

REAL: Ein ressourcenadaptierendes mobiles Navigationssystem

Wolfgang Wahlster^{1,2}, Jörg Baus¹, Christian Kray², und Antonio Krüger¹

¹ Fachrichtung Informatik, Universität des Saarlandes, D-66041 Saarbrücken, (e-mail: {baus, krueger}@cs.uni-sb.de)

² DFKI GmbH, Stuhlsatzenhausweg 3, D-66123 Saarbrücken, (e-mail: {wahlster, kray}@dfki.de)

July 27, 2001

Zusammenfassung. Die intelligente Ressourcenadaptation ist eine der großen Herausforderungen für die nächste Generation mobiler Navigationssysteme. Da man typischerweise mehrere Fortbewegungsarten oder Verkehrsmittel kombinieren muss, um an einen Zielort zu gelangen, muss sichergestellt werden, dass mobile, allgegenwärtige Navigationshilfen dies über eine jeweils situationsangepasste Benutzerschnittstelle unterstützen. Der notwendige Wechsel zwischen verschiedenen Positionierungstechnologien soll für den Endbenutzer möglichst unbemerkt bleiben. Im folgenden wird ein hybrides Personennavigationssystem vorgestellt, das die in bestimmten Fortbewegungssituationen verfügbaren Positionierungstechnologien und deren Genauigkeit optimal nutzt, um die Präsentation der Wegbeschreibung auf verschiedene Endgeräte und Ausgabemodalitäten sowie die kognitive Ressourcenlage des Benutzers zu adaptieren.

Schlüsselwörter: Mobile Navigationssysteme, Intelligente Benutzerschnittstellen, Ressourcenmanagement, Gebäudenavigation, Lokationssensitivität

Summary. The design of mobile navigation systems adapting to limited resources will be an important future challenge. Since several different means of transportation have typically to be combined in order to reach a destination, it must be ensured that the user interface reacts to the user's changing situation. Especially the alternating use of different technologies to detect the user's position should be as seamless as possible. This article presents a hybrid navigation system that adapts the presentation of route directions to the limited technical resources of the output device and the limited cognitive resources of the user while taking into account varying positional information.

Key words: Mobile navigation systems, intelligent user interfaces, resource management, indoor navigation, location sensitivity

CR Subject Classification:H.5.1, H.5.2, I.2.11, I.3.2.

1 Einleitung und Motivation

In Zukunft wird man sich nicht mehr nur als Autofahrer mithilfe seines persönlichen Navigationssystems leiten lassen, sondern überall und jederzeit Lokalisierungsdienste auf tragbaren Endgeräten in Anspruch nehmen können. Da man typischerweise mehrere Fortbewegungsarten oder Verkehrsmittel kombinieren muss, um an einen Zielort zu gelangen, muss sichergestellt werden, dass mobile, allgegenwärtige Navigationshilfen uns u.a. als Fußgänger, Rad-, Bahn- und Autofahrer über eine jeweils situationsangepasste Benutzerschnittstelle unterstützen.

Bei einem Wechsel der Fortbewegungsart muss sich ein fahrzeugunabhängiger Navigationssdienst nahtlos an die damit verbundenen situativen Randbedingungen anpassen. Der notwendige Wechsel zwischen verschiedenen Positionierungstechnologien wie GPS oder GSM/UMTS-Funkzellen im Freien und Infrarot oder Bluetooth in geschlossenen Räumen, in denen die satelliten- oder funkbasierte Navigation nicht funktioniert, soll für den Endbenutzer möglichst unbemerkt bleiben. Aber auch die Präsentation der Wegbeschreibung muss sich den verschiedensten Endgeräten und Ausgabemodalitäten anpassen können, um die in einer bestimmten Fortbewegungssituation verfügbaren technischen Ressourcen jeweils optimal zu nutzen. Ein mobiles Personennavigationssystem muss sich auch an die sehr unterschiedliche Genauigkeit der Positionierungsinformation anpassen können, da z.B. die Dichte der Funkzellen zwischen einer ländlichen Gegend und einer Großstadt oder die Anzahl von Infrarotsendern in verschiedenen Räumen eines entsprechend instrumentierten Gebäudes stark variieren kann.

Schwieriger als die Adaption an die technischen Ressourcenbeschränkungen wie unterschiedliche Display- und Positionierungstechnologien ist bei mobilen Navigationssystemen die notwendige Adaption an die jeweilige kognitive Ressourcenlage des Benutzers zu bewerkstelligen. Im Zentrum der Arbeiten unseres Projektes REAL (Ressourcenadaptierende Lokalisation) im Sonderforschungsbereich 378 "Ressourcenadaptive kognitive Prozesse" steht daher die Frage: Wie kann sich ein mobi-

les Personennavigationssystem jeweils an die erkannten technischen und kognitiven Ressourcenbeschränkungen seines Benutzers bei der multimodalen Präsentation von Wegbeschreibungen anpassen?

Für die individuelle Ressourcenlage sollen Faktoren wie die Geschwindigkeit, die Ortskenntnis und der Zeitdruck, unter dem der Benutzer steht, berücksichtigt werden. Eine besondere Adaption des Personennavigationssystems ist erforderlich, wenn die Wegsuche nicht die Hauptaufgabe des Benutzers ist, sondern er wichtigere Aufgaben parallel zu erledigen hat (z.B. wichtiges Telefonat im Gehen, schwieriger Transport von Gepäck, Begleitung von unruhigen Kleinkindern). Solche Doppelaufgaben belasten die kognitiven Ressourcen des Benutzers so stark, dass das Navigationssystem sich schon auf der Ebene der Wegsuche an die Ressourcenlage des Benutzers adaptieren sollte. Zum Beispiel vermeidet REAL im Rahmen seiner ressourcenadaptiven Wegsuche bei bekannten Zusatzbelastungen des Benutzers komplexe Abbiegepunkte, an denen man sich leicht verlaufen kann, und nimmt dabei ggf. auch kleinere Umwege in Kauf.

2 Ressourcen- und Lokationssensitivität mobiler Systeme

In unserem Sonderforschungsbereich teilen wir ressourcensensitive Prozesse in drei Klassen ein: ressourcenadaptierte, ressourcenadaptive und ressourcenadaptierende Prozesse [13]. Ressourcenadaptierte Prozesse sind auf feste und bekannte Ressourcenbeschränkungen hin optimiert. Die Qualität ihrer Resultate bleibt bei konstanter Eingabequalität gleich. Ressourcenadaptive und ressourcenadaptierende Prozesse beruhen dagegen auf variablen Ressourcenbeschränkungen. Ihre Ausgabequalität hängt damit von den jeweils verfügbaren Ressourcen ab. Ressourcenadaptive Prozesse verfolgen *eine* Verarbeitungsstrategie, die auf variable Ressourcenbeschränkungen reagiert. In Gegensatz dazu reagieren ressourcenadaptierende Prozesse auf eine Veränderung der Ressourcenlage durch einen metakognitiv gesteuerten Wechsel der Verarbeitungsstrategien. Es werden also unter Umständen mehrere Verarbeitungsstrategien zur Lösung des Problems verwendet. Im System REAL haben wir sowohl ressourcenadaptive als auch ressourcenadaptierende Prozesse zur Generierung von Navigationshilfen realisiert.

