 4 eingegangen, wobei der Schwerpunkt auf räumliche Modelle gelegt wird. Die Vision eines digitalen weltumspannenden Umgebungsmodells ist

Gegenstand des fünften Kapitels. Die im Zusammenhang mit dieser Vision stehenden wissenschaftlichen Fragestellungen werden in Kapitel 6 angesprochen. Der Aufsatz schließt mit einer kurzen Zusammenfassung.

Kontextbezogene Systeme

Kontextbezogene Systeme werden durch ihre Nutzung von Kontextinformationen, wie Ort von Nutzern und Objekten, charakterisiert. Die Vielzahl unterschiedlicher Kontextdefinitionen (Dey u. Abowd 2000; Chen u. Kotz 2000; Mitchell 2002) macht eine Konkretisierung des Begriffs notwendig.

Definition: Kontext

Kontext ist die Information, die zur Charakterisierung der Situation einer Entität herangezogen werden kann. Entitäten sind Personen, Orte oder Objekte, welche für das Verhalten von Anwendungen als relevant erachtet werden. Dabei wird eine Entität selbst als Teil ihres Kontexts betrachtet.

Für das Verhalten einer Anwendung können eine oder mehrere Entitäten relevant sein. Diese Definition folgt im wesentlichen dem in (Dey u. Abowd 2000) formulierten Kontextbegriff. Kontextbezogene Anwendungen greifen auf Kontextinformationen zu und nutzen diese.

Definition: Kontextbezogene Anwendung

Eine Anwendung ist kontextbezogen, wenn ihr Verhalten durch Kontextinformation beeinflusst wird.

Als Beispiele für kontextbezogene Anwendungen wollen wir hier eine Navigationsanwendung und ein Flottenmanagementsystem betrachten. In beiden Anwendungen sind Orte – beispielsweise in Form von Straßenkarten – und Fahrzeuge als mobile Objekte relevant. Die Entitäten beider Anwendungen sind also die Fahrzeuge und die durch Straßenkarten modellierten Orte. Während der Kontext des Flottenmanagements sich aus der Gesamtheit der betrachteten Fahrzeuge, deren Position und weiteren Informationen, wie Ladung und Zustelltermin ergibt, betrachtet die Navigationsanwendung im wesentlichen ein Fahrzeug. Der Kontext der Navigationsanwendung wird durch die aktuelle Position des betrachteten Fahrzeugs, das Navigationsziel, das Straßennetz und eventuell zusätzliche Informationen, wie z.B. die aktuelle Verkehrssituation bestimmt. Hierbei ist zu sehen, dass ein und dieselbe Entität, in diesen Fällen Fahrzeuge, in unterschiedlicher Weise Kontext für verschiedene Anwendungen darstellt.

Wir können zwischen zwei Arten von Kontext unterscheiden:

Primärkontext ist Ort, Identität und Zeit. *Sekundärkontext* lässt sich über weitere Attribute von Entitäten ableiten, die beispielsweise angeben, welchen Zustand/Aktivität eine Entität hat. Der Primärkontext dient somit als Index, um Entitäten zu isolieren. Der Sekundärkontext ergibt sich dann aus den weiteren Eigenschaften solcher Entitäten. In der Regel benötigt man eine Kombination aus Ort

und Zeit bzw. Identität und Zeit, um sinnvoll auf den Kontext zugreifen zu können, wobei die Zeit durch den aktuellen Zeitpunkt auch implizit gegeben sein kann.

Im Beispiel der Navigationsanwendung ist der Primärkontext durch das Ziel (Ort) und das zu navigierende Fahrzeug (Identität, Ort) und die aktuelle Zeit gegeben. Die Orte werden durch die Straßenkarte modelliert. Das Flottenmanagementsystem wird ebenso auf die räumlichen Daten zurückgreifen aber dabei mehrere Fahrzeuge (Identität) berücksichtigen. Neben der aktuellen Zeit kann hier auch die Historie bzw. die Prognose/Planung eine Rolle spielen, d.h. wo waren die Fahrzeuge bzw. wo werden sie sein. Entitäten sind hier also Fahrzeuge und Orte in Form von Positionen und Zielen.

Über diese Primärkontexte ist nun auch ein Zugriff auf Sekundärkontexte möglich. So wird die Navigationsanwendung über das Fahrzeug den aktuellen Aufenthaltsort, wichtige Fahrzeugeigenschaften, wie z.B. die Höchstgeschwindigkeit, den Fahrer und darüber dann wieder dessen Präferenzen usw. ermitteln. Über die Straßenkarte lassen sich mögliche Fahrtrouten ermitteln, für die dann die aktuelle Verkehrssituation berücksichtigt werden kann. (Diese wiederum lassen sich aus der Anzahl und aktuellen Geschwindigkeit von Fahrzeugen und den Wetterinformationen ableiten – Kontextinformation, die wieder aus „einfacherer“ Kontextinformationen wie Sensorwerten ableitbar ist.)

Für das Flottenmanagement stellen die aktuelle Position, die aktuelle Geschwindigkeit, die aktuelle Ladung, der Zustelltermin, der Zustand des Fahrzeugs, der letzte Wartungstermin und der Fahrer wichtige Kontextinformationen dar, die über das jeweilige Fahrzeug (Primärkontext) ermittelt werden kann. So kann z.B. über die aktuelle Position die gültige Geschwindigkeitsbeschränkung ermittelt und mit der aktuellen Geschwindigkeit verglichen werden. Somit kann kontextbezogen eine Warnung an den Fahrer ausgegeben werden. Ebenso können für den aktuellen Fahrer (hier dann als Primärkontext) Informationen wie Ruhepausen oder Überstundenkonto erfasst werden. Für das Fahrzeug wiederum können der aktuelle Zustand, sowie Wartungsintervalle und die letzte Wartung nachgefragt werden. In Abhängigkeit dieser Informationen sowie der nächsten Werkstatt und der aktuellen Auslastung kann dann eine Wartung durchgeführt werden.

Die Kontextinformation kann dabei von der Anwendung selbst oder einer Infrastruktur zur Unterstützung kontextbezogener Anwendungen erfasst und verwaltet werden.

Merkmale kontextbezogener Anwendungen

In Bezug auf den Kontext lassen sich generell bei Anwendungen drei Arten der Verhaltensänderung unterscheiden:

Kontextbezogene Selektion: bei der Auswahl von Diensten und Informationen kann der Kontext einbezogen werden. Die Klassifikation von Informationen nach ihrem Ort bzw. der Nähe zu einem Benutzer stellt bei vielen Anwendungen ein wesentliches Kriterium für die Auswahl von Diensten oder Informationen dar.

