

Fußgängernavigation und Routenplanung in Innenstädten und Gebäuden mit Videos und Panoramen

Thomas H. KOLBE,

Institut für Kartographie und Geoinformation,

Universität Bonn

ZUSAMMENFASSUNG

Die für das Zurechtfinden in ungewohnter Umgebung so wichtigen Erkennungsmerkmale (Landmarks) finden auf stark abstrahierten Kartendarstellungen oftmals keinen Platz. Die Klluft zwischen einer Bildschirmkarte und der realen Szene wie sie sich dem Benutzer präsentiert ist deshalb sehr groß. Dieser Beitrag stellt ein Konzept vor, das Fußgängern die Navigation und Orientierung in Innenstädten und Gebäuden durch den Einsatz von Videos und Panoramanansichten auf PDAs oder Handys erleichtern soll. Videos und Panoramen spielen dabei die Rolle eines visuellen Speichers, der eine realistische und lückenlose Projektion entlang der möglichen Routen und Orte repräsentiert. Videos werden mit Informationen wie Straßennamen und Hausnummern ergänzt und mit Hilfe der Mediensynchronisationssprache SMIL zu komplexen multimedialen Clips integriert. Es wird gezeigt, wie diese Clips auf verschiedene Weise 1) zum virtuellen Abschreiten geplanter Routen, 2) zur freien Navigation zum Zwecke der Exploration und 3) in Verbindung mit Verfahren der Positionsbestimmung als Orientierungshilfe verwendet werden. Darüberhinaus wird eine für die Fußgängernavigation geeignete Modellierung des Wegnetzgraphen vorgestellt, die auch in Verbindung mit anderen Visualisierungsformen verwendbar ist.

1. MOTIVATION UND EINLEITUNG

Die gestiegene Leistungsfähigkeit mobiler Benutzerendgeräte in Bezug auf Rechenleistung, Speicherkapazität und Anzeigequalität erlaubt es heute, digitale Karten auf Handys und PDAs darzustellen sowie Routen und Touren damit zu planen. Während sich Karten gut zur Gewinnung des Überblicks räumlicher Zusammenhänge sowie zur Einordnung der eigenen Position in Städten eignen, tragen sie nur bedingt zur Orientierung in fremden Umgebungen bei.

1.1 Orientierung, Wegsuche und visuelle Erkennungsmerkmale

Die Bildung einer mentalen räumlichen Repräsentation (*cognitive map*) ist für das Zurechtfinden in einem Areal von zentraler Bedeutung, da sowohl die Prozesse der Orientierung als auch der Wegsuche ständig auf diese zurückgreifen (Allen 1999). Umfangreiche Studien (Maguire et. al. 1999; Ruddle et. al. 1998) zeigen, dass insbesondere visuelle Erkennungsmerkmale (*visual landmarks*) eine wesentliche Rolle bei der Bildung mentaler Repräsentationen spielen. Experimente in virtuellen Umgebungen (die sich lt. Maguire et. al. auch auf die Realität übertragen lassen) zeigen, dass die Fähigkeit der erfolgreichen Wegsuche und Navigation signifikant zunimmt, wenn in der betrachteten Szene vertraute oder gefäufige Objekte erkennbar sind, im Gegensatz zu eingefärbten 3D-Objekten mit stark abstrahierter Geometrie.

Um sich den Verlauf einer geplanten Route einzuprägen, orientiert sich der Mensch im wesentlichen mit Hilfe von Bezügen zu lokalen Wegmarken wie z.B. „hinter der Kirche rechts ab“ (Sorrows & Hirtle 1999). Die graphische Darstellung typischer Routenplaner beschränkt sich jedoch oftmals auf die Hervorhebung des Weges in der Kartenansicht. Dem Betrachter wird damit nur wenig Unterstützung zur Bildung einer für die spätere Orientierung besonders geeigneten mentalen Repräsentation geboten. Das Problem verschärft sich bei mobilen Endgeräten noch, da ihre stark begrenzte Auflösung nur Platz für extrem abstrahierte Bildschirrkarten bietet.

Obwohl eine Erhöhung der Prägnanz von Routenbeschreibungen durch räumliche und semantische Abstraktionen (vgl. Corona & Winter 2001) insbesondere in Verbindung mit einer Sprachausgabe erreicht werden kann, besteht weiterhin eine große Klluft zwischen ausgegebenen Beschreibungen und der realen Szene wie sie sich dem Benutzer präsentiert. In dem Projekt Deepmap (Zipf & Malaka 1999) wird neben der Sprachein- und ausgabe die Einbindung multimedialer Inhalte mit räumlichen Bezügen realisiert, die dem Benutzer über die Karte hinaus Bilder, Musik und weitere Hintergrundinformationen bietet. Das Problem hierbei ist, dass Bilder immer nur punktuell vorliegen und eine Auswahl des Systemanbieters darstellen, die nicht unbedingt die vom jeweiligen Nutzer präferierten visuellen Reize („Aufhängungspunkte“) enthalten müssen.

1.2 Virtuelles, realistisches Erfahren von Routen per Video

Welche visuellen Eindrücke für die Bildung von Landmarks herangezogen werden ist individuell sehr verschieden. Neben geschlechtsspezifischen Unterschieden (siehe Maguire et. al. 1999) spielen hier die jeweilige Vor-

prägung und der Kontext der entscheidenden Person sowie die Motivation für die Bewegung im Raum (touristische Erkundung, schnellstmöglicher Weg von A nach B etc.) eine Rolle (Allen 1999). Dies macht es schwierig, eine für alle Personen gleichermaßen geeignete Menge von Landmarks innerhalb des interessierenden Gebietes vorab zu identifizieren. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, dem Benutzer reale Ansichten des betreffenden Gebietes zu zeigen, und damit die Einprägung der räumlichen Situation anhand der für ihn prägnantesten visuellen Wegmarken zu ermöglichen.

Diese Idee liegt auch den bereits 1980 von Lippman vorgestellten Movie-Maps zugrunde, bei dem ein Betrachter an einer Workstation per Joystick durch eine Stadt navigieren kann, und zur Orientierung in regelmäßigen Abständen Fotos der jeweiligen Szene gezeigt bekommt (Lippman 1980). Die Videokompression steckte in dieser Zeit noch in den Kinderschuhen, und so basierte die Visualisierung auf dem Abrufen von Einzelbildern von zwei Videodisc-Abspielern, die aufgrund ihrer langsamen Zugriffszeiten abwechselnd angesprochen werden mussten. Die Attraktivität des Systems war aufgrund der hohen Hardwareanforderungen und der stationären Installation eher gering. Die technologische Entwicklung sowohl der Videokompressionsverfahren als auch der mobilen Endgeräte erlauben heute jedoch den mobilen Einsatz mit PDAs und Handys.