Grundsätzlich sind für mobile Systeme zwei Arten der Lokationssensitivität zu unterscheiden:

- aktive Lokationssensitivität: Das mobile System ermittelt seine eigene aktuelle Position. Es selektiert und generiert davon abhängig aktiv die dem Benutzer zu präsentierende lokationsabhängige Information (Beispiel im Auto: GPS-basiertes Navigationssystem).
- passive Lokationssensitivität: Das mobile System präsentiert passiv die von Sendern in seiner aktuellen Umgebung übermittelte lokationsabhängig aufbereitete Information (Beispiel im Auto: RDS-TMC als Verkehrsinformationssystem).

Bei aktiver Lokationssensitivität liegt die Hauptverarbeitungsleistung im mobilen Gerät selbst, was der Adaptionfähigkeit durch die begrenzten technischen Ressourcen (Speicherplatz und Rechenleistung) des Mobilsystems noch engere Grenzen setzt. Dagegen liegt bei der passiven Lokationssensitivität die Hauptverarbeitungsleistung in der instrumentierten Umgebung, während das mobile Gerät sich lediglich situiert verhält, ohne selbst Ressourcen für die Lokationsadaption zu verbrauchen. Vereinfachend kann man festhalten, dass bei aktiver Lokationssensitivität die für die Adaptionleistung benötigte Intelligenz im mobilen Navigationssystem liegt, während sie bei der passiven Lokationssensitivität in der instrumentierten Umgebung liegt. Es bietet sich daher an, in stark frequentierten räumlichen Regionen mit hohen Anforderungen an die Adaptionleistung passive Lokationssensitivität zu präferieren, während in wenig frequentierten räumlichen Umgebungen mit geringeren Anforderungen an die Adaptionleistung eine aktive Lokationssensitivität vorzuziehen ist.

Im Projekt REAL haben wir erstmals ein Personennavigationssystem entwickelt, das aktive und passive Lokationssensitivität ressourcenadaptiv kombinieren kann, ohne dass der Endbenutzer den Wechsel des Adaptionparadigmas bemerkt. REAL integriert zwei Teilsysteme: das System IRREAL (Infrarot REAL) für die mobile Navigation in Innenräumen, die mit Infrarotsendern instrumentiert sind, und das System ARREAL (Augmented Reality REAL), das im Freien mithilfe von GPS Navigationshilfe leistet. IRREAL basiert auf passiver und ARREAL auf aktiver Lokationssensitivität.

Wie ein Vergleich von MOBIS [4] und IRREAL zeigt, kann in vielen Fällen die gleiche Technologie (in beiden Fällen Infrarotsender in der Umgebung und Infrarotempfänger auf einem Palm Pilot) für die gleiche Aufgabe (z.B. Navigation in Messehalle) für aktive (MOBIS) oder passive (IRREAL) Lokationssensitivität verwendet werden.

Die Architektur der entwickelten Navigationshilfe ist in Abbildung 1 dargestellt. Auf der Eingabebene wird aus der Anfrage des Benutzers unter Berücksichtigung seiner Ressourcenbeschränkungen und der gewünschten Wegeigenschaften eine benutzerspezifische Anfrage erzeugt. Anschließend wird vom Modul für ressourcenadaptive Wegsuche unter Zugriff auf ein Benutzermodell und das Domänenwissen ein für diese Anfrage optimierter Weg gesucht. Die Planung der Wegpräsentation erfolgt ressourcenadaptierend unter Berücksichtigung der verschiedenen Ressourcen, wie zum Beispiel der Bildschirmgröße und Farbfähigkeit der verwendeten Geräte, sowie der Qualität der vorhanden Sensordaten bezüglich Position, Orientierung und Geschwindigkeit. Bei der medienunabhängigen Präsentationsplanung werden in einem ersten Schritt durch Zugriff auf die Datenbasis des Domänenwissen die zur Visualisierung benötigten 3D-Modelle des jeweiligen Wegsegments extrahiert. Hier findet auch die Verbreitung der Sensordaten statt, deren Qualität bezüglich der Genauigkeit der Position, Orientierung und Geschwindigkeit des Benutzers die Granularität des zu verwendenden Ausschnitts des 3D-Modells bestimmt [1]. Auf der Basis dieser Ausschnitte des 3D-

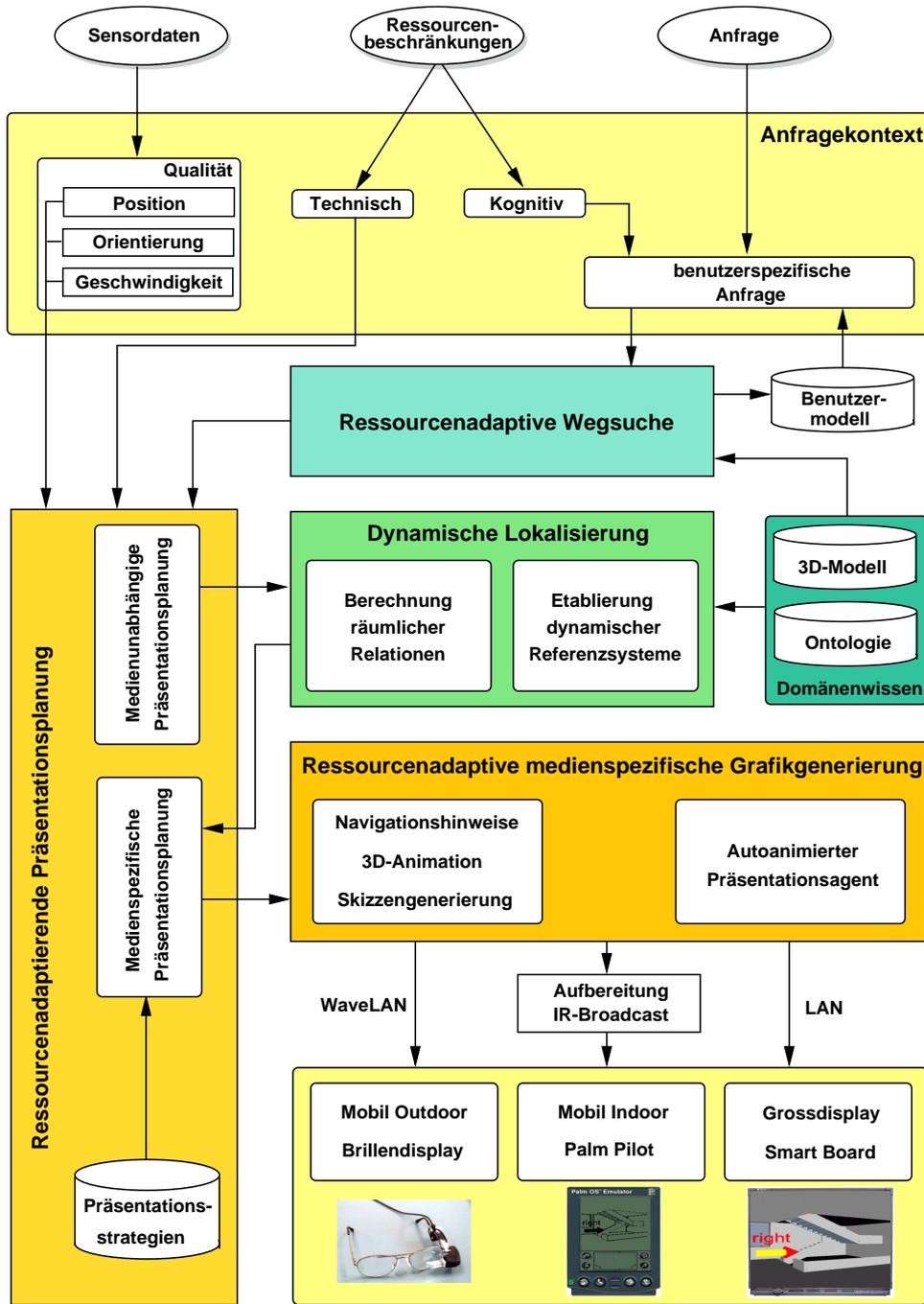


Abb. 1. Die Systemarchitektur der hybriden Personennavigationshilfe.