Insbesondere, weil Benutzer Informationen über ihre unmittelbare, erreichbare Umgebung (Restaurants, Taxis, Drucker, Busfahrpläne, etc.) benötigen, sind der Ort, die Identität und die Zeit als Primärkontext hier relevant. Sekundärkontext, wie persönliche Präferenzen, können in die Auswahl mit einbezogen werden. Basierend auf den durch den Kontext ermittelten Objekten sind nun zwei weitere Arten der Verhaltensänderung möglich:

Kontextbezogene Präsentation: in Abhängigkeit des Kontexts verändert sich die Darstellung einer Anwendung. Über den Ort lassen sich mögliche Darstellungsmedien (Audio, Video, etc.) in der Nähe eines Benutzers selektieren, die von einer Anwendung ausgewählt werden können. Weitere Kontextinformationen, wie die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges, können dann herangezogen werden, um die Anzeige auf wesentliche Elemente – einen Richtungspfeil oder Sprachausgabe – zu reduzieren. Im Wesentlichen spielen hier bei der Auswahl und Darstellung von Objekten der Detaillierungsgrad der Informationen und die Wahl des Mediums eine Rolle.

Kontextbezogene Aktionen: in Abhängigkeit von Ort und Identität eines Benutzers können Aktionen, wie die Weiterleitung von Nachrichten auf einen Anrufbeantworter (im Falle von Besprechungen) oder ein anderes Telefon (bei Aufenthalt in einem anderen Büro) initiiert werden. Die automatische Konfiguration von Umgebungen (Licht, Temperatur, etc.) nach den Präferenzen von Anwendern ist ebenfalls eine kontextbezogene Aktion.

Diese Einordnung unterscheidet sich von der in (Dey u. Abowd 2000), indem die Kennzeichnung (tagging) von Kontextinformationen für spätere Verwendung der Information als eine Verwaltungsaufgabe gesehen wird und gegenüber der in (Schilit et al. 1994) vorgeschlagenen kontextbezogenen Aktion zurücktritt.

Beispiele kontextbezogener Anwendungen

Im folgenden sollen einige existierende kontextbezogene Anwendungen betrachtet werden. Nach einer kurzen Beschreibung der Anwendungen werden sie anhand der oben eingeführten Merkmale klassifiziert. Tabelle 1 bietet eine Übersicht der Projekte und über den von ihnen genutzten Primärkontext sowie das kontextbezogene Verhalten.

Stadt-/Touristen-/Museumsführer: Cyberguide (Long et al. 1996) ist ein lokationsbasierter Führer für Besucher des Graphics, Visualization and Usability Center an der Georgia Tech. Zunächst wurden ein Führer für Innenräume mit infrarotbasierter Positionierung realisiert. Später wurde das System auch für die Benutzung im Freien erweitert (Abowd et al. 1997), wobei GPS zur Lokationsbestimmung zur Anwendung kam. Neben dem Abrufen lokationsbezogener Informationen stellt das System auch automatisch ein Tagebuch der besuchten Orte zusammen

Das Guide System (Davies et al. 2002) wurde als Touristenführer für die Altstadt von Lancaster entwickelt. Der Benutzer bekommt automatisch Informationen über die Sehenswürdigkeiten in seiner Umgebung und kann je nach Interesse weitere Informationen abfragen oder Online-Dienste, wie Hotelreservierungen, nutzen. Die Basis von Guide ist eine Infrastruktur, in der Informationen über die für Touristen interessanten Objekte in erweiterbarer Form vorliegen. Mobile Anwender erhalten durch FunkLAN und mobile Endgeräte Zugriff auf diese Infrastruktur.

Annotation/Virtuelle Erweiterung: Eine weitere Art von kontextbezogenen Anwendungen ist dadurch charakterisiert, dass die reale Welt durch zusätzliche Information erweitert (augmentiert) wird. Dabei werden reale Objekte mit zusätzlichen Informationen annotiert. Der Anwender erhält Zugriff auf Informationen – virtuelle Objekte – die mit Objekten in der realen Welt verknüpft sind. Das Stick-e Notes System (Pascoe 1997) benutzt als Metapher für die Augmentierung Post-its, sogenannte Stick-e Notes, die virtuell mit einem bestimmten Kontext verknüpft werden können, z.B. mit einer Lokation, einer Person, einem Objekt oder einer Kombination. Tritt dieser Kontext ein, wird der Benutzer darüber informiert oder es wird automatisch eine Aktion ausgeführt.

Das VIT System (Leonhardi et al. 1999) basiert auf der Metapher der virtuellen Litfaßsäule. Eine virtuelle Litfaßsäule wird an einem bestimmten Ort aufgestellt und besitzt einen Sichtbarkeitsbereich. Sie bietet Informationen innerhalb ihres Sichtbarkeitsbereichs in Form von Postern an. Die hierarchisch strukturierten Poster sind Webseiten, die so an einen Ort gebunden werden. Für Poster und Litfaßsäulen können Zeiträumen angegeben werden, in denen sie gültig sind.

ComMotion (Marmasse u. Schmandt 2000) benutzt Ort und Zeit, um Erinnerungsnachrichten an Benutzer zu schicken, d.h. wenn der Benutzer an einem bestimmten Ort ankommt, bekommt er über eine Sprachausgabe eine Nachricht, die er selbst oder jemand anders dort hinterlegt hat.

Navigation: Im REAL-Projekt (Baus et al. 2002) soll die Navigation für Fußgänger adaptiv unterstützt werden. Je nach Situation des Benutzers (Stehen oder Laufen, Außen- oder Innenbereich) und Möglichkeiten seines mobilen Endsystems (Bildschirmgröße, Sprachausgabe) soll er der Situation angepasste Benutzerausgaben erhalten. Zum Beispiel hilft einem schnell laufenden Benutzer eine detaillierte Karte in der Regel wenig – Pfeile, welche die ungefähre Richtung anzeigen sind hier hilfreicher.

Arbeitsumgebung: Mit dem Active Badge System (Want et al. 1992), das auf eine infrarot-basierte Positionierung aufbaut, können Aktionen in Abhängigkeit des Aufenthaltsorts eines Benutzers ausgelöst werden. Eingehende Telefongespräche werden beispielsweise dorthin weitergeleitet, wo der Benutzer sich gerade befindet.