Um dem Wegsuchenden eine flüssige, lückenlose Darstellung der realen Szene zu ermöglichen, wird in diesem Aufsatz ein Konzept zur Visualisierung vorgestellt, das auf dem Einsatz von Videoclips und 360°-Panoramaansichten basiert. Dabei werden alle Wege (in jeweils beiden Richtungen) und Plätze eines Gebietes als Videoclips aufgenommen und mit den jeweiligen Wegkanten des Wegernetzes assoziiert. Unter Verwendung eines Routenplaners wird es möglich, die einzelnen Videoclips entlang eines Weges sequentiell hintereinander darzustellen und Routen somit lückenlos per Videodarstellung in einem Webbrowser, auf einem PDA oder Handy „virtuell abzuschreiten“ mit dem Ziel, einen hohen Wiedererkennungswert der geplanten Route zu erreichen. Studien von Ruddle et. al zeigen, dass das virtuelle Abschreiten von Wegen eine praktikable Methode zum Erwerb der mentalen räumlichen Repräsentation für das betreffende Gebiet ist (vgl. Ruddle et. al. 1998).

1.3 Videoclips als visuelle Speicher

Da sich jede beliebige Position innerhalb eines Videoclips adressieren und anfahren lässt, ist das Abspielen der Clips nicht fest an eine zeitliche Richtung gebunden. Damit entsprechen die Videoclips einem visuellen Datenspeicher. Im Unterschied zu einem Hologramm, welches die visuelle Er-

scheinung eines Objekts an fester Position aus allen Perspektiven beinhaltet, speichern die Wegvideos die visuelle Erscheinung geographischer Orte in fester Perspektive bei variabler Position (entlang einer Linie).

Diese Eigenschaft ermöglicht neben dem Abspielen kompletter Routen auch das (entlang des Wegernetzes) freie Navigieren am Bildschirm. Wie in (Lippman 1980) beschrieben kann der Benutzer das betreffende Gebiet virtuell per Joystick erkunden. Wenn dem Benutzer darüberhinaus ein mobiles Endgerät mit der Möglichkeit der Positions- und Orientierungsbestimmung (z.B. GPS mit elektronischem Kompass) zur Verfügung steht, können die Videoclips als Orientierungshilfe dienen, indem fortlaufend die der geographischen Position entsprechende Stelle in dem der Richtung zugeordneten Videoclip angezeigt wird. Diese ortsynchronisierte Darstellung eignet sich insbesondere als Grundlage für die Visualisierung ortsbezogener Informationen für Location Based Services, die dem Benutzer die unmittelbare Zuordnung der Informationen zu der räumlichen Position ermöglicht.

1.3 Weitere Gliederung des Aufsatzes

Im nächsten Kapitel wird zunächst die für die Fußgängernavigation benötigte Modellierung des Wegernetzes vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Modellierung von Innenstadtbereichen und Gebäudeinnenräumen eingegangen. Kapitel 3 widmet sich den Eigenschaften und der Erfassung der Videoclips und zeigt, wie erstens die Clips mit dem Wegenzitragraphen verbunden und zweitens Videos und räumliche Informationen zu multimedialen Clips integriert werden. In Kapitel 4 werden die für eine Routenplanung in Innenstädten und Gebäuden in Frage kommenden Ziele erläutert und diskutiert, welcher Wegsuchalgorithmus für lokale und Server-gestützte Routenplanung von Vorteil ist. In Kapitel 5 wird die Ergänzung der Modellierung um 360°-Panoramaansichten vorgestellt. Anschließend werden die Möglichkeiten der Nutzung für die Visualisierung ortsbezogener Informationen in Form eines Ausblicks betrachtet und die wesentlichen Aussagen des Aufsatzes noch einmal zusammengefasst.

2. WEGENETZE FÜR DIE FUßGÄNGERNAVIGATION

Obwohl in den letzten Jahren zunehmend Arbeiten zum Thema Fußgängernavigation erschienen sind (u.a. Kemp & Troch 1997, Zipf & Malaka 1999, Corona & Winter 2001, Ladetto et. al. 2001, Legat & Lechner 2001), ist dem Autor bislang kein Aufsatz bekannt, der eine auf Fußgänger zuge-

schnittene Modellierung des Wegernetzes für Stadtgebiete im Detail vorgestellt hätte. Es wird deshalb im folgenden eine Modellierung vorgeschlagen, die sich an dem für Fahrzeugnavigationssysteme geschaffenen ISO-Standard GDF 4.0 (*Geographic Data Files*, siehe GDF 2000) orientiert.

Fußgänger besitzen eine größere Bewegungsfreiheit als Autos oder andere Transportmittel. Sie können Plätze auf einem frei gewählten Kurs überqueren und auf Gelsteinigen an beliebigen Stellen laufen. Dies spricht zunächst für eine Modellierung, die Fußgängerbereiche durch Flächen repräsentiert, innerhalb derer frei navigiert werden kann. Verfahren des *Geometric Route Planning* beziehen die geometrische Ausprägung begehbarer oder befahrbarer Flächen explizit ein (siehe Holmes & Jungert 1992 und Mitchell 2000). Dabei werden optimale Trajektorien für Wege in zusammenhängend frei begehbaren Bereichen gesucht. Geometric Route Planning wird typischerweise dort verwendet, wo geometrische Pfade gegeben benötigt werden, keine expliziten Wege existieren (freies Gelände, Seefahrt usw.) oder diese noch nicht vorliegen oder bekannt sind wie beispielsweise bei der automatischen Kartengenerierung durch mobile Roboter.

Wenngleich die Einfachheit der Ableitung begehbare Flächen aus großmaßstäbigen Karten für das Geometric Route Planning spricht, gibt es dennoch eine Reihe von Gründen, Stadtgebiete und Gebäudeninhaberbereiche durch einen Wegenetzgraphen zu abstrahieren und die Fußgängernavigation auf diesem Graphen durchzuführen:

- Geometric Route Planning ist sehr rechenaufwändig. Dies ist besonders bei mobilen Endgeräten aufgrund ihrer stark beschränkten Rechenleistung problematisch.
- In Innenstädten bewegt man sich auf Straßen und Wegen, die meistens linienhaft entlang von Gebäuden verlaufen. Es kommt bei der zielorientierten Wegsuche nicht darauf an, wo man auf dem Gehsteig entlangzulaufen hat, sondern nur dass er abzuschreiten ist.
- Über begehbare Plätze kann man zwar beliebig laufen, jedoch wenn der Platz nur auf einem längeren Weg liegt, wird man ihn auf direktem Weg überqueren. Somit lassen sich auch die Wege auf und über einen Platz durch Graphkanten abstrahieren.
- Die Ausgabe der Routen soll per Video erfolgen. Die Videoclips filmen eine Bewegung entlang einer Strecke und sind somit bereits eine innenhafte Abstraktion eines Wegabschnitts.