Modells können die zur Beschreibung des Weges benötigten räumlichen Relationen berechnet werden, wobei Ergebnisse aus experimentellen Studien zur räumlichen Referenz [12, 16] berücksichtigt werden. Diese im ersten Schritt gewonnene Information wird der medien-spezifischen Präsentationsplanung zur Verfügung gestellt, die dann unter Zuhilfenahme verschiedener Präsentationsstrategien die Präsentation für die verschiedenen Ausgabegeräte plant. Der gewählte Ansatz ermöglicht die Präsentationsgenerierung für verschiedene Ausgabemedien durch einen zentralen Präsentationsserver. Die erzeugten Präsentationen können sowohl auf Großbildschirmen,

wie auch auf mobilen Geräten oder einem Brillendisplay ausgegeben werden, so dass die Graphikgenerierung als ressourcenadaptiv klassifiziert werden kann.

Eine große Vielfalt von Ressourcenbeschränkungen wird dadurch abgedeckt, dass der Benutzer zusätzlich stationär an einem Informationskiosk (Smart Board) informiert wird. Stationärer und mobiler Teil (Palm Pilot, Brillendisplay) bilden eine hybride ressourcenadaptierende Navigationshilfe, die über die verschiedenen Ausgabemodalitäten hinweg konsistente Navigationshinweise generiert [8, 1].

3 Verwandte Arbeiten

Eines der ersten Projekte, das sich mit der Entwicklung eines lokationssensitiven Touristenführers beschäftigte, war das CYBERGUIDE Projekt [9]. CYBERGUIDE bietet Touristen Information in Abhängigkeit von ihrer Position und Orientierung an. Dabei wurden sowohl ein Indoor- als auch ein Outdoor-System mit aktiver Lokationssensitivität entwickelt. Das Indoor-Navigationsystem arbeitet mit Infrarotbaken, die ein festes Identifikationsmuster aussenden. Diese Information wird dazu benutzt einen Pfeil auf eine Karte einzublenden, wenn der Benutzer einen neuen Raum betritt. Die Orientierung des Benutzers wird aufgrund seiner vorhergegangenen Position geschätzt und ebenfalls in die Karte eingezeichnet. Das Outdoor-System benutzt GPS, um die Position des Benutzers zu bestimmen und in die Karte einzutragen. Beide Systeme arbeiten unabhängig voneinander und sind nicht direkt miteinander kombinierbar. Das MARS-System [6] ist ein Augmented Reality System, das dem Benutzer lokationssensitive Information zu Gebäuden in seiner Umgebung anbietet. Darüberhinaus können mithilfe des Systems Benutzer innerhalb und außerhalb von Gebäuden gemeinsame Wegrouten planen.

Das GUIDE-System realisiert einen lokationssensitiven, multimedialen Führer für die Stadt Lancaster [3]. Das System benutzt eine auf Funkzellen basierte Kommunikationsinfrastruktur zur Übermittlung von Information. Dabei wird die dem Benutzer angebotene Information auf dessen persönlichen Kontext, sowie den Kontext der Umgebung angepasst. Die von den Endgeräten empfangene Positionsinformation wird von an exponierten Stellen aufgestellten Basistationen ausgesandt und dazu genutzt, die Ausgabe des Endgerätes entsprechend anzupassen. In [7] wird eine Architektur für die mobile Nutzung von Handhelds beschrieben. In Gebäuden nutzen sie festinstallierte Infrarotsender, die Positionsinformation, sowie ein festes Identifikationsmuster aussenden. Zur Kommunikation mit dem Gerät wird ein Funknetz benutzt. Das System unterstützt z.B. die Positionsüberwachung in Einkaufszentren, um Eltern zu helfen, ihre Kinder wiederzufinden. Im Projekt DEEP MAP [10] des European Media Lab (EML) wird an der Entwicklung eines mobilen Touristenführers mit multimodaler Ein- und Ausgabe für die Stadt Heidelberg gearbeitet. Der Prototyp bietet dem Benutzer Information in Form von Graphiken und gesprochener Sprache. Dabei werden die aktuelle Position des Benutzers und dessen persönliche Präferenzen dazu benutzt, um die Informationspräsentation auf den Benutzer und seine aktuelle Umgebung anzupassen. Da die Position des Benutzers durch GPS ermittelt wird, kann das System derzeit nur ausserhalb von Gebäuden eingesetzt werden. Am IGD Rostock wurde mit dem mobilen Besucherinformationssystem MOBIS [4] ein umgebungsgesteuerter Assistent entwickelt, der den Besucher selbstständig durch eine Ausstellung leiten kann und Information zu den Exponaten vermittelt. Die von festinstallierten Infrarotbaken ausgestrahlte Information wird dazu benutzt, um auf die entsprechenden Einträge in der Datenbank des mobilen Gerätes zuzugreifen. Ein ähnliche Zielsetzung ver-

folgt das HIPS-System[11], welches allerdings mit einem Funkrückkanal und mobilen Rechnern mit höherer Leistung arbeitet, so dass auch anspruchsvolle Animationen verwendet werden. Eine Besonderheit von HIPS ist dabei die Adaption der Präsentation in Abhängigkeit des relativen Abstands zu einer Landmarke.

Das an der Universität Stuttgart betriebene NEXUS Projekt[5] zielt auf die Entwicklung einer Plattform für lokationssensitive Dienste, die beliebigen Anwendungen Zugriff auf ein Modell der Welt bietet. Dieses Modell enthält Objekte wie Gebäude, Straßen oder mobile Benutzer, die mit Informationen angereichert oder mit bestehenden Informationsdiensten, z.B. dem WWW, verknüpft werden können. Dies geschieht z.B. durch virtuelle Litfaßsäulen, die reale Orte mit zusätzlicher Information anreichern.

Alle an dieser Stelle besprochenen Arbeiten sind auf eine bestimmte technische Plattform angepasst. Dabei muss entweder mobile Rechenleistung verfügbar sein (z.B. bei DEEP MAP) oder aber auf eine große Datenbank zurückgegriffen werden, die entweder lokal gespeichert wird (MOBIS) oder über eine Netzwerkverbindung verfügbar ist (NEXUS, HIPS). Diese Konzeption verhindert eine Verlagerung der Rechenleistung in die Umgebung, auch wenn diese entsprechend instrumentarisiert ist. Ein weiterer Nachteil der genannten Systeme ist die geringe Anpassung an kognitive Ressourcenbeschränkungen des Benutzers, die entstehen, wenn der Benutzer in Eile oder durch eine Doppelaufgabe zusätzlich belastet ist. Darüberhinaus bietet keines der Systeme, die Möglichkeit nahtlos zwischen einer Indoor- und Outdoor-Navigation und aktiver sowie passiver Lokationssensitivität zu wechseln.

4 REAL als ressourcenadaptierendes Personennavigationssystem

Navigationssysteme im automobilen Sektor haben schon jetzt eine recht große Verbreitung gefunden und stoßen bei den meisten Benutzern auf Akzeptanz. Dies hängt im wesentlichen mit der klar definierten Aufgabe zusammen, die zu erfüllen ist, nämlich der visuellen und verbalen Beschreibung des Weges. Das Auto bewegt sich dabei meistens im Freien, erhält also in der Regel verlässliche GPS-Daten, die mithilfe von Geschwindigkeitsmessung und Kompassensatz präzisiert werden. Der Benutzerkontext des Fahrers variiert aufgrund der fixen Sitzposition wenig, seine Aufmerksamkeit ist voll auf die Straße gerichtet. Aufbauend darauf liefert das System inkrementelle, d.h. Wegabschnittsbeschreibungen in visueller und vor allem in akustischer Form.