Mit dem Active Bat System (Harter et al. 1999), das auf Ultraschallbasis eine genauere Positionierung des Benutzers ermöglicht, ist Teleporting möglich, d.h. die graphische Benutzerführung einer Anwendung benutzt die Ausgabemöglichkeit am aktuellen Aufenthaltsort des Benutzers, die am besten dafür geeignet ist.

Im TEA Projekt (Schmidt et al. 2000) wurde ein Mobiltelefon mit kontextbezogenen Verhalten versehen, das sich dem aktuellen Kontext des Benutzers anpasst. Je nachdem, ob das Telefon in der Hand, auf dem Tisch oder im Koffer ist und der Benutzer allein oder in einer Besprechung ist, verhält es sich entsprechend, indem es die Klingellautstärke anpasst, auf Vibrationsalarm umstellt oder ganz still bleibt, d.h. den Anruf nicht an den Benutzer weitergibt, da dieser gerade nicht gestört werden sollte.

Kooperative Anwendungen: Das Netman Projekt (Kortuem et al. 1998) hatte die Unterstützung eines mobilen Netztechnikers zum Ziel. In Abhängigkeit des aktuellen Orts werden Dienste und Informationen zur Verfügung gestellt, die dort zur Erledigung der aktuellen Aufgabe relevant sind.

Einordnung der Beispiele: Tabelle 1 klassifiziert die vorgestellten Beispiele anhand ihres Primärkontexts und welche Arten kontextabhängigen Verhaltens unterstützt werden.

Tabelle 1. Klassifikation der Beispiele kontextbezogener Anwendungen

Projekt	Beschreibung	Primärkontext	Merkmale kontextabhängigen Verhaltens
Cyberguide	Gebäudeführer	Identität, Lokation	Selektion
Guide	Touristenführer	Lokation	Selektion
Stick-e Notes	Virtuelle Post-Its	Lokation, Identität	Selektion, Aktion
VIT	Virtuelle Litfaßsäulen	Lokation, Zeit	Selektion
ComMotion	Lokationsbezogene Erinnerung	Lokation, Identität	Selektion, Aktion
REAL	Navigation	Lokation, Identität	Präsentation
Active Badge: Telephone Assistant	Anrufweiterleitung	Identität, Lokation	Aktion
Active Bat: Teleporting	Teleporting	Identität, Lokation	Präsentation, Aktion
TEA	Kontextadaption von Mobiltelefonen	Identität	Präsentation, Aktion
Netman	Unterstützung für Netztechniker	Lokation	Selektion

Kontextmodelle

Kontextinformation kann nur auf der Grundlage eines Modells interpretiert werden. Durch das Modell wird festgelegt, wie die Kontextinformationen modelliert werden und welche Erweiterungsmöglichkeiten der Kontextinformationen ange-

boten werden. Für den Primärkontext lassen sich entsprechend folgende (Teil-) Modelle finden:

Zeit: Zeitmodelle können in unterschiedlicher Art und Weise gebildet werden. Die Modellierung einer universellen Zeit durch die Coordinated Universal Time (UTC) erlaubt eine einheitliche Sicht auf einen Zeitpunkt. Zeitbereiche lassen sich in Form von Zeitintervallen angeben. Weiterhin können Einheiten des täglichen Lebens, wie Tage oder Wochen, für die Zeitmodellierung verwendet werden. Relative Zeit, wie sie in Multimediasystemen in Bezug auf Synchronisationspunkte verwendet wird, ist ebenso eine mögliche Repräsentation. In Bezug auf die Modellinformationen kann die Verwaltung von Kontextinformationen in Bezug auf die Gegenwart oder mit Einbezug bzw. Repräsentation der Historie oder sogar der Zukunft, etwa durch Prognosen, erfolgen.

Identität: bei der Modellierung der Identität sind prinzipiell zwei Varianten möglich. In flachen Namensräumen spiegeln die Identitäten in ihrer Struktur keine weitere Beziehung zwischen Objekten wider und sind im wesentliche eindeutige Bezeichner von Objekten. Hingegen wird in strukturierten Namensräumen durch die Identität eine Struktur auf den Objekten induziert. Beispiele sind Taxonomien, wie sie durch Subtyp-Beziehungen gebildet werden, oder aber Inklusionsbeziehungen bei hierarchischen Namensräumen.

Ort: Die Bestimmung von Orten geschieht auf der Grundlage räumlicher Modelle, welche in ihrer Komplexität sehr unterschiedlich sein können. Möglich sind sowohl topologische als auch topographische Modelle, die ein Spektrum von einfachen Koordinatensystemen bis hin zu detaillierten 3D Modellen der Realwelt aufspannen. Orte können durch geometrische oder symbolische Adressen bestimmt werden. Beispielsweise kann der Ort einer Person durch geographische Koordinaten (Bsp. GPS) oder durch eine symbolische Adresse, wie beim Active Badge System, bestimmt werden. Die von einem Positionierungssystem angebotenen Koordinaten bilden die Basis für die Positionsbestimmung von Objekten. Sind neben der Position auch andere räumliche Beziehungen, wie die Bestimmung von Gebieten oder Nachbarschaftsbeziehungen, gewünscht, sind weitere Informationen über die Beziehungen zwischen zwei Koordinaten notwendig. Liegen geographische Koordinaten vor, können mittels der geometrischen Abstandsfunktion Gebiete und Nachbarschaften bestimmt werden. Im Falle von symbolischen Koordinaten sind hierfür weitere Informationen notwendig. Topologische Modelle bilden räumliche Beziehungen auf Koordinaten ab und stellen somit eine Möglichkeit dar für symbolische Koordinaten Gebiets- und Nachbarschaftsbeziehungen zu modellieren.

Die Strukturierung von Kontextmodellen kann entlang der drei Dimensionen Identität, Zeit und Ort erfolgen. Die getrennte Modellierung dieser Dimensionen als Teilmodelle ist aber durch die Abhängigkeiten von Objekten in Hinblick auf den Primärkontext nicht sinnvoll. Dementsprechend wird in einem Kontextmodell der Zugriff auf Objekte sowohl über deren Identität, wie auch dem Aufenthaltsort möglich sein. Weiterhin ist bei der Unterstützung des Primärkontexts Zeit diese Dimension zu berücksichtigen, d.h. die Zeit muss jeweils als weitere Dimension

zu Ort und Identität hinzugefügt werden. Der Primärkontext bildet somit Indexe des Kontextmodells.