Die Verwendung von Videoclips für die nahtlose Visualisierung von Routen stellt einige zusätzliche Anforderung an die Modellierung des Wegenetzgraphen. Damit sich der Wegenetzgraph neben der Generierung eines Videofilms auch für die Ausgabe traditioneller Bildschirmkarten mit hervorgehobener Route und zur Generierung abstrahierter textueller oder gesprochenener Anweisungen eignet, wird zwischen dem Wegenetzgraphen für die Routenplanung und dem Visualisierungsgraphen unterschieden (Trennung von Modell und Visualisierung). Auf den Aufbau und die Herleitung des Visualisierungsgraphen wird in Kapitel 3 eingegangen.

2.1 Modellierung von Innenstädten

Wie oben bereits erwähnt, orientiert sich die Modellierung des Wegenetzgraphen an dem GDF-Standard. Da dieser auf die Bedürfnisse der Fahrzeugnavigation zugeschnitten ist, fehlen viele für Fußgänger wichtige Elemente wie z.B. Fußgängerbrücken, -unterführungen und -inseln sowie Attribute wie beispielsweise Informationen über minimale Gehsteighöhe und Bordsteinabsenkungen (s. dazu Kemp & Troch 1997). Andererseits berücksichtigt GDF auch einige für Fußgänger interessante Informationen wie beispielsweise die Verteilung der Hausnummern entlang von Straßen und viele verschiedene Arten sogenannter *Points-of-Interest* (GDF 2000).

Analog zu GDF werden Gehwege durch Kanten und Kreuzungen durch Knoten abstrahiert. Plätze werden durch eine Menge von Kanten und Knoten repräsentiert. Abbildung 1 zeigt die Modellierung von Wegen und Plätzen in Fußgängerzonen. Hier werden Wege von einer Kreuzung zur nächsten durch jeweils eine Kante dargestellt. Die Kanten sind ungerichtet; jedoch gibt es jeweils einen Anfangs- und Endpunkt, um die beiden Seiten der Kante eindeutig unterscheiden zu können.

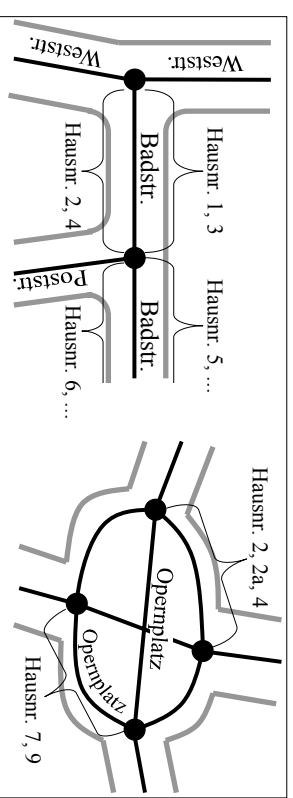


Abb. 1: Modellierung von Fußgängerzonen. Links: einfache Straßen und Wege; rechts: Modellierung von Plätzen.

Plätze in Fußgängerzonen besitzen für jeden in sie mündenden Weg einen Knoten. Jeder Knoten ist mit jedem anderen über eine Kante verbunden, die dem direkten Weg von einer Wegmündung zu der anderen entspricht.

Die Repräsentation befahrener Straßen erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie die in GDF vorgesehene Modellbildung von Straßen mit baulich getrennten Fahrbahnen: die Gehwege der beiden Straßenseiten werden je durch eine eigene Kante repräsentiert (siehe Abb. 2). Dadurch wird es möglich, die Straßenüberquerungen an Kreuzungen und an Zebrastreifen explizit darzustellen und sie auf diese Weise in die Gewichtung für die Routenplanung einbeziehen zu können. Dieses Vorgehen kann zwar zu einer großen Anzahl von Kanten und Knoten führen, es ermöglicht es allerdings, Straßenüberquerungen für jede Kreuzung individuell konfigurieren zu können. In Abb. 2 wird beispielsweise keine Straßenüberquerung der Schlossallee an der Einmündung der unteren Straße modelliert, da es sicherlich empfehlenswerter ist, die Straße an dem nur wenige Meter daneben befindlichen Zebrastreifen zu überqueren.

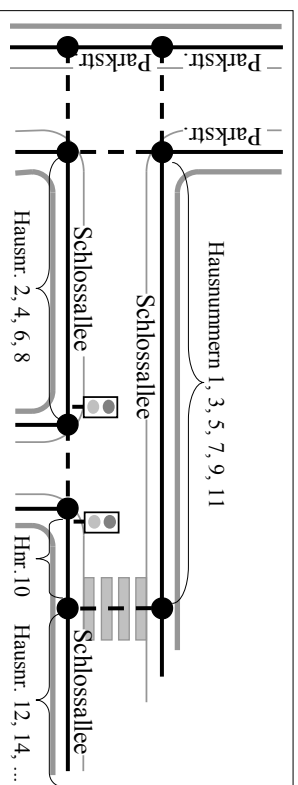


Abb. 2: Modellierung von Gehsteigen an befahrenen Straßen. Die gestrichelten Kanten repräsentieren Straßenüberquerungen.

Grundsätzlich sind alle Kanten mit einer Menge von Attributen markiert, die in drei Kategorien aufgeteilt sind: 1) Attribute, die die Fläche links der Kante betreffen, 2) Attribute, die die Fläche rechts der Kante betreffen und 3) Attribute, die für die Kante allgemein gelten. Tabelle 1 zeigt eine Liste von allgemeinen Kantenattributen, von denen einige in die Gewichtung bei der Routenplanung eingehen können. Die Attribute Steigung, minimale Breite, Stetigkeit und Bodenbelag sind insbesondere für ältere Menschen, Behinderte im Rollstuhl und für Eltern mit Kinderwagen wichtig. Der Bodenbelag ist daneben auch für Inline-Skater interessant. Sollte sich ein Attributwert entlang eines Weges ändern, so muss letzterer in mindestens zwei Kanten aufgespalten werden.