Im Gegensatz dazu gestaltet sich der Entwurf von Personennavigationssystemen deutlich schwieriger, da der Benutzerkontext viel stärkeren Variationen unterliegt. Dies betrifft einerseits die Sensordaten, die abhängig vom Ort des Benutzers von unterschiedlicher Qualität sein können, und andererseits die Bandbreite der zu unterstützenden Aufgaben. So unterscheidet sich z.B. eine Wegbeschreibung für einen Geschäftsmann, der in höchster Eile zum Bahnhof möchte, in hohem Maße von der



Abb. 2. Leistungsstarke Infrarotsender bilden die Grundlage IRREAL Systems

gleichen Wegbeschreibung für einen Touristen, für den der Bahnhof nur eines unter mehreren touristischen Zielen einer Tour ist.

Diese Systeme sollten sowohl innerhalb als auch außerhalb von Gebäuden funktionsfähig sein. Der Übergang zwischen beiden Gebrauchsformen sollte dabei möglichst nahtlos erfolgen. Die folgenden Abschnitte widmen sich den damit verbundenen Fragestellungen am Beispiel des von uns entworfenen Navigationssystems REAL mit seinen beiden Subkomponenten IRREAL und ARREAL.

4.1 Das Indoor-Navigationssystem IRREAL

Die Navigation innerhalb von Gebäuden wird durch das IRREAL-System abgedeckt, wobei eine einfache, preiswerte Lösung gesucht war, die möglichst viel Intelligenz in die Umgebung verlagert und die Endgeräte möglichst wenig belastet. Bei den Endgeräten fiel die Wahl auf einen Vertreter aus der Klasse der Handhelds (PalmOS-Geräte), die einen vernünftigen Kompromiss aus Gehäuse- und Bildschirmgröße aufweisen. Die Datenübertragung zum Gerät erfolgt per Infrarot, wobei diese Technologie gleichzeitig eine grobe Bestimmung des Ortes und der Blickrichtung liefert. Da in den meisten Handhelds bereits eine Infrarotschnittstelle integriert ist, benötigen diese Endgeräte keinerlei Zusatzhardware, um im IRREAL-System verwendet werden zu können. Die eingebaute Infrarotschnittstelle folgt dem IrDA-Standard, der für bidirektionale Nahverbindungen (maximal 2 Meter) mit entsprechend schwacher Leistung der Sender ausgelegt ist.

Für den Einsatz in Gebäuden, bei dem Sender an der Decke oder hoch an Pfeilern befestigt werden müssen,

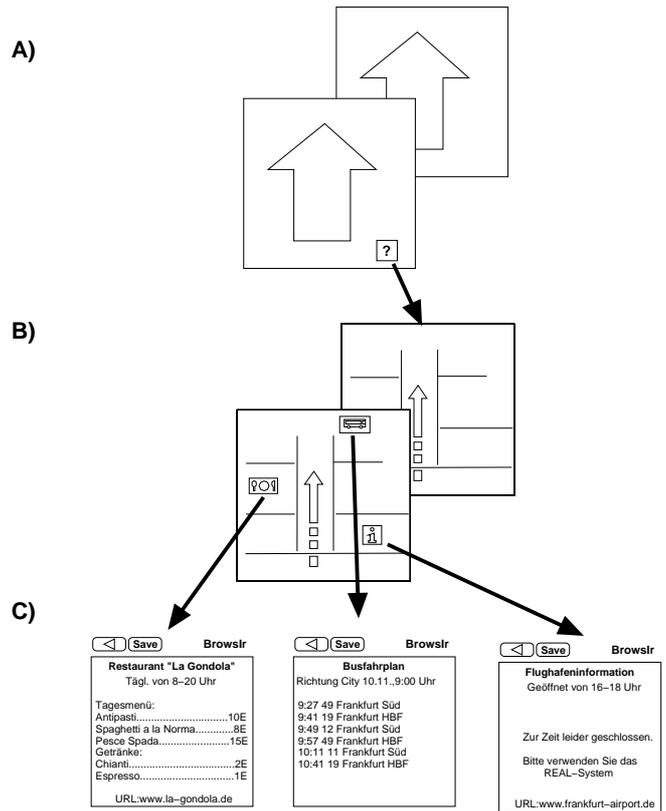


Abb. 3. Ansicht eines IRREAL-Präsentationsgraphen.

kommt diese Art der Kommunikation aufgrund des großen Abstands nicht in Frage. Um dieses Problem zu lösen, wurden für IRREAL leistungsstarke Sender entwickelt (siehe Abbildung 2), die bis zu 20 Meter überbrücken können [2]. Ein Server versorgt die Sender ständig mit Information, so dass auch zeitabhängige Daten (z.B. Busabfahrtszeiten) zur richtigen Zeit am richtigen Ort vorliegen. Der weite Weg zwischen Sender und Empfänger machte ein spezielles Übertragungsprotokoll erforderlich, das den unidirektionalen Datentransfer von den Sendern zu den Handhelds ermöglicht und einen Rückkanal überflüssig macht. Dies unterscheidet das IRREAL-System erheblich von ähnlichen bisherigen Ansätzen, in denen durch Spezial- oder Zusatzhardware bidirektionale Verbindungen realisiert wurden (vgl. [14] und [15]). Die von IRREAL verwendete Push-Technologie ähnelt der Videotext-Technologie, die auch ohne Rückkanal auskommen muss und alle Daten ständig in Zyklen aussendet. Im Gegensatz zum Videotext versendet das IRREAL-System allerdings interaktive Texte und Grafiken in Form eines Präsentationsgraphen. Dies ermöglicht dem Benutzer die Interaktion mit der Präsentation, obwohl ein Rückkanal nicht besteht. Abbildung 3 zeigt den Teilgraphen einer inkrementellen Wegbeschreibung. Die Pfeile in der Abbildung verdeutlichen die Benutzerinteraktionsmöglichkeiten. Die Überlappungen der Teilansichten in der Abbildung repräsentieren zeitliche Veränderungen der Präsentation, die von Benutzerinteraktionen unabhängig sind. Die Präsentation selbst besteht dabei aus einzelnen Knoten, die sowohl Graphiken als auch Texte

enthalten können. Innerhalb der Knoten lassen sich interaktive Bereiche definieren, sogenannte Hotspots, die dann wiederum zu neuen Knoten führen. Da die gesamte Information eines Senders ständig zyklisch ausgesendet werden muss, wurde ein neuartiges Protokoll entwickelt, das große Wartezeiten verhindert. Statt jeden Knoten gleich häufig auszusenden, werden wichtige Knoten häufiger ausgesendet als weniger wichtige. Wird davon ausgegangen, dass jedes Element der i -ten Präsentationsebene eine identische Ausstrahlwahrscheinlichkeiten w_i besitzt, so lässt sich dieses folgendermaßen bestimmen: zunächst wird das *absolute Gewicht* der Präsentationselemente der i -ten Ebene w'_i in Abhängigkeit eines geeignet gewählten Parameters c ermittelt:

$$w'_i = \frac{1}{c^{i+1}}, c \geq 1$$

Dieses absolute Gewicht bestimmt die Wichtigkeit des Präsentationselements. Um daraus eine entsprechende Wahrscheinlichkeit zu berechnen, muss noch über die Summe aller absoluten Gewichte normiert werden, wobei n_i die Anzahl der Präsentationselemente der i -ten Ebene bezeichnet.

$$S = \sum_i n_i w'_i, \quad w_i = \frac{w'_i}{S}$$

Dieses Schema bevorteilt insbesondere Knoten an der Wurzel des Präsentationsgraphen. Im Gegensatz dazu werden Knoten, die im terminalen Bereich des Präsentationsgraphen stehen, sehr viel seltener gesendet. Da der Benutzer eine gewisse Zeitspanne benötigt, bis er überhaupt zu diesem Teil der Präsentation gelangen kann, und da das Gerät ständig empfängt, kann so das Nachladen der weniger wichtigen Teile des Präsentationsgraphen hinter der Interaktionszeit des Benutzers mit dem Gerät versteckt werden.