Kontextmodelle beinhalten typischerweise Objekte, die Entitäten (bspw. Gegenstände und Personen) der realen Welt repräsentieren oder Informationen über Objekte der realen Welt liefern (virtuelle Objekte). Solche Objekte besitzen einen Ort mit Bezug auf die reale Welt und eine Identität. Weitere Attribute eines Objekts modellieren weitere Kontextinformationen des Objekts. Unterschiedliche Attribute repräsentieren so unterschiedliche Aspekte des Kontexts eines Objekts.

Kontextbezogene Anwendungen können über die Indexe [Ort, Zeit] und [Identität, Zeit] Objekte aus dem Kontextmodell selektieren, die für sie relevant sind. Die weiteren Kontextinformationen lassen sich dann auf den Objekten durch Einschränkungen auf deren Attributen realisieren. Im Flottenmanagement kann beispielsweise ein Disponent eine neue Fracht an ein Fahrzeug vergeben, indem er zunächst alle Fahrzeuge in der Nähe des Ursprungsorts selektiert und dann die freien Fahrzeuge auswählt. Zeitpunkt der Anfrage und Aufenthaltsort sind hier der Primärkontext während die Eigenschaft „ist frei“ durch ein Attribut als Sekundärkontext modelliert ist.

Die Interaktion von kontextbezogenen Anwendungen mit dem Kontextmodell kann auf unterschiedliche Arten realisiert werden. Neben Anfragen in Bezug auf Objekte durch Zeit, Ort und Identität sind auch Ereignis-basierte Interaktionen möglich. So kann eine Anwendung bestimmte Ereignisse durch Prädikate beschreiben und bei Eintreten des Ereignisses benachrichtigt werden. Besonders relevant sind hier räumliche Ereignisse, also solche, die in Bezug auf Orte stehen. Beispielsweise kann so eine Benachrichtigung erfolgen, wenn zwei Objekte in räumlicher Nähe zueinander sind oder ein Objekt einen Ort, wie z.B. einen Raum, betritt.

Die räumliche Struktur eines Kontextmodells ist von besonderer Relevanz. In solchen Modellen sind die räumlichen Beziehungen von Objekten explizit abgebildet und erlauben somit erst die Verwendung des Orts als Index. Im folgenden wollen wir näher auf Eigenschaften solcher räumlichen Modelle eingehen.

Bislang haben wir den Ort als Primärindex nur hinsichtlich seiner Bedeutung identifiziert und einige Beispiele für unterschiedliche Modellierungen, wie geographische und symbolische Koordinaten, gegeben. Weitere Eigenschaften, die ein räumliches Modell auszeichnen, sind der abgedeckte Bereich, die Komplexität der Modellabstraktionen, die Dynamik und der Grad der Spezialisierung.

Abgedeckter Bereich: ein räumliches Modell spiegelt einen Ausschnitt der Realität wider. Im Extremfall kann dies global – also weltweit – geschehen. Beispiele für räumlich begrenzte Modelle sind das nähere Umfeld eines Benutzers, in dem nur die Objekte der näheren räumlichen Umgebung eines Benutzers vorgehalten werden, oder Gebäudemodelle, die nur die räumliche Struktur und Objekte eines Gebäudes modellieren. Aktuelle „Location-based Services“ sind von ihrem Modell her meist global ausgelegt, so dass, sobald Daten für ein neues Gebiet verfügbar sind, diese in das Modell integriert werden können. Die Verfügbarkeit eines globalen Modells hat auch den Vorteil, dass ein Benutzer auch auf Modelldaten zugreifen kann, die weit von seinem aktuellen Aufenthaltsort entfernt sind. Dies

ist z.B. für eine Touristik-Anwendung sinnvoll, die dem Benutzer schon im voraus eine virtuelle Tour durch die Stadt, die er besuchen will, ermöglicht. Globale Modelle sind für viele Anwendungen wünschenswert. Ähnlich zu Roaming in Mobilfunknetzen erlauben erst globale Modelle kontextbezogenen Anwendungen an beliebigen Orten ihren Dienst zu erbringen.

Komplexität der Modellabstraktion: die Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen, die auf räumliche Informationen zugreifen, erfordern unterschiedliche Abstraktionen. Die jeweils von einem räumlichen Modell unterstützten Abstraktionen – auf punktförmigen Koordinaten basierend, 2D Grundrisse, 2,5D (2D mit Höheninformation), bis hin zu komplexen 3D-Modellen der Realität – stellen hier unterschiedliche Merkmale dar. Die Modellierung der räumlichen Umgebung bestimmt in einem hohen Maße die möglichen Anwendungen. Auf Basis eines Modells mit punktförmigen Koordinaten können zwar Objekte nach ihrem Ort und ihrer Nähe bestimmt werden, aber ohne zusätzliche Informationen über Straßen, wie im Geographic Data File Format (GDF), läßt sich keine Navigationsanwendung realisieren. Durch die Bereitstellung von komplexen 3D Modellen der Realität lassen sich nicht nur realitätsnahe Visualisierungen des Modells erzeugen sondern auch durch Bilderkennung Informationen über die Orientierung und Position von Benutzern aufgrund der gespeicherten Informationen ableiten. Aktuelle „Location-based Services“ beschränken sich häufig auf ein Modell, das auf punktförmigen Koordinaten basiert, wodurch die Anwendungsmöglichkeiten stark eingeschränkt sind.

Grad der Dynamik: hierbei ist die Möglichkeit gemeint, dass sich ein räumliches Modell über die Zeit verändern kann. Statische räumliche Modelle, wie die Straßenkarten in Navigationssystemen, erlauben keine Änderungen. Hingegen ist für viele andere Anwendungen eine Änderung sowohl des räumlichen Modells, wie auch der in Bezug auf dieses gespeicherten Objekte notwendig. In dem Beispiel des Flottenmanagementsystems ändern sich die Positionen der Fahrzeuge permanent mit deren Bewegung in der Realität.

Grad der Spezialisierung: bei der Spezialisierung von Modellen lassen sich neben nicht-erweiterbaren und damit meist sehr speziellen Modellen zwei Arten der Erweiterbarkeit finden. Die anwendungsspezifische Erweiterbarkeit charakterisiert Modelle, die auf eine Anwendung bzw. Anwendungsklasse hin entworfen wurden. Solche räumlichen Modelle erlauben oftmals nur eine Erweiterbarkeit vorgegebener Strukturen. Damit wird die Integration von zusätzlichen Objekten für andere Anwendungsklassen nicht ermöglicht. Solche Modelle finden sich entweder direkt als Teil der Anwendung selbst (CyberGuide) oder aber als Infrastruktur zur Unterstützung bestimmter Anwendungsklassen, wie das Guide System, das auf Touristenführer ausgelegt ist. Die Erweiterbarkeit ist damit auf Anwendungen bzw. Anwendungsklassen hin eingeschränkt. Im Gegensatz dazu sind bei der generischen Erweiterbarkeit die Modelle dadurch gekennzeichnet, dass sie Möglichkeiten der Erweiterbarkeit bieten, die zunächst nicht auf bestimmte Anwendungsklassen festgelegt sind. Dies erlaubt beliebigen Anwendungen auf das räumliche Modell

zugreifen. Typischerweise sind solche Modelle nicht als Teil einer Anwendung realisiert sondern werden durch eine Infrastruktur bereitgestellt.