Tab. 1: Allgemeine Attribute für Wegkanten

Attribut	Bedeutung
Art der Kante	Wegkante, Platz, Str.-überquerung (mit / ohne Ampel), ...
Länge	in Metern
Name	Straßen- oder Platzname
Steigung	prozentuale Steigung
minimale Breite	Breite an der schmalsten Stelle
Stetigkeit	gibt es Stufen / Bordsteinkanten entlang der Kante?
Bodenbelag	befahrbar / nicht befahrbar (z.B. Sand oder Bewuchs)

Tabelle 2 zeigt eine Liste von links- bzw. rechtsseitigen Attributen. Das erste Attribut enthält die Liste der einzelnen Hausnummern in der Reihenfolge, wie sie vom Start- zum Endpunkt an der entsprechenden Straßenseite liegen. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die Hausnummern gleichmäßig über die Länge der Kante verteilt sind. Das zweite Attribut dient dazu, einen expliziten Bezug von Points-of-Interests zu einer Kante herstellen zu können, so dass diese als Ziele für eine Routenplanung angegeben werden können. Jeder POI wird durch ein Paar repräsentiert, bestehend aus einer Referenz auf das POI-Objekt (ID) und die Stelle auf der Kante, an der der Abstand des POI zu der Kante minimal ist.

Tab. 2: Links- bzw. rechtsseitige Attribute für Wegkanten

Attribut	Bedeutung
Hausnummern	Liste der an dieser Seite liegenden Hausnummern
Points-of-Interest	Menge von Objekten auf bzw. an dieser Straßenseite

Insgesamt ist die vorgeschlagene Modellierung vergleichbar mit dem in der GDF-Spezifikation beschriebenen mittleren Abstraktionsgrad (Level-1). Künftig soll untersucht werden, wie der Wegnetzgraph ähnlich stark abstrahiert werden kann wie GDF Level-2.

2.2 Modellierung von Gebäuden

Die Modellierung des Wegnetzgraphen von Gebäuden entspricht weitestgehend der Modellierung von Wegen und Plätzen in Fußgängerzonen. Die Unterschiede liegen hauptsächlich in den Bezeichnungen der Objekte. Straßen entsprechen Gängen, Plätze den Hallen und Hausnummern den Raumnummern. Die Tatsache, dass es sich bei Gebäuden um dreidimen-

sionale Objekte handelt, hat bis auf die zusätzlich zu modellierenden Objekte wie Treppe und Aufzug keine Auswirkungen auf den prinzipiellen Aufbau des Wegenetzgraphen. Treppen und Aufzüge werden durch Kanten repräsentiert, welche die den Stockwerken entsprechenden Teilgraphen miteinander verbinden. Zur Modellierung von Rolltreppen in Kaufhäusern oder Rollbändern in Flughäfen werden Kanten um ein Attribut ergänzt, dass für jede Kante etwaige Beschränkungen der beiden Laufrichtungen vermerkt. Tabelle 3 zeigt eine Gegenüberstellung vergleichbar repräsentierbarer Objekte in Innenstädten und Gebäuden.

Tab. 3: Vergleichbar modellierte Objekte in Innenstädten und Gebäuden

Innenstadt	Gebäude
Straße in Fußgängerzone	Gang, Flur, Treppe, Aufzug
Platz in Fußgängerzone	Halle, Durchgangszimmer
befahrene Straße / befahrener Platz	-
Gebäudeeingang	Gebäudeausgang
-	Rolltreppe, Rollband
Hausnummer	Raumnummer /-bezeichnung
Point-of-Interest	Point-of-Interest

2.3 Erfassung der Wegenetzgraphen

Eine automatische Ableitung des Wegenetzgraphen aus Karten oder 3D-Gebäudemodellen ist nicht trivial, da zwar alle begehbaren Gebiete durch Kanten abstrahiert werden, dabei jedoch Plätze bzw. Hallen von Straßen bzw. Gängen unterschieden werden müssen. Insbesondere die Identifikation von günstigen Positionen für Straßenüberquerungen erscheint schwierig. Es soll künftig untersucht werden, inwieweit sich für Gebäudeinnenträume die von mobilen autonomen Robotersystemen automatisch generierten und abstrahierten Karten verwenden lassen.

Für die Erfassung der Innenstädte könnte man von bestehenden GDF-Daten ausgehen und diese zum einen topologisch und zum anderen um die fußgängerspezifischen Attribute ergänzen. Erste Analysen von GDF-Daten zweier großer Anbieter von Innenstadtbereichen einiger Großstädte haben ergeben, dass einige Nacharbeit an der topologischen Struktur erforderlich wäre. Für den Test eines prototypischen Systems wurde der Graph eines Teilbereichs der Bonner Innenstadt manuell erstellt.

3. VIDEOS UND ORTSSPEZIFISCHE INFORMATIONEN

Um eine Route als Film virtuell erleben zu können müssen zwei Probleme gelöst werden: erstens müssen Videos von allen Wegen eines Gebietes vorliegen und mit den Kanten des Wegenetzgraphen assoziiert werden. Zweitens muss die geplante Route zu einem kontinuierlichen Film umgesetzt werden, wobei die Schwierigkeit darin besteht, dass die Abfolge der einzelnen Videoclips nicht vorab fest steht sondern dynamisch von der Routenplanung bestimmt wird.

Darüberhinaus sollen zusätzlich zu den Videodaten noch ortsspezifische Informationen angezeigt werden können, d. h. dass neben der Darstellung der Videoclips an bestimmten Orten weitere Visualisierungen in Form von Texten oder graphischen Symbolen erfolgen sollen. Da die Videos eine eindeutige Verknüpfung von Zeit und räumlicher Position herstellen (die Koordinaten der Endpunkte der Wegkanten sind bekannt), können Informationen ortsbezogen dargestellt werden, indem sie zu bestimmten Zeitintervallen bezogen auf einen Videoclip eingeblendet werden.

Genau für Anwendungen, die zeitsynchrone Darstellungen erfordern, hat das World-Wide-Web-Consortium W3C die auf dem XML-Standard basierende *Synchronized Multimedia Integration Language* SMIL definiert (SMIL 2001). Mit dieser Sprache können Medien bezogen auf einen gesamten zeitlichen Ablauf integriert werden, wobei multimediale Elemente sowohl sequentiell als auch parallel abgespielt werden können. Dadurch wird es möglich, alle Informationen zu einer Wegkante (inklusive des Videos) zu einem multimedialen SMIL-Clip zusammenzufassen. Damit wird aus dem Video als visueller Datenspeicher ein direkt adressierbarer multimedialer Datenspeicher.

Für die prototypische Realisierung wird der SMIL-fähige RealPlayer von RealNetworks eingesetzt, den es auch für Handys und PDAs gibt (siehe Real 2002).