In dem Beispiel aus Abbildung 3 erhält der Benutzer beispielsweise zunächst nur einen Pfeil, der die weitere Gehrichtung anzeigt. Hält sich der Benutzer längere Zeit im Sendebereich auf, so wird diese Ansicht durch einen Hilfefknopf ergänzt (Abbildung 3 A). Wird dieser betätigt, so wird zur besseren Orientierung ein größerer Ausschnitt des Pfadsegments dargestellt (Abbildung 3 B). Wird noch länger gewartet, so verfeinert sich auch diese Darstellung um zusätzlich abrufbare Hintergrundangaben (Abbildung 3 C).

Das beschriebene unidirektionale Übertragungsprotokoll erlaubt so durch die Verteilung von Wahrscheinlichkeiten innerhalb des Präsentationsgraphen eine einfache Berücksichtigung der Benutzergeschwindigkeit. Denn hält sich der Benutzer nur kurz im Bereich eines Senders auf, so erhält er in der Regel nur Information mit hoher Priorität. Dabei könnte es sich z.B. um eine knappe graphische Wegbeschreibung handeln. Bei Verlängerung des Aufenthalts werden schrittweise komplexere Darstellungen der Umgebung empfangen. Der Benutzer kann also durch Warten an bestimmten Stellen den Detaillierungsgrad der Präsentation und die Möglichkeiten der Interaktion verbessern. Ein Benutzergruppenkonzept erlaubt darüberhinaus, dass bestimmte feste Beschränkungen vom System stets berücksichtigt werden. So kann der

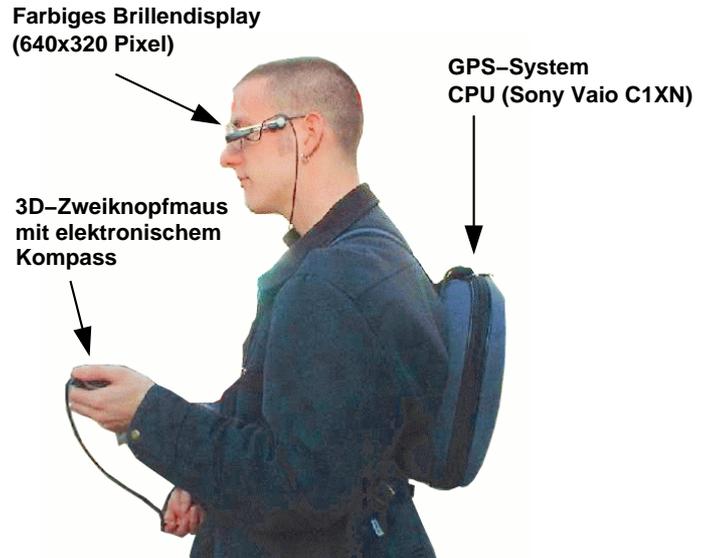


Abb. 4. Die ARREAL Systemkomponenten

Benutzer z.B. zwischen einer detaillierteren und einer abstrakteren Beschreibung wählen, die jeweils einer Benutzergruppe entsprechen. Der Handheld filtert dann aus dem Datenstrom nur die Pakete heraus, die für die aktuelle Benutzergruppe bestimmt sind. Technisch gelöst wird das Benutzergruppenkonzept durch spezielle Hotspots, die mit einer Benutzergruppe assoziiert sind und durch Anklicken einen Benutzergruppenwechsel veranlassen. Da alle gesendeten Informationspakete mit den für sie gültigen Benutzergruppen markiert sind, ist es dem mobilen Gerät nun möglich die entsprechenden Informationen herauszufiltern. Dies bedeutet, dass für verschiedene Benutzergruppen jeweils Teile des Präsentationsgraphen unterschiedlich gestaltet werden müssen. Je nach Anwendung kann es sich dabei nur um einzelne Teile oder sogar den gesamten Graphen handeln.

Wechselt der Benutzer zwischen zwei Sendebereichen, so wird dies vom Gerät erkannt. Im neuen Sendebereich wird dann auf den obersten Knoten des Präsentationsgraphen gewartet und dessen Inhalt schließlich visualisiert. Dies kann zu inkohärenten Präsentationen führen, wenn z.B. an einem Sender detaillierte Information zur Umgebung (z.B. in Textform) abgerufen wird und nach einem Senderwechsel nach 10 Metern plötzlich wieder abstrakte Übersichtsinformation angezeigt wird (z.B. in Form eines Kartenausschnitts). Um dieses Problem zu lösen, müssen die Präsentationsgraphen über alle Sender hinweg eine ähnliche logische Struktur aufweisen. Dies wird in REAL durch eine zentrale Planungskomponente gewährleistet (siehe Abbildung 1), die zuerst die senderübergreifende logische Struktur und die Interaktionsmöglichkeiten plant und dann diese Struktur senderspezifisch mit Inhalt (Texten und Graphiken) füllt. Außerdem können mithilfe des Benutzergruppenkonzeptes Präsentationsebenen senderübergreifend definiert werden. Sind z.B. die Übersichtsdarstellungen bei jedem Sender mit einer bestimmten Benutzergruppe kodiert und die Detaildarstellungen mit einer anderen, so bleibt beim Senderwechsel die Visualisierung auf der