Die im Abschnitt „Beispiele kontextbezogener Anwendungen“ dargestellten Projekte mit räumlichen Bezug basieren auf unterschiedlichen räumlichen Modellen. In Tabelle 2 werden diese Projekte wiederum aufgeführt und die jeweils verwendeten räumlichen Modelle in Bezug auf die Erweiterbarkeit, Dynamik, möglichen Modellabstraktionen und den abgedeckten Bereich klassifiziert. Das TEA Projekt wurde nicht aufgegriffen, da der Ort nicht als Kontext unterstützt wird.

Tabelle 2. Beispiele von räumlichen Modellen kontextbezogener Anwendungen

Projekt	Grad der Spezialisierung	Grad der Dynamik	Komplexität der Modellabstraktion	Abgedeckter Bereich
Cyberguide	Generisch: keine vorgegebene Objektstruktur aber Dienstkapse-lung	Mittel: Modelle erweiterbar	Vier verlinkte Modelle (Karte: Vektor, Bitmap, Information, Position, Nachrichten)	Innenräume, Innenstadtbereich
Guide	Generisch: Web-basierte Struktur der Informationsobjekte	Mittel: Modelle erweiterbar	Funkzellenbasierte Struktur	Innenstadtbereich
Stick-e Notes	Generisch: System kennt Personen, Objekte und Stick-e Notes, aber Erweiterung der unterstützten Kontexte möglich	Mittel: Stick-e Notes können hinzugefügt und entfernt werden	2D-Geometrie (Rechtecke)	Beliebig
VIT	Speziell: System kennt nur virtuelle Litfaßsäulen und Karten	Mittel: Erweiterbarkeit, Virtuelle Litfaßsäulen haben Gültigkeitszeitraum	Virtuelle Litfaßsäulen haben eine Position (Koordinate) und einen Sichtbarkeitsbereich (Kreis/Polygon)	Beliebig
ComMotion	Speziell: Lokationen, To-do-Listen, E-Mail Reminders, Subscriptions to location-based information, Karten	Mittel: Einträge in To-Do-Listen ändern sich	Location Areas (Position, Radius)	Beliebige vom Benutzer besuchte Orte

REAL	Nur im Rahmen der vorgegebenen Modelle	Gering; eher statische Modelle	Innenbereich: 3D Modelle Außenbereich: 2D Kartenmodelle	Beliebig: Gebäude und Außenbereich; lokale Datenhaltung begrenzt
Active Badge: Telephone Assistant	Position des Benutzers	Hoch: Position des Benutzers ändert sich häufig	Symbolische Lokation	Gebäude
Active Bat: Teleporting	Generisch: Objekte werden in einer Datenbank modelliert und lassen sich über Proxies ansprechen	Sehr Hoch: Position des Benutzers ändert sich häufig (hohe Genauigkeit)	3D-Modell, Projektion auf 2D für Berechnungen von Überlappungen	Gebäude
Netman	Generisch: Dienste werden Orten zugeordnet	Mittel: Zuordnung der Dienste kann sich ändern	Symbolische Lokation	Gebäude, prinzipiell beliebig
Nexus	Generisch: Vorgegebene Objektstruktur lässt sich beliebig erweitern	Hoch: Positionen der Benutzer und Sensorinformationen. Mittel- Gering: statische Objekte	2D-2,5D Modell, zukünftig auch 3D Modell	Innen- und Außenbereich, prinzipiell weltweit

Bei den vorgestellten Projekten (vgl. Tabelle 1 und 2) ist ersichtlich, dass die Verwaltung von Kontext, insbesondere bei räumlichen Modellen, auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen kann. Dabei kann das räumliche Modell in die Anwendung integriert sein (Cyberguide) oder aber durch eine Infrastruktur bereitgestellt werden (Guide). Bei den infrastrukturbasierten Ansätzen kann unterschieden werden, ob eine Klasse von Anwendungen unterstützt wird oder aber ob nur eine feste, vorgegebene Menge von Anwendungen von dem räumlichen Modell profitieren kann. Als Infrastruktur wurde in Tabelle 2 auch das Nexus Projekt (Hohl et al. 1999) mit aufgenommen, dessen Vision ungefähr dem entspricht, was in den folgenden Kapiteln diskutiert wird. Ziel ist es eine weltweit skalierbare Plattform für beliebige kontextbezogene Anwendungen zu schaffen, die auf ein föderiertes, komplexes und erweiterbares Weltmodell zurückgreifen können, das auch sehr dynamische Sensorinformationen integriert.

Im folgenden wird die Vision von globalen digitalen Weltmodellen eingeführt. Ähnlich dem WWW erlauben solche Modelle durch eine föderierte Verwaltung die skalierbare Verwaltung von potentiell weltumfassenden räumlichen Modellen.

Eine Vision: Globale Digitale Weltmodelle

Bedingt durch die im einleitenden Kapitel dargelegten technischen Entwicklungen ist es abzusehen, dass Sensorsysteme eine Verbreitung erreichen werden, welche die von Mobiltelefonen oder PCs um mehrere Größenordnungen übertreffen wird. Sensoren werden nicht nur stationär in unserer Umgebung installiert sein, sondern werden auch in großer Anzahl in mobilen Endgeräten und Alltagsgegenständen integriert sein. Unterschiedlichste Sensorsysteme werden ein riesiges Volumen an Kontextinformation erfassen, deren Integration in ein Umgebungsmodell ein enormes Potenzial für innovative, kontextbezogene Anwendungen beinhaltet.

Trotz seiner offensichtlichen Vorteile ist ein homogenes, sämtliche Sensordaten integrierendes Umgebungsmodell hochgradig unrealistisch. Vielmehr muss man davon ausgehen, dass eine Vielzahl heterogener Umgebungsmodelle existieren wird und durch Föderationskonzepte eine globale Sicht auf die Gesamtheit der Umgebungsinformation realisiert wird. Für eine Föderation sprechen viele Gründe, wie etwa die stark unterschiedliche geographische Relevanz von Modellinformation, unterschiedliche Modellierungsgegenstände und Detaillierungsgrade, verschiedene Modellierungsmethoden und nicht zuletzt Organisations- und Sicherheitsaspekte.