3.1 Transformation des Wegenetzgraph in den Visualisierungsgraph

Obwohl in dem Wegenetzgraph bereits alle begehbaren Orte inklusive der Plätze durch Kanten abstrahiert sind, reicht es nicht, jeder Kante in jeder Richtung nur einen Videoclip zuzuordnen, da diese die Abbiegewgänge nicht beinhalten. Insbesondere für Abbiegungen muss eine lückenlose Visualisierung ohne Unstetigkeiten vorliegen, da sich der Mensch bei längeren Wegen hauptsächlich die Stellen einprägt, an denen die Richtung

geändert wird (vgl. Sorrows & Hirtle 1999 und Corona & Winter 2001). Aus diesem Grund werden die Knoten des Wegenetzgraphen nicht durch einfache Knoten im Visualisierungsgraph repräsentiert. Vielmehr wird zur nahtlosen Visualisierung von Routen jeder mögliche Abbiegevorgang für jede Wegkombination (z.B. von Straße A links in Straße B oder von Straße A geradeaus in Straße C etc.) in jeweils beiden Richtungen durch einen eigenen Videoclip erfasst. Knoten, an denen n Wege zusammentreffen, werden deshalb zu komplexen Untergraphen expandiert, die jeweils n Knoten und $n(n-1)$ Kanten (mit entsprechenden Videoclips) für alle ein- und ausgehenden Wegkombinationen beinhalten.

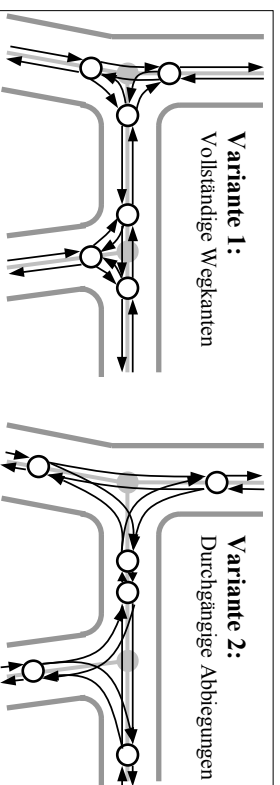


Abb. 3: Modellierung des Visualisierungsgraphen in zwei Varianten.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau des Visualisierungsgraphen für eine typische Konfiguration in einer Fußgängerzone, wobei hier zwei verschiedene Varianten von Abbiegevideos denkbar sind. Bei der ersten Variante reichen die den Wegkanten zugeordneten Videos jeweils bis an die Kreuzung heran. Für die Abbiegungen werden zwar nur kurze Videoclips benötigt, dafür besteht aber das Problem, dass die Aufzeichnung der Abbiegevideos genau an der Stelle beginnen muss, an der das Wegedecko aufhört. Da es schwierig ist, bei der Aufnahme der Abbiegevideos immer genau dieselbe Stelle zu passieren, können deshalb Unstetigkeiten und Sprünge beim sequentiellen Abspielen des Wege- und Abbiegevideos entstehen.

Bei der zweiten Variante hören die Wegedecks bereits ca. 10m vor der Kreuzung auf. Die Abbiegevideos fangen bereits 10m vor der Kreuzung an und reichen dann 10m weit in die einzubiegende Straße. Obwohl diese Variante eine steilere Darstellung der Abbiegevorgänge erlaubt, wird sie im hier nicht weiter verfolgt, weil sie mehr Platz für Videodaten benötigt und schlechter für die in Kap. 5 vorgestellte Modellerweiterung um Panoramen verwendbar ist. Praktische Tests haben außerdem gezeigt, dass die für Variante 1 befürchteten Unstetigkeiten so klein sind, dass sie dem Betrachter nicht störend auffallen.

3.2 Erfassung und Aufbereitung der Videos

Vor der Aufnahme von Videoclips muss der Wegenetzgraph für das entsprechende Gebiet erstellt worden sein. Daraus wird wie oben beschrieben der Visualisierungsgraph hergeleitet, dessen Kanten inklusive aller Abbiegungen eine eindeutige numerische ID erhalten, die für die spätere Zuordnung der Videoclips notwendig ist. Dabei wird für Videokanten die entsprechende Kanten-ID aus dem Wegenetzgraph verwendet. Die IDs der Abbiegevideos setzen sich aus den beiden IDs der Wegkanten zusammen, die über die jeweilige Abbiegung miteinander verbunden werden.

Die Aufnahme der Videoclips für den Prototyp erfolgte mit einer handelsüblichen Digitalen Videokamera, die an einem Stativ angebracht war. Zur Vermeidung starker Verwackelungen wurde das Stativ an der Lenkachse eines Fahrrads befestigt. Die Kamera wurde auf Augenhöhe positioniert und

es wurde ein der menschlichen Wahrnehmung entsprechender Öffnungswinkel eingestellt. Dann wurden alle Kanten des Wegenetzgraphen hintereinander abgesprochen und gefilmt.

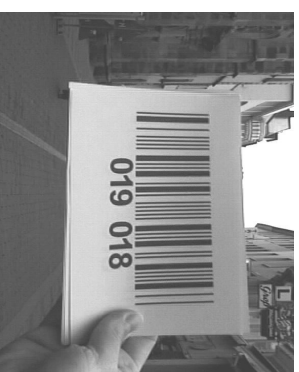


Abb. 4: Barcode-Markierung der Wegkantenvideos

Zur Vereinfachung der Zuordnung von Video und Graphkanten wurde vor jedem Abschreiben eine Karte mit der Kanten-ID ins Bild gehalten (siehe Abb. 4). Die Kanten-ID ist auf der Karte sowohl textuell als auch in Form eines Barcodes aufgebracht. Das soll es künftig ermöglichen, das Schneiden des aufgenommenen Filmmaterials und die Zuordnung zu den Graphkanten über den Einsatz einer Barcode-Erkennung zu automatisieren.

Nach dem Digitalisieren und Schneiden der Videoclips wurden diese mit einer entsprechenden Filmbearbeitungssoftware entwarckelt (Dynamap 2001), so dass der Film nur noch gleichmäßige Vorwärts- oder Kurvenbewegungen enthielt. Da die Videos in der Geschwindigkeit gedreht wurden, in der sich ein Fußgänger bewegt, würde das virtuelle Abschreiben einer Route den Betrachter genausoviel Zeit kosten wie der tatsächliche Fußmarsch. Zur Erhöhung der Betrachtungsgeschwindigkeit wurden die Videoclips mittels Zeiträfer auf die dreifache Abspielgeschwindigkeit erhöht. Danach wurden die Videoclips auf die Zielaufösungen verkleinert und für die entsprechenden Bandbreiten komprimiert. Ein 11s langer Videoclip, der eine

ca. 50m lange Wegstrecke abdeckt, benötigt in der Auflösung von 160x128 Pixeln und einer Übertragungsbandbreite von 20 KBit/s ca. 46 KB. Für beide Richtungen zusammen sind das 92 KB, und hochgerechnet ergibt das einen Speicherbedarf von 1,84 MB pro km Wegnetz. Bleibt noch anzumerken, dass das oben beschriebene Verfahren ohne Georeferenzierung der Videos auskommt, da die Videoclips mit den topologischen Verbindungen des Wegernetzes assoziiert sind.