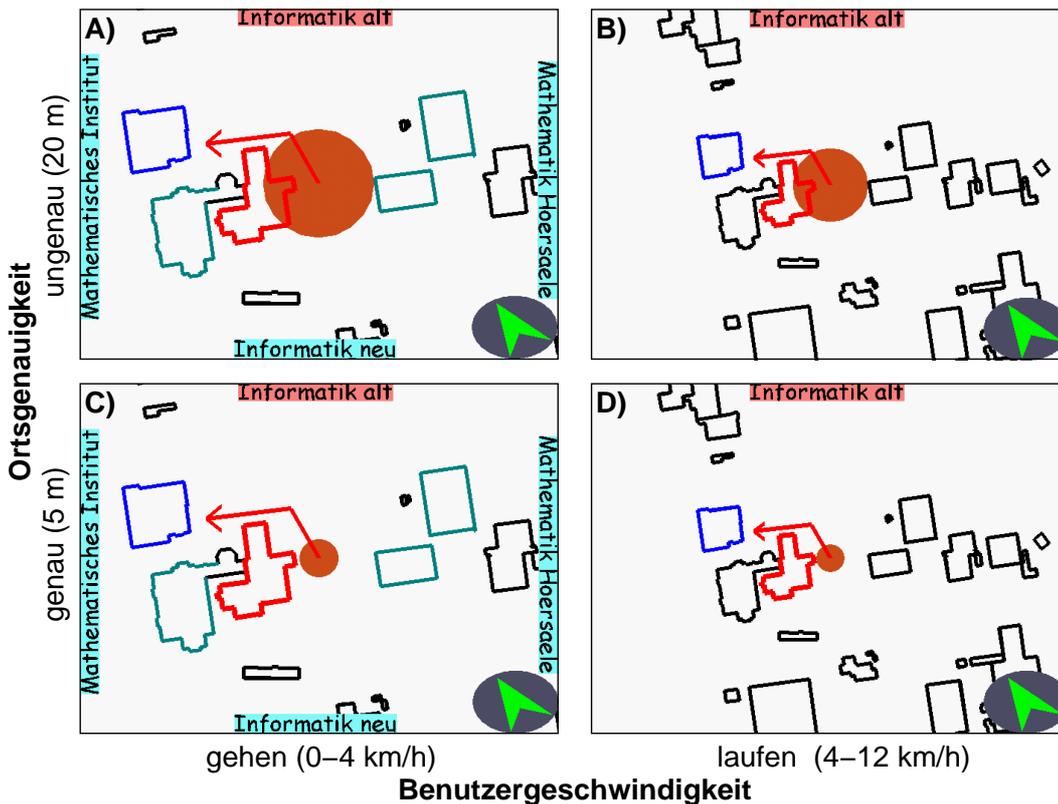


Abb. 5. Anpassung der Graphikausgabe an die Ressourcen Benutzergeschwindigkeit und Ortsgenauigkeit

gleichen Ebene, d.h. entweder in der Übersichts- oder in der Detaildarstellung. Damit ist die Kohärenz der Präsentation gewährleistet.

4.2 Das Outdoor-Navigationssystem ARREAL

Im Teilprojekt ARREAL wird an der Entwicklung eines Navigationssystem für Fußgänger gearbeitet, die sich im Freien bewegen. Dies stellt besondere Anforderungen an die verwendete Hardware, damit ein solches System akzeptiert wird. Alle Komponenten des Systems sollten möglichst leicht, klein und unauffällig sein.

Die Hardware des ARREAL-Systems setzt sich aus vier Komponenten zusammen. Kernstück ist ein Subnotebook (Sony Vaio C1XN), auf dem alle relevanten Berechnungen durchgeführt werden. Die Benutzerposition wird von einem handelsüblichen GPS-Handgerät (Garmin eTrax Summit) und einem magnetischen Tracker (CyberTrack II von General Reality) bestimmt, die mit der Zentraleinheit über ein serielles Kabel verbunden sind. Graphische und textuelle Systemausgaben werden dem Benutzer über ein spezielles Brillendisplay (von MicroOptical Corp.) präsentiert. Der magnetische Tracker wird dabei entweder in der Hand getragen, oder am Gürtel befestigt. Zwei zusätzlich angebrachte Tasten auf der Geräteoberseite des Trackers erlauben die Interaktion mit dem System analog zu einer Zweiknopf-Maus. Die Auswertung der Orientierung kombiniert mit einer Eingabemöglichkeit erlaubt den optionalen Einsatz des Geräts als 3D-Zeigeeinheit. So kann der Benutzer z.B.

durch Zeigen auf ein Gebäude weiterführende Information abrufen.

Wie in Abbildung 4 zu sehen, wird die Zentraleinheit in einem kleinen Rucksack verstaut, wobei der Platz trotzdem noch zur Aufbewahrung persönlicher Gegenstände ausreicht.

Das kleine Display des Clip-On (640x320 Pixel) erlaubt nur die Darstellung relativ einfacher skizzenartiger Graphiken sowohl aus der Vogel- als auch aus der Egoperspektive. Während die Vogelperspektive einen Eindruck darüber vermittelt, wo sich der Benutzer zur Zeit befindet, erlaubt die Egoperspektive eine detailliertere Ansicht, um z.B. auf Gebäude im Sichtbereich des Benutzers Bezug nehmen zu können. Verschiedene Detaillierungsgrade sind dazu vorgesehen. Zum Einen kann der Ausschnitt der Kartendarstellung variiert werden, um so zwischen Überblicks- und Detaildarstellung zu wechseln. Zum Anderen lassen sich textuelle und graphische Annotationen einblenden, wie z.B. Straßen- und Gebäudenamen oder kleinere Abbildungen von Landmarken (siehe Abbildung 5). Navigationshinweise werden mit Hilfe von Pfeilen und einer Darstellung des Gesamtweges visualisiert. ARREAL reagiert auf wechselnde Qualität der Orts- und Orientierungsinformation auf unterschiedliche Art und Weise. Zunächst wird einer der beiden Darstellungsmodi Vogel- bzw. Egoperspektive abhängig von diesen Ressourcen automatisch gewählt. Eine Darstellung in der Egoperspektive ist nur sinnvoll, wenn in ausreichendem Maß sowohl der Ort als auch die Orientierung bekannt ist. Bei unzureichender Qualität findet ein Wechsel in die Vogelperspek-

tive statt. In dieser wird zusätzlich die Genauigkeit der Ortsinformation über die Größe der Markierung der Benutzerposition kodiert. Je ungenauer die Ortsinformation, desto größer wird die Markierung. Desweiteren passt das System seine Ausgabe auch der Benutzer- geschwindigkeit an. Bei höherer Benutzer- geschwindigkeit wird einerseits ein größerer Ausschnitt der Karte gewählt, um einen besseren räumlichen Überblick zu schaffen und andererseits die Gebäudebeschreibungen am Rand verringert und auf wesentliche Informationen reduziert. Da es sich bei den Beschreibungen um interaktive Menüeinträge handelt, werden so Interaktionsmöglichkeiten unterdrückt, die aber aufgrund des situativen Kontextes mit hoher Wahrscheinlichkeit sowieso nicht vom Benutzer in Anspruch genommen worden wären. Die kombinierte Systemreaktion auf Orts- genauigkeit und Benutzer- geschwindigkeit ist in Abbildung 5 zu sehen. So enthält die Teilabbildung 5A) beispielsweise die Systemausgabe bei langsamer Geschwindigkeit und ungenauer Positionierung während Teil- abbildung 5D) die Reaktion auf schnelle Geschwindigkeit und genaue Positionierung zeigt.

4.3 Übergang zwischen IRREAL und ARREAL

Damit ein möglichst nahtloser Übergang zwischen dem System IRREAL (im Gebäude) und ARREAL (im Freien) gelingt, müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein. Zunächst müssen Generierungsprozesse und Daten zwischen beiden Systemvarianten aufeinander abgestimmt sein. Konkret bedeutet dies, dass IRREAL und ARREAL auf eine gemeinsame Wissensbasis von Präsentationstechniken zurückgreifen und auch überlappende Modelle der räumlichen Umgebung verwenden. System- bedingt benutzt IRREAL 3D-Modell- daten der Innenräume der Gebäude in ausreichendem Detaillierungsmaß und ARREAL hingegen eher Kartenmaterial, welches Gebäude als einzelne räumliche Entitäten repräsentiert. Beim Verlassen bzw. beim Betreten eines Gebäudes findet ein Wechsel der Umgebungsrepräsentation statt.