Man kann davon ausgehen, dass es – analog zum heutigen Web – eine große Anzahl von Dienst Anbietern geben wird, die Umgebungsmodelle in diese Föderation einbringen. Diese Modelle können sich gegenseitig ergänzen und geographisch überlappen, wie beispielsweise ein Modell mit Stadtplaninformationen und der Detailplan eines Gebäudes in derselben Stadt. Außerdem kann es für dieselbe geographische Region mehrere alternative Modelle von unterschiedlichen Dienst Anbietern geben. Die Föderation dieser Modelle liefert eine globale Sicht auf die Modellinformation, wobei eventuelle Inkonsistenzen automatisch erkannt und aufgelöst werden müssen.

Umgebungsmodelle werden Repräsentanten einer Vielzahl stationärer und mobiler Objekte der realen Welt enthalten. Außerdem werden sie angereichert sein durch virtuelle Objekte, die Ankerpunkte zu Informationen in existierenden Informationsräumen oder Diensten realisieren. Modellobjekte können folgendermaßen klassifiziert werden:

- *Geographische Objekte*, wie etwa Straßen, Gebäude oder Räume, werden die Grundlage vieler Umgebungsmodelle bilden. Typischerweise werden hierfür 2D-, 2,5D- oder 3D-Repräsentationen Anwendung finden.
- *Mobile Objekte* sind mit dynamischer Positionsinformation assoziiert. Beispiele sind Personen, Fahrzeuge oder „smarte“ Alltagsgegenstände.
- *Virtuelle Objekte* dienen als Ankerpunkte für Datenobjekte und Dienste. Sie sind die konzeptionelle Grundlage für die Verknüpfung realer Objekte mit bestehenden Informationsräumen, wie etwa dem WWW oder digitalen Bibliotheken. Beispiele sind virtuelle Post-Its zur Annotation von realen Objekten oder virtuelle Litfaßsäulen zur „Platzierung“ von Information in der realen Welt.

- *Objekte mit dynamischem Zustand* modellieren dynamische Zustände der repräsentierten realen Objekte. Ein Beispiel ist die Konfiguration und der Abnutzungsgrad eines technischen Werkzeugs.
- Mit *interaktiven Objekten* können Anwendungen in Interaktion treten. Sind diese Objekte mit Aktoren verbunden, können Effekte in der Realität erzielt werden und somit können Änderungen im Modell zu Änderungen in der realen Welt führen.

Durch die Einbindung von Ankerpunkten mittels virtueller Objekte in Umgebungsmodelle entsteht ein flexibles Bindeglied zwischen der realen Welt und bestehenden Informationsräumen und Diensten (siehe z.B. (Leonhardi et al. 1999)). Die daraus resultierenden Möglichkeiten können aus zwei Blickrichtungen betrachtet werden: Aus Sicht der Umgebungsmodelle können zusätzliche Informationen aus bestehenden Informationsräumen einfach integriert werden. Aus Sicht bestehender Informationsräume können diese durch die Verknüpfung mit Umgebungsmodellen dynamisch durch eine räumliche Dimension erweitert werden. Beispielsweise wäre die Anfrage „Gib mir die Einstiegsseiten der fünf nächstgelegenen Restaurants“ ohne Änderung bestehender Webtechnologie möglich.

Die Integration der einzelnen Umgebungsmodelle in die Föderation ist transparent für die Anwendungen und asynchrone und synchrone Zugriffsmechanismen erlauben einen einheitlichen Zugriff auf Umgebungsinformation der Föderation. Gemäß des *Pull-Paradigmas* können Anwendungen Anfragen stellen, wie etwa die räumliche Anfrage „Welche Personen sind derzeit im Raum 20.03 des Gebäudes XYZ?“. Andererseits ist es möglich, sich gemäß des *Push-Paradigmas* für Ereignisse zu registrieren, wie etwa für das räumliche Prädikat „Es sind mehr als fünf Personen im Raum 20.03 des Gebäudes XYZ“. Prädikate können globalen Charakter haben und sich somit über mehrere Teilmodelle erstrecken.

Durch die Integration von *Zeitkonzepten* können Umgebungsmodelle mehr als „nur“ den aktuellen Zustand des modellierten Ausschnitts der Realität reflektieren. Die Berücksichtigung der zeitlichen Dimension erschließt die Möglichkeit, auch Zustände der Vergangenheit und prognostizierte Zustände der Zukunft aufzunehmen, wodurch zeitbezogene Anfragen und Analysen möglich werden. Beispielsweise werden Anfragen der Art „Welche Personen haben an der Sitzung in Raum 20.03 am 20.3.2000 teilgenommen und welche Dokumente wurden bei dieser Sitzung erstellt?“ möglich. Die Integration von Zeit erschließt eine Reihe innovativer Anwendungsfelder, etwa Stauanalysen und -prognosen im Bereich der Verkehrstelematik.

Die Vision ist also ein *globales*, weltumspannendes Umgebungsmodell, das als eine Föderation von Teilmodellen realisiert wird. Das räumliche Modell geht in der *Komplexität seiner Abstraktionen* weit über die heute üblichen auf einfachen Punktkoordinaten basierenden Systeme hinaus: es beinhaltet geographische Objekte in 2,5 D- oder 3D-Geometrie, mobile Objekte sowie virtuelle Objekte, die als Ankerpunkte zu Information in bestehenden Informationsräumen liefern. Durch die Integration von Sensorinformation entsteht ein *hochdynamisches* Modell, das sich kontinuierlich Änderungen in der Realwelt anpasst.

Die Kosten für die Verwaltung eines globalen Umgebungsmodells sind natürlich enorm. Voraussetzung für ein solches Modell ist daher die Amortisation dieser Kosten über eine Vielzahl von Anwendungen. Das Umgebungsmodell muss also möglichst *generisch* sein, um ein breites Spektrum von Anwendungen unterstützen zu können. Anwendungen definieren dann anwendungsspezifische Modellsichten, selektieren also relevante Objekte und Kontextattribute. Darüber hinaus müssen geeignete *Erweiterungskonzepte* vorgesehen werden, um wachsenden Anforderungen von Anwendungen gerecht werden zu können.