3.3 Integration von Video und Hintergrundinformationen mit SMIL

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für eine typischerweise vom Routenplaner generierte SMIL-Datei. SMIL-Clips bestehen ähnlich wie eine HTML-Datei

```
<smil1>
<heads>
<root-layout width="240" height="200"/>
<region id="video" top="0" left="0" height="180"
width="100%" fill="#fff"/>
<region id="strname" top="182" left="25" height="18"
width="190"/>
<region id="hausnr links" top="182" left="0"
height="18" width="25"/>
<region id="hausnr rechts" top="182" left="215"
height="18" width="25"/>
</head>
<body>
<seq>
<par>
<video src="019-018.rm" region="video"></video>
<textstream src="019-018.rt" region="strname"
dur="1s" fill="freeze"></textstream>
<textstream src="019-018.links.rt" dur="52.6s"
region="hausnr_links">
<textstream src="019-018.rechts.rt" dur="52.6s"
region="hausnr_rechts">
</par>
...
<par>
<video src="113-094.rm" region="video"></video>
<textstream src="113-094.rt" region="strname"
dur="1s" fill="freeze"></textstream>
<textstream src="113-094.links.rt" dur="26.0s"
region="hausnr_links">
<textstream src="113-094.rechts.rt" dur="26.0s"
region="hausnr_rechts">
</par>
</seq>
</body>
</smil1>
```

1. Wegkante

letzte Wegkante

Abb. 5: Beispiel für eine vom Routenplaner erzeugte SMIL-Datei. Pro Wegkante werden vier Dateien referenziert: 1) das Video, 2) der Straßenname, 3) & 4) die zum Video synchronisierte Abfolge der linksseitigen bzw. rechtsseitigen Hausnummern.

aus einem Kopf (*<head>*) und einem Rumpf (*<body>*). Im Kopf wird das Layout der Präsentation definiert, wobei hier ein großer Bereich für das Abspielen des Videos und drei darunter positionierte Bereiche für Texte vorgesehen sind (Hausnummer links, Straßename und Hausnummer rechts).

Der Rumpf definiert eine nacheinander abzuspielende Sequenz (*<seq>*) von Medienblöcken, die wiederum parallel (*<par>*) abzuspielen sind. Jeder *<par>*-Block entspricht dabei einer Kante des Visualisierungsgraph (Weg- oder Abbiegekante). Innerhalb des Blockes werden neben der Videodatei noch drei Textclips referenziert, die jeweils die Darstellung des Straßennamens und der Abfolge der links- bzw. rechtsseitigen Hausnummern beinhalten. Bei den dazu verwendeten *Textstreams* handelt es sich um eine SMIL-Erweiterung des RealPlayers, die es ermöglicht, Texte zu bestimmten Zeiten in einem spezifizierten Bildschirmbereich anzuzeigen. Die benötigten Textstream-Dateien werden automatisch aus den Attributwerten der Wegkanten (Straßenname, Hausnummern) abgeleitet.

Abbildung 6 zeigt eine Folge von Schnappschüssen einer vom Prototypen generierten und im RealPlayer angezeigten Route.



Abb. 6: Abschnitte einer Route nach Variante 1 in einem SMIL-Player. Unten werden jeweils Straße und Hausnummern angezeigt.

4. ROUTENPLANUNG

Die Routenplanung erfolgt auf Basis des Wegenzugraphen. Dazu sind zwei besondere Punkte zu erwähnen:

1) Alle Informationen und Videoclips beziehen sich auf Kanten. Eine häufige Anwendung ist jedoch die Wegsuche zu bestimmten Punkten wie beispielsweise einem Gebäude mit einer gegebenen Hausnummer oder zu einem bestimmten Point-of-Interest. Oftmals besteht auch das Interesse nur zu einer bestimmten Straße geführt zu werden, wobei die Position innerhalb der Straße keine Rolle spielt. Aus diesem Grund werden im folgenden Abschnitt die wichtigsten Ziele und deren Erreichbarkeit über den Wegenzugraphen diskutiert.

2) Für die Suche kürzester bzw. bei komplexen Kantenbewertungen günstigster Wege kommen die zwei Algorithmen von Dijkstra und Floyd in Frage. Abschnitt 4.2 diskutiert Vor- und Nachteile der beiden insbesondere im Hinblick auf Server- oder Client-seitige Routenplanung.

4.1 Spezifikation von Start- und Zielorten

Als wesentliche Ausgangspunkte und Ziele für Fußgänger in Innenstädten werden 1) Gebäude an einer Straße mit einer bestimmten Hausnummer, 2) Points-of-Interest, 3) Straßen ohne nähere Positionsangabe und 4) Plätze betrachtet. Die dazu analogen Ziele in Gebäuden sind 1) Räume mit einer bestimmten Nummer, 2) POIs, 3) Gänge ohne nähere Positionsangaben und 4) Hallen.

Um zu *Gebäuden mit einer bestimmten Hausnummer* zu gelangen, wird zunächst die Wegekante der Straße identifiziert, die diese Hausnummer beinhaltet. Ausgehend von dem zu der aktuellen Position des Fußgängers nächsten Knotenpunkt werden dann die günstigsten Wege zu den beiden Endpunkten dieser Kante bestimmt. Der günstigste Weg wird gewählt und schließlich noch die Kante angehängt, in der sich das Ziel befindet. Dabei wird das letzte Kantenvideo nur bis zur der Position abgespielt, die der Hausnummer entspricht.

Die Navigation zu einem *Point-of-Interest* läuft genauso ab. Hier wird das letzte Kantenvideo nur bis zu der Position angezeigt, die dem POI am nächsten liegt (diese ist bei den POIs explizit angegeben).

Wenn der günstigste Weg zu einer *Straße ohne nähere Positionsangabe* gesucht wird, werden zunächst alle an dieser Straße liegenden Knoten ermittelt. Anschließend wird zu jedem dieser Knoten der günstigste Weg berechnet und die insgesamt günstigste Route ausgewählt. Schließlich wird

noch die Abbiegung von dem Zielpunkt in eine beliebige inzidente Kante mit entsprechendem Straßennamen angehängt.