Eine Besonderheit der kombinierten Nutzung von IRREAL und ARREAL ist der nahtlose Wechsel zwischen passiver und aktiver Lokalisationssensitivität (vgl. Abschnitt 2). Werden vom mobilen System Daten über einen Infrarotsender in Gebäuden empfangen, so werden diese Daten entweder auf dem Handheld oder mithilfe des Brillendisplay angezeigt (passive Lokalisationssensitivität). Wie in Abbildung 6 zu sehen, werden dabei die Navigationshinweise und Graphiken in einer dem Medium angepassten Form generiert. Während Daten für das Clip-On in Farbe und mit höherer Auflösung dargestellt werden (Abbildung 6B), muss für den Handheld eine Schwarz/Weiß-Skizze mit niedriger Auflösung berechnet werden (Abbildung 6C). Im Gegenzug kann der Benutzer mit dem Handheld besser interagieren, so dass der Präsentationsgraph für den Handheld wesentlich komplexer sein kann. Die Generierung dieser unterschiedlichen graphischen Präsentationen wird ermöglicht durch die Verwendung eines zentralen Präsentations- servers, der unterschiedliche Ausgabemedien bedienen kann

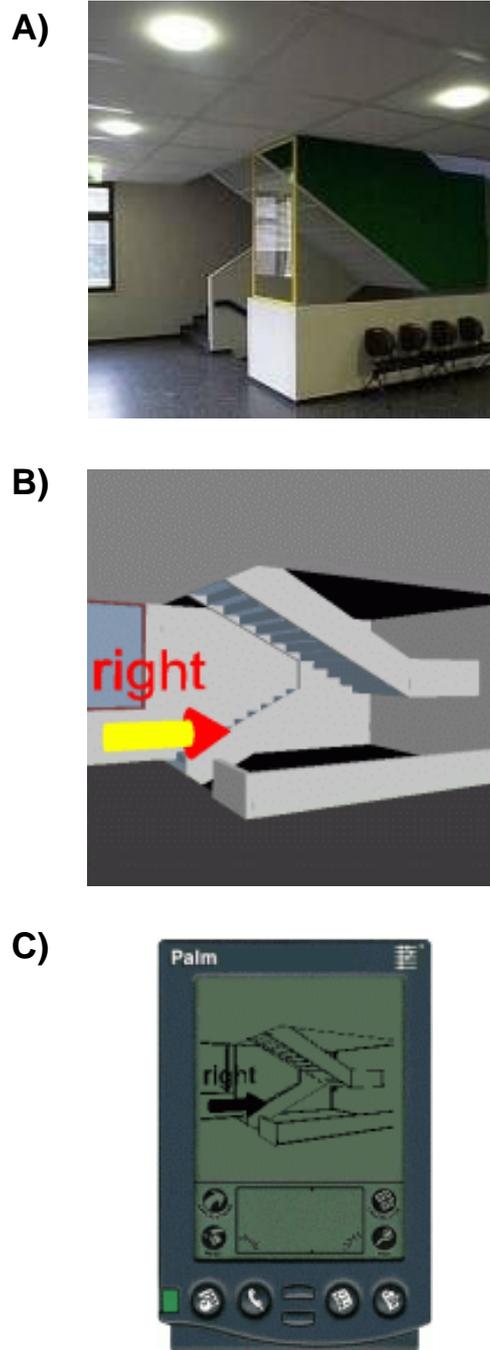


Abb. 6. Graphische Anpassung an unterschiedliche Ausgabemedien

(unter anderem auch das Smart Board als stationärer Informationskiosk).

Verlässt der Benutzer das Gebäude, so wird bei Erkennung der GPS-Satelliten die Position des Benutzers durch das mobile Gerät selbst bestimmt (aktive Lokalisationssensitivität). Systemausgaben erfolgen nun nur noch auf dem Brillendisplay, wie in Abschnitt 4.2 beschrieben. Um Informationen zum Navigationsziel und zu Benutzerparametern zwischen mobilem Gerät und Präsentationsserver auszutauschen, besteht zwischen AR-

REAL und dem Präsentationsserver eine (temporäre) Funkverbindung.

5 Zum Umgang mit unvollständiger Positionsinformation

Eine wichtige Ressource im mobilen Kontext ist die Verfügbarkeit und Qualität von *Positionsinformation*. Darunter verstehen wir nicht nur den aktuellen Ort, sondern die gesamte Information, die zur eindeutigen Positionsbeschreibung des Benutzers im Raum nötig ist. Dieses Konzept umfasst damit neben den aktuellen Koordinaten im Raum auch die Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie Kopfneigung und Blickrichtung des Benutzers. Jede einzelne Positionsinformation kann in unterschiedlicher Qualität (in Bezug auf die jeweilige Aufgabe) vorliegen. Die im Abschnitt 4 beschriebenen Personennavigationssysteme berücksichtigen verschiedene Qualitäten von Positionsinformation schon in einer einfacher Art und Weise (z.B. durch Veränderung der Darstellung bei schlechterer Ortsauflösung). Es stellt sich jedoch die Frage, in welcher Form auf wechselnde Qualität der Positionsinformation grundsätzlich systemseitig reagiert werden kann.

Zur Beantwortung dieser Frage kann auf drei fundamentale Mechanismen zurückgegriffen werden: *Inferenz* über Information zum Benutzer, *Interaktion* mit dem Benutzer und *Kompensation* durch veränderte Informationspräsentation.

In einem mobilen System sind im Allgemeinen eine Vielzahl von Wissensquellen enthalten, um dem Benutzer kontextsensitive Dienste zur Verfügung zu stellen. Diese können z. B. ein Welt- oder Geländemodell, ein Benutzermodell, eine Repräsentation des Benutzerzieles, eine Dialoghistorie sowie ein Positionsgedächtnis umfassen. Mithilfe dort enthaltener Information kann die Qualität der vorhandenen Positionsinformation durch Inferenz verbessert werden. In einem Weltmodell könnten z.B. unzugängliche Bereiche der Benutzerumgebung markiert sein, so dass durch Überlagerung der Menge der mit den Sensordaten konsistenten Positionen die Zahl der in Frage kommenden Kandidaten reduziert werden kann, indem unzugängliche Regionen eliminiert werden.

Falls das Ziel des Benutzers bekannt ist (etwa weil er zuvor um Weginstruktionen zu einem bestimmten Ort gebeten hat), kann dies ebenfalls zur Einengung der möglichen Positionen genutzt werden. Bei Einbeziehung der erwarteten Route zum Ziel verändern sich die Wahrscheinlichkeiten der potentiellen Positionen: Näher an der Route gelegene Kandidaten werden wahrscheinlicher, entferntere unwahrscheinlicher und vom Ziel wegführende erheblich unwahrscheinlicher.

Unterhält das System eine Dialoghistorie, in der die Interaktion mit dem Benutzer protokolliert wird, so bieten sich weitere Anhaltspunkte zur Verfeinerung der Positionsinformation: Objekte, zu denen zuletzt Information angefordert wurde, stehen mit großer Wahrscheinlichkeit in Zusammenhang mit dem Ziel des Benutzers bzw. seinem aktuellen Aufenthaltsort. Ist das

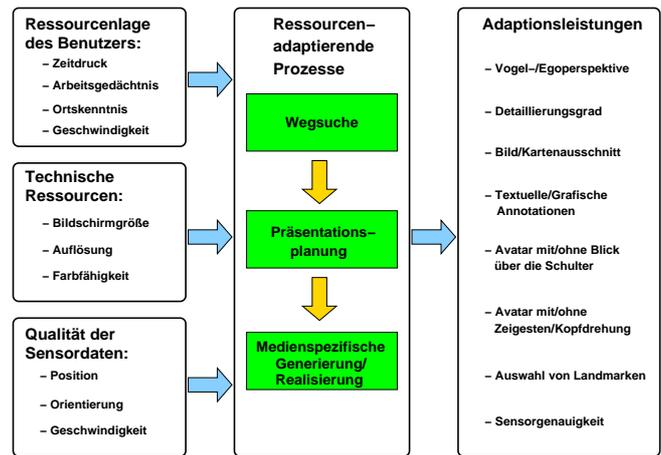


Abb. 7. Typologie der betrachteten Ressourcenbeschränkungen und Adaptionsleistungen

Ziel des Benutzers bekannt, so kann auch der erwartete/vorgeschlagene Weg zur Extrapolation dienen.