Wissenschaftliche Herausforderungen

Mit der Realisierung der im vorigen Kapitel beschriebenen Vision sind eine Reihe interessanter wissenschaftlicher Probleme verbunden, deren Lösung einen interdisziplinären Forschungsansatz erfordern. Im Jahr 2000 wurde deshalb an der Universität Stuttgart die DFG-Forschergruppe NEXUS eingerichtet, die sich zum Ziel gesetzt hat, Konzepte und Verfahren zur Unterstützung mobiler, ortsbezogener Anwendungen zu entwickeln (Fritsch 2001). Im Januar 2003 wurde dieses Vorhaben in den interdisziplinären DFG-Sonderforschungsbereich „Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme“ überführt, der mit über 30 Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen an Methoden zur Realisierung und Anwendung globaler föderierter Umgebungsmodelle forscht.

Die Entwicklung globaler Umgebungsmodelle beinhaltet nicht nur Fragen der Modellierung und föderierten Verwaltung von Modellen sondern auch der Kommunikation, der Integration von Sensordaten sowie der Darstellung von Modellinformation. Im Hinblick auf Fragen der Akzeptanz sind überzeugende Sicherheitskonzepte sowie die Berücksichtigung gesellschaftlicher Aspekte von zentraler Bedeutung. Forschungsbedarf sehen wir deshalb insbesondere in den folgenden Bereichen:

- **Modellierungs- und Erweiterungskonzepte**

Wenn kontextbezogene Anwendungen nicht isoliert voneinander, sondern in einer gemeinsamen systemtechnischen und semantischen Umgebung ablaufen sollen, stellt die Modellierung solcher Umgebungsmodelle eine große Herausforderung dar. Es müssen Informationsstrukturen entwickelt werden, die eine gemeinsame Semantik haben, zugleich jedoch für neue Anwendungen und Umgebungsdaten offen sind. Um die unterschiedlichen Bedürfnisse von Anwendungen berücksichtigen zu können, müssen die Daten auch in verschiedenen Detaillierungsstufen bereitgestellt werden. Die Integration heterogener topographischer und topologischer Umgebungsmodelle erfordert ein übergeordnetes räumliches Metamodell.

- **Föderiertes Modellmanagement**

Die Integration heterogener Umgebungsmodelle kann erzielt werden durch Anwendung von Föderierungskonzepten, wodurch Anwendungen eine einheitliche Sicht auf die Daten in Form eines logischen Umgebungsmodells erhalten.

Dazu muss Umgebungsinformation, die potentiell verteilt bei verschiedenen Anbietern gespeichert sein kann, aufgrund ihrer geographischen Relevanz ausgewählt und von Föderationsmechanismen in integrierter Form zur Verfügung gestellt werden. Neben räumlichen Anfragen unterschiedlicher Art kann die Föderationskomponente noch weitere Funktionen unterstützen, wie etwa die multimodale Navigation, die spezielle Aufbereitungen von Daten (z.B. Berechnung dreidimensionaler Sichten) oder die Verwaltung und Beobachtung räumlicher Ereignisse.

- **Integration von Zeitkonzepten**

Die Ergänzung der Umgebungsmodelle um temporale Aspekte stellt eine große Herausforderung dar. Damit lassen sich zeitabhängige Ereignisse definieren, Anfragen hinsichtlich vergangener bzw. prognostizierter Zustände der Realwelt stellen, oder auch Objekte mit zeitabhängigen Werten definieren (Öffnungszeiten, Messwerte, etc.). Der Zeitaspekt muss natürlich auf der Ebene der Modellierung und Anfragesprache berücksichtigt werden und hat außerdem einen starken Einfluss auf die internen Speicher- und Zugriffsstrukturen.

- **Generische Integration von Sensordaten**

Durch die rasch fortschreitende Verbreitung unterschiedlichster Sensorsysteme zur Erfassung von Kontextinformation ist die Integration der gewonnenen Sensordaten ein zentraler Aspekt. Offene Fragen sind hier, welche Sensoren geeignet sind, entsprechende Kontextinformationen für das Umgebungsmodell mit möglichst wenig Redundanz zu liefern. Aufgrund der riesigen anfallenden Datenmenge sind insbesondere Ansätze zur automatischen Integration von Sensordaten von großem Interesse.

- **Konsistenzkonzepte**

Fragen der Konsistenz spielen auf unterschiedlichen Ebenen eine zentrale Rolle. Beispielsweise können Sensorsysteme widersprüchliche Kontextinformation erfassen, die durch geeignete Verfahren vor der Übernahme in das Umgebungsmodell in Übereinstimmung gebracht werden muss. Darüber hinaus können Inkonsistenzen zwischen mehrfachen Repräsentationen desselben Realweltobjekts existieren, welche auf der Ebene der Föderation zu behandeln sind. Schließlich können Inkonsistenzen von Umgebungsmodellen mit der Realwelt selbst auftreten, deren Häufigkeit von der Qualität und Vollständigkeit der sensorisch erfassten Information abhängt. Zu entwickeln sind daher geeignete Konsistenzkonzepte und Methoden der Konsistenzwahrung in räumlichen Modellen.

- **Modellbasierte Kommunikation**

Die Existenz globaler Umgebungsmodelle ermöglicht innovative Kommunikationskonzepte, die es zu erforschen gilt. Möglich wird beispielsweise ein feingranulares Geocast-Konzept für die Kommunikation von Nachrichten an Empfänger in einer bestimmten räumlichen Zielobjekt, wie etwa einem Gebäude, einem Raum oder dem Speisewagen eines Zugs. Des weitern ergeben sich auf der Grundlage von Umgebungsmodellen verschiedene zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass Caching- und

Hoarding-Verfahren durch die Berücksichtigung von Kontextinformation, insbesondere von Ortsinformation stark profitieren können.

- **Sicherheitskonzepte**

Voraussetzung für die breite Akzeptanz globaler Umgebungsmodelle ist es, die Schutzziele aller Beteiligten in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen. Hierfür werden durch die Verfügbarkeit von Umgebungsmodellen sowohl neue Herausforderungen als auch neuartige Sicherheitskonzepte und -mechanismen erwartet. Das Hauptziel der Sicherheitsforschung sollte aus Gründen der Akzeptanz auf dem Schutz der Privatsphäre der Benutzer liegen. Der Entwurf von Sicherheitsmechanismen benötigt eine genaue Untersuchung der Schutzziele aller Beteiligten und deren Spezifikation in definierten Sicherheitsrichtlinien. Dies erfordert einerseits eine vorsichtige Abwägung des durch sie gewonnenen Nutzens gegenüber den durch sie verursachten Kosten.