Die Wegsuche zu *Plätzen* erfolgt analog zur Wegsuche zu Straßen ohne nähere Positionsangabe, wobei hier abschließend ein Abbiegvideo und ein halbes Kantenvideo gezeigt wird. Bei Plätzen mit mehr als drei Einmündungen, wird eine zum Zielpunkt inzidente Kante ausgewählt, die den Platz überquert, so dass der Benutzer quasi auf den Platz geführt wird.

4.2 Dijkstra oder Floyd?

Für die Suche kürzester Wege wird man in den meisten Fällen auf die Algorithmen von Dijkstra oder Floyd zurückgreifen (siehe Aho et. al. 1987). Der Unterschied zwischen den beiden Verfahren besteht darin, dass ersterer alle kürzesten Wege von *einem* Start- zu *allen anderen* Punkten des Graphen berechnet und auf einer verhältnismäßig platzsparenden Graphrepräsentation in Form von Adjazenzlisten beruht. Der Algorithmus von Floyd berechnet alle kürzesten Wege von *jedem* Punkt zu *jedem anderen*, benötigt dafür aber eine Matrix, deren Speicherbedarf quadratisch mit der Anzahl der Knoten wächst. Da in den meisten Fällen jeweils nur ein kürzester Weg von einem Punkt zu einem anderen benötigt wird und Wegenzugraphen häufig recht groß werden können, basieren die meisten Routenplanungssysteme auf dem Dijkstra-Algorithmus.

Es gibt jedoch Situationen, in denen es sich lohnt über den Einsatz des Floyd-Algorithmus nachzudenken. Die Wegsuche erfolgt bei diesem Verfahren in zwei Schritten: im ersten Schritt wird eine Matrix berechnet, die alle paarweise kürzesten Wege kompakt repräsentiert. Im zweiten Schritt muss diese Matrix zur Ausgabe eines Weges nur nach einem einfachen Schema durchlaufen werden. Die Bestimmung eines konkreten Weges ist bei vorberechneter Matrix also ad-hoc ohne aufwändige Berechnung möglich. In (Plümer & Steinrücken & Kolbe 2002) wird ein Internet-Fahrradroutenplaner beschrieben, bei dem die Wegsuche Client-seitig (und damit offline ohne weiteren Server-Kontakt) im Webbrowser in JavaScript auf Basis des Floyd-Algorithmus abläuft.

Ferner könnte ein PDA in Verbindung mit einem System zur fortlaufenden Positionsbestimmung als Orientierungshilfe ständig Wegfelle zu den Orten einblenden, die dem Benutzer momentan wichtig sind wie beispielsweise die Richtung und Entfernung zum Bahnhof, zum nächsten WC, zum Hotel sowie zu bestimmten Besuchszielen. Dazu müssen jedoch ständig die kürzesten Wege vom aktuellen Standort zu all diesen Objekten berechnet werden, um die jeweiligen Richtungen zu bestimmen und korrekt anzuzeigen.

5. AUSBLICK: NAVIGATION MIT VIDEOS UND PANORAMEN

Die stetige Weiterentwicklung hybrider Techniken zur Positionsbestimmung wird mittelfristig eine auf wenige Meter genaue Lokalisierung mobiler Endgeräte auch in Innenstadtbereichen und innerhalb von Gebäuden erlauben (vgl. Point Research 1999, Ladetto et. al. 2001, Legat & Lechner 2001, Höllner et. al. 2001). Diese Positionsdaten können in Verbindung mit den Videoclips und zusätzlichen 360°-Panorama-Ansichten (Chen 1995) der Wegkreuzungen zur kontinuierlichen Darstellung der Umgebung des Benutzers auf dem PDA oder Handy verwendet werden.

5.1 Einbeziehung von Panorama-Ansichten

Entlang der Wege wird dabei genau die Stelle in den Videoclips angezeigt, die zu der ermittelten Position und Richtung am nächsten liegt. Wenn der Benutzer in die Nähe einer Kreuzung oder Weggabelung kommt, so wird statt der Abbiegevideos ein 360°-Panorama der Kreuzung angezeigt, wobei es genau in die Richtung gedreht wird, in die der Benutzer schaut. Dabei wird jede Drehung des Benutzers über einen elektronischen Kompass registriert und in eine synchrone Drehung der Panoramaansicht überführt. Auf diese Weise wird das für die Orientierung wichtige Umschauen des Benutzers elektronisch unterstützt.

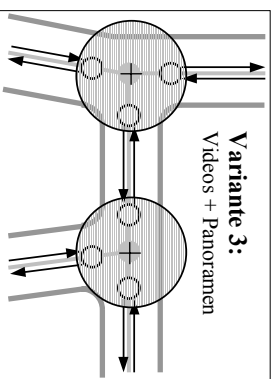


Abb. 7: Vis-graph mit Videokanten und Panoramaknoten

Die Einbeziehung von Panoramen führt auch zu einer homogenen Angleichung des Visualisierungsgraphen an den Wegnetzgraph, da nun die Knoten des Wegnetzes nicht mehr durch Kanten mit Abbiegevideos sondern durch einen Knoten mit einer assoziierten Panoramansicht repräsentiert werden (siehe Abbildung 7). Die Erstellung von Panoramansichten aus Einzelbildern arbeitet mittlerweile automatisch. Für jedes Panorama muss allerdings die Orientierung bestimmt und vermerkt werden (s. Abb. 8).



Abb. 8: Ausschnitt eines richtungsorientierten Panoramas einer Kreuzung

5.2 Augmented Reality auf dem PDA

Durch die dynamische Einblendung von Schrift und Wegmarkierungen in die Videoclips und Panoramen wird der Benutzer an jedem Ort ständig über Zielrichtung und weitere ortsspezifische Informationen auf dem Laufenden gehalten. Letztere können sowohl statische Informationen wie z.B. Straßennamen als auch dynamische Informationen, die aus der Nutzung von Location Based Services resultieren, sein. In verschiedenen Projekten wird bereits an der Anbringung von Informationen und Multimedia-Inhalten an geographische Positionen im Sinne von „virtuellen Graffiti's“ gearbeitet (Spohrer 1999, Tarumi et. al. 2000, Pradhan et. al. 2001).

In der einfachsten Variante werden dabei Informationen zu einem Ort in einem anderen Bildschirmbereich oder per Sprachausgabe ausgegeben. Dieses Vorgehen wurde in Kapitel 3 für die Einbeziehung von Hausnummern und Straßennamen im Detail erläutert. Wenn für die Videoclips die innere Orientierung der Kamera bekannt ist und für die äußere Orientierung angenommen werden kann, dass sich die Kamera immer auf konstanter Höhe in Richtung der Wegkante bewegt, können ortsbegogene Informationen sogar an ihren entsprechenden Positionen im Videobild eingeblendet werden.