Trotz verschiedener Inferenzstrategien kann nicht ausgeschlossen werden, dass Positionsinformation in unzureichender Qualität vorliegt oder fehlt, z.B. wenn die in den Wissensquellen vorhandene Information nicht ausreicht. In diesem Falle besteht immer noch die Möglichkeit, in direkte Interaktion mit dem Benutzer einzutreten, um die fehlende Information zu ermitteln. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Beachtung der im mobilen Kontext häufig auftretenden Einschränkungen der Kommunikationskanäle, beispielsweise kleine Bildschirme, beschränkte Bandbreite, oder geringe Auflösung bei Zeigegesten.

Führen weder Interaktions- noch Inferenzstrategien zu Positionsinformation in der gewünschten Qualität, so muss dies durch Veränderung der Systemausgaben kompensiert werden. Grundsätzlich können dabei verschiedene Strategien angewandt werden. Einerseits kann das System dem Benutzer einen erweiterten Kontext präsentieren, um fehlende Informationen oder geringe Qualität zu kompensieren. Andererseits kann die Granularität der Ausgabe des Systems verringert werden, so dass die Positionsanforderungen sinken, z.B. durch einen größeren Maßstab in der Kartendarstellung oder eine unspezifischere Richtungsangabe, wie dies in REAL schon implementiert wurde.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Projekt REAL des Sonderforschungsbereichs 378 "Ressourcenadaptive kognitive Prozesse" wurde gezeigt, wie eine adaptierende, multimodale Informationspräsentation auf beschränkte Ressourcen abgestimmt werden kann. Dazu wurden die in den Abschnitten 1 bis 4 vorgestellten Techniken vollständig in einem Prototypen implementiert. Die Indoor-Komponente IRREAL wurde in einem mit 16 Infrarotsendern instrumentierten Teil des Informatikgebäudes ausführlich getestet, die Struktur und der Inhalt der Präsentationen wurden dabei automatisch von einem zentralen Präsentationsserver generiert. Zur

Überprüfung der Outdoor-Komponente ARREAL diente das Außengelände der Saarbrücker Universität. Abbildung 7 bietet einen zusammenfassenden Überblick der dabei von Gesamtsystem berücksichtigten Ressourcenbeschränkungen und den daraus resultierenden Adaptionsleistungen.

Eine weitere Besonderheit des entwickelten hybriden Personennavigationssystems ist die ressourcenadaptive Kombination aktiver und passiver Lokationssensitivität, ohne dass der Endbenutzer den Wechsel des Adaptionsparadigmas bemerkt. Dies wurde durch eine zentrale Generierungskomponente gewährleistet.

Zukünftige Verbesserung zielen auf ein Navigationszenario in instrumentierten Umgebungen. Werden bisher nur die Benutzerposition und -geschwindigkeit berücksichtigt, planen wir dann in einem nächsten Schritt die Benutzerinteraktionen mit virtuellen und realen Objekten zur Verbesserung der Adaptionsleistungen mit heranzuziehen. So können die Handlungspläne des Benutzer erkannt und bei der Informationspräsentation berücksichtigt werden.

Weitere Adaptionsmöglichkeiten ergeben sich durch die Berücksichtigung ubiquitärer Benutzermodelle, welche in einer bestimmten räumlichen Situation den Zugriff auf Benutzermodellen aus anderen Kontexten gewährleisten.

Literatur

1. A. Butz, J. Baus, A. Krüger, and M. Lohse. A Hybrid Indoor Navigation System. In *IUI2001: International Conference on Intelligent User Interfaces*, pages 25–33, New York, 2001. ACM.
2. A. Butz and A. Krüger. Orts- und richtungsabhängige Informationspräsentation auf mobilen Geräten. *IT+TI, Oldenburg*, (2):90–96, 2001.
3. K. Cheverst, N. Davies, K. Mitchell, A. Friday, and C. Efstathiou. Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences. In *Proceedings of CHI 2000*, pages 17–24, 2000.
4. J. L. Encarnacao and T. Kirste. Beyond the desktop: Natural interaction and intelligent assistance for the everyday life. In Heinz Nixdorf Museumsforum, editor, *Alltag der Zukunft - Informationstechnik verändert unser Leben*, pages 39–57. Schöningh, Paderborn, München, Wien, Zürich, 2000.
5. F. Hohl, U. Kubach, A. Leonhardi, K. Rothermel, and M. Schwehm. Next century challenges: Nexus - an open global infrastructure for spatial-aware applications. In T. Imielinski and M. Steenstrup, editors, *International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pages 249–255. ACM/IEEE, ACM Press, 1999.
6. T. Höllerer, S. Feiner, T. Terauchi, G. Rashid, and D. Hallaway. Exploring mars: Developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. *Computers and Graphics*, 23(6):779–785, December 1999.
7. C. Johnson and K. Cheng. The Glasgow Context Server: A Wireless System for Location Awareness in Mobile Computing. Technical report, University of Glasgow, 2000.
8. Krüger, J. Baus, and A. Butz. Smart Graphics in Adaptive Way Descriptions. In *Proceedings of the working conference on Advanced Visual Interfaces AVI 2000, May 24-26, 2000, Palermo, ITALY*. ACM press, 2000.
9. S. Long, K. Kooper, G. D. Abowd, and Atkeson C. G. Rapid Prototyping of Mobile Context-Aware Applications: The

Cyberguide Case Study. In *Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pages 97–107, 1996.

10. R. Malaka and A. Zipf. Deep Map - challenging IT research in the framework of a tourist information system. In D. R. Fesenmaier, S. Klein, and D. Buhalis, editors, *Information and communication technologies in tourism 2000*, pages 15–27. Springer, Wien, 2000.
11. E. Not, D. Petrelli, M. Sarini, O. Stock, C. Strapparava, and M. Zancanaro. Hypernavigation in the physical space: Adapting presentations to the user and to the situational context. *The New Review of Hypermedia and Multimedia*, 4:33–45, 1998.
12. W. Wahlster, A. Blocher, J. Baus, E. Stopp, and H. Speiser. Ressourcenadaptierende Objektlokalisierung: Sprachliche Raumbeschreibungen unter Zeitdruck. *Kognitionswissenschaft, Band 7, Heft 3*, pages 111–118, 1998.
13. Wolfgang Wahlster and Werner Tack. SFB 378: Ressourcenadaptive Kognitive Prozesse. In Matthias Jarke, editor, *Informatik '97: Informatik als Innovationsmotor*, pages 51–57, Berlin, 1997. Springer.
14. R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons. The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems*, 10(1):91–102, January 1992.
15. R. Want, B. Schilit, N. Adams, R. Gold, K. Petersen, D. Goldberg, J. Ellis, and M. Weiser. An overview of the ParcTab ubiquitous computing experiment. *IEEE Personal Communications*, pages 28–43, December 1995.
16. H. Zimmer, H. Speiser, and J. Baus. Die Selektion dimensionaler Präpositionen: automatisch und nicht ressourcenadaptierend. *Kognitionswissenschaft (in Druck)*, 2001.

This article was processed by the author using the L^AT_EX style file *cljour2* from Springer-Verlag.