- **Automatisches Erfassen von Modelldaten**

Detaillierte räumliche Umgebungsmodelle sind in großem Umfang nur dann möglich, wenn die erforderlichen Modelldaten automatisch erfasst und die räumlichen Modelle automatisch aufgebaut werden können. Gesucht sind daher Verfahren, die geeignet sind, räumliche Modelle initial zu generieren bzw. Modelle bei Änderungen in der Realwelt automatisch nachzuführen. Solche Verfahren müssen den räumlichen und semantischen Kontext von Innen- bzw. Außenräumen berücksichtigen.

- **Methoden der Modellpräsentation und -interaktion**

Adaptivität der Darstellung und Interaktion mit Umgebungsmodellen ist eine Forschungsaufgabe, die sowohl von der dynamischen Entwicklung der Endgerätetechnologie als auch durch Anforderungen der sich ständig erweiternden Benutzerprofile getrieben wird. Hier müssen neue Programmierschnittstellen, neue Algorithmen für Transport und Aufbereitung der darzustellenden Daten und neue Interaktionsmetaphern untersucht werden. Im Hinblick auf die sehr begrenzte Darstellungsfläche bei mobilen Geräten müssen Methoden der Simplifizierung geometrischer Modelle, der semantischen Analyse von Objekten des Umgebungsmodells und der Generierung und Suche von Ersatzdarstellungen untersucht werden.

- **Berücksichtigung gesellschaftlicher Aspekte**

Schließlich sind auch Fragen der Akzeptabilität der durch die auf den Umgebungsmodellen basierenden Anwendungen veränderten Welt- und Selbstverhältnisse der Nutzer (Wirklichkeitserfahrung, Kompetenzentwicklung, Sicherheit und Risikomanagement, Kommunikationsstrategien) zu untersuchen. Dies dient der Evaluierung der neuen Technologie und der daraus resultierenden Anwendungen. Darüber hinaus sind neue Anwendungsvisionen zu erschließen und insbesondere unter dem Gesichtspunkt von Vertrauenswürdigkeit, Datenschutz- und Datensicherheitsbedürfnissen mit der gesellschaftlichen Akzeptabilitätsbasis abzugleichen.

Zusammenfassung

Kontextbezogene Anwendungen sind in ihren Anfängen bereits in den ersten Stadien ihrer kommerziellen Nutzung angelangt. Die weiterhin fortschreitende Entwicklung in Bereichen der eingebetteten Systeme und Kommunikationstechnologien wird aber zu weit darüber hinausgehenden Anwendungsfeldern führen. Dieser Beitrag hat neben einer allgemeinen Klassifikation von Kontext, Kontextmodellen und deren Modellierung, die Vision globaler digitaler Weltmodelle als Basis kontextbezogener Anwendungen vorgestellt. Insbesondere existieren noch keine abschließenden Erkenntnisse in vielen, relevanten Bereichen, wie der Modellierung, Sicherheit, Konsistenz und der Modellrepräsentation. Weitere Forschungsfragen ergeben sich aus der Anwendung solcher digitalen Weltmodelle. Neben neuen Kommunikationsparadigmen, wie dem Geocast, und neuartigen kontextbezogenen Anwendungen ergeben sich aber auch Fragestellungen nach der gesellschaftlichen Akzeptabilität. Die Breite an wissenschaftlichen Fragestellungen erfordert einen interdisziplinären Ansatz, wie er in dem Sonderforschungsbereich „Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme“ an der Universität Stuttgart verfolgt wird.

Literatur

- Abowd GD, Atkeson CG, Hong J, Long S, Kooper R, Pinkerton M (1997) Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. *Wireless Networks* 3(5): 421-433
- Baus J, Krüger A, Wahlster W (2002) A resource-adaptive mobile navigation system. In: *Proceedings of International Conference on Intelligent User Interfaces*, San Francisco, ACM Press, pp 15-22
- Chen G, Kotz D (2000) A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research. Dartmouth Computer Science Technical Report TR2000-381, Dartmouth College
- Davies N, Cheverst K, Friday A, Mitchell K (2002) Future wireless applications for a networked city: Services for visitors and residents. *IEEE Wireless Communications*: 8-16
- Dey AK, Abowd GD (1999) Towards a better understanding of context and context-awareness. Georgia Tech GVU Technical Report, GIT-GVU-99-22
- Fritsch D (Hrsg) (2001) *GeoBIT/GIS Geo-Informationen-Systeme* 6, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg
- Harter A, Hopper A, Steggles P, Ward A, Webster P (1999) The anatomy of a context-aware application. In: *Proceedings of the fifth annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Seattle, WA, ACM Press, pp 59-68
- Hohl F, Kubach U, Leonhardi A, Rothermel K, Schwehm M (1999) Next Century Challenges: Nexus - An Open Global Infrastructure for Spatial-Aware Applications. In *Proceedings of the fifth annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Seattle, Washington, USA, ACM Press, pp. 249-255
- Kortuem G, Segall Z, Bauer M (1998) Context-aware, adaptive wearable computers as remote interfaces to 'intelligent' environments. In: *Proceedings of the second International Symposium on Wearable Computers*, Pittsburgh, PA, pp 58-65

- Leonhardi A, Kubach U, Rothermel K (1999) Virtual Information Towers – A metaphor for intuitive, location-aware information access in a mobile environment. In: Proceedings of the third International Symposium on Wearable Computers, San Francisco, CA, pp 15-20
- Long S, Kooper R, Abowd GD, Atkeson CG (1996) Rapid prototyping of mobile context-aware applications: the Cyberguide case study. In: Proceedings of the second annual International Conference on Mobile Computing and Networking, White Plains, NY, ACM Press, pp 97-107
- Marmasse N, Schmandt C (2000) Location-aware information delivery with commotion. In: Proceedings of the second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC), Bristol, UK, Springer Verlag, pp 157-171
- Pascoe J (1997) The stick-e note architecture: Extending the interface beyond the user. In: Proceedings of the 1997 International Conference on Intelligent User Interfaces, pp. 261-264
- Mitchell K (2002) A Survey of Context-Awareness. Internal Technical Report.
<http://www.comp.lancs.ac.uk/~km/papers/ContextAwarenessSurvey.pdf>
- Schilit B, Adams N, Want R (1994) Context-aware computing applications. In: Proceedings of the first International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 85-90
- Schmidt A, Takaluoma A, Mäntyjärvi J (2000) Context-aware telephony over WAP. In: Personal Technologies 4 (4): 225-229
- Want R, Hopper A, Falcao V, Gibbons J (1992) The Active Badge Location System. ACM Transactions on Information Systems, 10(1): 91-102