Dieses Konzept weist Gemeinsamkeiten mit Augmented Reality-Systemen auf, die ebenfalls die Ansicht der realen Welt durch orts- und objekt-spezifische Informationen überlagern (Höllner et. al. 2001). Im Gegensatz zu den bei Augmented Reality-Systemen verwendeten Head-Mounted-Displays handelt es sich bei dem vorgestellten Konzept aber nicht um eine invasiv in die optische Wahrnehmung eingreifende Visualisierungsmethode (s. Rekimoto 1997). Der Benutzer kann jederzeit den Blick vom PDA- oder Handydisplay abwenden und sieht damit Navigations- und Hintergrundinformationen nur dann, wenn es ihn auch ausdrücklich interessiert.

5.3 Abschließende Anmerkungen

Es wurde ein Konzept zur Fußgängernavigation und Routenplanung vorgestellt, das auf der Visualisierung mittels Videos und Panoramen basiert und sich gleichermaßen für Innenstädte und Innenräume komplexer Gebäude wie Stadthäuser, Einkaufsparks, Flughäfen und Universitätsgebäuden eignet.

Abschließend soll angemerkt werden, dass das vorgestellte Konzept nur geringe Anforderungen an die Rechenleistung mobiler Endgeräte und die Bandbreite des drahtlosen Mediums stellt: nur das Abspielen von Videos muss möglich sein; eine Voraussetzung, die bereits von den mobilen Endgeräten der nächsten Generation (z.B. UMTS) erfüllt werden wird.

LITERATUR:

- Aho, A. & Hopcroft, J. E. & Ullman, J. D. (1987): *Data Structures and Algorithms*. Addison-Wesley, London
- Allen, G. L. (1999): *Spatial Abilities, Cognitive Maps, and Wayfinding: Bases for Individual Differences in Spatial Cognition and Behaviour*. In: Golledge, R. G. (Eds.): *Wayfinding Behaviour*, John Hopkins Univ. Press
- Chen, S. E. (1995): *Quicktime VR: an image-based approach to virtual environment navigation*. In: Proc. of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH 95, ACM Press
- Corona, B. & Winter, S. (2001): *Navigation information for pedestrians from city maps*. In: Proc. of AGILE 2001 in Brno
- Dynapel (2001): *SteadyHand Video-Erwecker*. <http://www.dynapel.de>
- GDF (2000): *GDF - Geographic Data Files - Version 4.0*. Draft International Standard ISO/CD 2000-08-23
- Höllerer, T. & Feiner, S. & Hallaway, D. & Bell, B. & Lanzagorta, M. & Brown, D. & Julier, S. & Bailiot, Y. & Rosenblum, L. (2001): *User Interface Management Techniques for Collaborative Mobile Augmented Reality*. Computers and Graphics 25(5), Elsevier Science
- Holmes, P. D. & Jungert, E. R. A. (1992): *Symbolic and Geometric Connectivity: Graph Methods for Route Planning in Digitized Maps*. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 5
- Kemp, U. & Troch, R. (1997): *Einsatzmöglichkeiten geographischer Informationssysteme für die Logistikplanung der Deutschen Post AG*. In: Dollinger, F. & Strobl, J.: *Tagungsband AGIT'97*, Selbstverlag des Inst. für Geographie der Uni Salzburg
- Ladetto, Q. & Gabaglio, V. & Merminod, B. (2001): *Two Different Approaches for Augmented GPS Pedestrian Navigation*. In: Proc. of the Int. Symp. on Location Based Services for Cellular Users LOCELLUS 2001 in München, Deutsche Gesell. f. Navigation u. Ortung, Bonn
- Legat, K. & Lechner, W. (2001): *Integrated navigation for pedestrians*. In: Proc. of the 5th GNSS Int. Symposium GNSS2001 in Seville, Spain
- Lippman, A. (1980): *Movie-maps: An application of the optical videodisc to computer graphics*. In: Proc. of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH 80
- Maguire, E. A. & Burgess, N. & O'Keefe, J. O. (1999): *Human spatial navigation: cognitive maps, sexual dimorphism, and neural substrates*. Current Opinion in Neurobiology 1999, Vol. 9, Elsevier
- Mitchell, J. S. B., (2000): *Geometric Shortest Paths and Network Optimization*. In: Sack, J.-R., Urrutia, J. (Eds.): *Handbook of Computational Geometry*, Elsevier, Amsterdam
- Plümer, L. & Steinrück, J. & Kolbe, T. H. (2002): *Multimediale Visualisierung von Geoinformationen im Internet*. In: Tagungsband zum Symposium Praktische Kartographie in Königsutter, Kirschbaum Verlag Bonn
- Point Research Corporation (2002): *Poinman Dead Reckoning Module*. <http://www.pointresearch.com>
- Pradhan, S. & Brignone, C. & McReynolds, A. & Smith, M. T. (2001): *Websigns: Hyperlinking Physical Locations to the Web*. IEEE Computer, August 2001
- Real (2002): *RealPlayer und RealOnePlayer*. <http://www.realnetworks.com>
- Rekimoto, J. (1997): *Navicam: The Magnifying Glass Approach to Augmented Reality*. MIT Presence, Vol. 6, No. 4, August 1997
- Ruddle, R. A. & Payne, S. J. & Jones, D. M. (1998): *Navigating Large-Scale "Desktop" Virtual Buildings: Effects of Orientation Aids and Familiarity*. MIT Presence, Vol. 7, No. 2, April 1998
- SMIL (2001): *Synchronized Multimedia Integration Language SMIL 2.0*. W3C Recommendation 07 August 2001. <http://www.w3.org/TR/smil20/>
- Sorrows, M. E. & Hirtle, S. C. (1999): *The Nature of Landmarks for Real and Electronic Spaces*. In: C. Freksa, D. M. Mark (Eds.): *COSIT'99*, LNCS 1661, Springer-Verlag, Berlin
- Spoerer, J. C. (1999): *Information in places*. IBM Systems Journal 38(4)
- Tarumi, H. & Morishita, K. & Kamabayashi, Y. (2000): *Public Applications of SpaceTag and Their Impacts*. In: Ishida, T. & Isbister, K. (Eds.): *Digital Cities*, LNCS 1765, Springer-Verlag, Berlin
- Zipf, A. & Malaka, R. (1999): *3D und 4D - Deep Map - das historische Touristeninformationssystem für Heidelberg*. GeoBit 07/99.