

# **Location Based Services – Auf dem Weg zu kontextbezogenen Informations- und Kommunikationssystemen**

Kurt Rothermel, Frank Dürr, Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS), Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

## **Kurzfassung**

Die rasant fortschreitende Entwicklung von drahtloser Kommunikation, Positionierungssystemen und Rechnertechnologie sowie deren Integration in multifunktionale Endgeräte unterstützt die vielversprechende neue Anwendungsklasse der ortsbezogenen Systeme. Ortsinformation kann von solchen Anwendungen genutzt werden, um ihr Verhalten dem aktuellen Standort der Benutzer oder auch anderer Objekte anzupassen. Heute schon bieten Netzbetreiber so genannte „Location-based Services“ an, die primär Navigationsfunktionen und eine ortsbezogene Selektion von Informationen unterstützen. Ortsinformation kann aber auch auf der Systemebene gewinnbringend verwendet werden, etwa zur Bereitstellung neuer ortsbezogener Kommunikationskonzepte oder zur Optimierung der Kommunikation.

In diesem Beitrag wird der Begriff der ortsbezogene Anwendungen erläutert und Anwendungen dieser Art am Beispiel existierender Systeme kurz skizziert. Außerdem werden zwei Beispiele für die Nutzung von Ortsinformation auf Systemebene gegeben, die Geocast-Kommunikation und ein Hoarding-Verfahren.

## **1 Einleitung**

Die rasch fortschreitende Entwicklung der drahtlosen Netze birgt ein hohes Potenzial für ein breites Spektrum neuartiger Anwendungen. Den heute flächendeckend verfügbaren Mobilfunknetzen der zweiten Generation folgen die leistungsfähigeren UMTS-Netze. Ergänzt werden diese Technologien durch breitbandige drahtlose lokale Netze, bei denen derzeit IEEE 803.11 als Standard dominiert. Für so genannte Personal Area Networks steht etwa mit Bluetooth eine Technologie zur Verfügung, die heute schon eine Vernetzung zu sehr geringen Kosten ermöglicht. Ebenso rasant schreitet die Entwicklung der Endgeräte voran, die nicht nur kleiner und leistungsfähiger sondern auch multifunktional werden. Sie integrieren neben Kommunikations- und Rechnerfunktionen zunehmend auch unterschiedliche Sensorsysteme, insbesondere solche zur Positionsbestimmung des Geräts. Mit GPS und DGPS stehen heute für den Außenraumbereich Positionierungstechniken mit Genauigkeiten bis zu wenigen Metern zur Verfügung. Das geplante europäische System Galileo soll eine weitere Verbesserung der Genauigkeit bringen. Eine weitere Möglichkeit zur Positionsbestimmung bieten zellulare Mobilfunknetze mit Verfahren wie Cell-Id, EOTD und A-GPS. Ebenso gibt es bei den Positionierungsverfahren für Innenräume vielversprechende Entwicklungen, die in Genauigkeitsbereiche von wenigen Zentimetern vordringen.

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 Anwendungsklasse, die so genannten ortsbezogenen Anwendungen erschlossen werden, die weit über die Möglichkeiten heutiger mobiler Systeme hinausgehen. Ortsbezogene Anwendungen sind in der Lage, ihr Verhalten abhängig von der aktuellen Position des Benutzers zu verändern, was mit einer Vielzahl von Vorteilen verbunden ist. Beispielsweise kann die einem Benutzer angebotene Informationen ortsbezogen selektiert werden, also auf das reduziert werden, was für den Benutzer an seinem aktuellen Standort relevant ist. Auch die Präsentation der Information kann ortsbezogen erfolgen. So kann man Information für einen Fußgänger in anderer Weise darstellen als für einen Autofahrer, der sich auf den Verkehr konzentrieren muss.

Ortsinformation kann nicht nur auf der Anwendungsebene genutzt werden. Gegenstand aktueller Forschung sind innovative ortsbezogene Kommunikationskonzepte, wie etwa das Geocast-Konzept, bei dem die Empfänger geographisch adressiert werden können. Dieses Konzept erlaubt das Senden von Nachrichten an – im einfachsten Fall – alle Teilnehmer, die sich in einer spezifizierten geographischen Zielregion befinden. Ferner kann Ortsinformation für die Optimierung bestehender Kommunikationsmechanismen herangezogen werden, etwa um die mit den drahtlosen Kommunikationsnetzen verbundenen Nachteile abzumildern.

Die vorliegende Arbeit ist wie folgt strukturiert. Nach der Einleitung wird im zweiten Kapitel auf Merkmale ortsbezogener Anwendungen eingegangen und dann einige heute kommerziell verfügbaren und im Rahmen

von Forschungsprojekten entwickelten Anwendungen dieser Art exemplarisch skizziert. In Kapitel 3 werden zwei Beispiele für die Nutzung von Ortsinformation auf Systemebene beschrieben, das Geocast-Konzept und ein Hoarding-Verfahren. Der Aufsatz schließt mit einer kurzen Zusammenfassung.

## 2 Ortsbezogene Anwendungen

### 2.1 Merkmale Ortsbezogener Anwendungen

Unter einer ortsbezogenen Anwendung verstehen wir ein System, dessen Verhalten von Standortinformationen der für die Anwendung relevanten Entitäten abhängig ist. Als Beispiele für ortsbezogene Anwendungen seien eine Navigationsanwendung und ein Flottenmanagementsystem genannt. In beiden Anwendungen sind Orte, beispielsweise gegeben in Form von Straßenkarten, und Fahrzeuge als mobile Objekte relevant. Während beim Flottenmanagement die Gesamtheit der Fahrzeuge der Flotte relevante Entitäten darstellen, betrachtet die Navigationsanwendung im Wesentlichen nur ein Fahrzeug.

Generell lassen sich drei Arten der ortsbezogenen Verhaltensänderung von Anwendungen unterscheiden:

- **Ortsbezogene Selektion:** bei der Auswahl von Diensten und Informationen kann der Ort 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 häufig Informationen über ihre unmittelbare, erreichbare Umgebung (Restaurants, Taxis, Drucker, Busfahrpläne, etc.) benötigen, ist der Ort ein wesentliches Selektionskriterium. Natürlich können weitere Kriterien, wie Zeit oder persönliche Präferenzen als zusätzliche Filter herangezogen werden.
- **Ortsbezogene Präsentation:** in Abhängigkeit des Orts verändert sich die Art, wie eine Anwendung Information an der Mensch-Maschine-Schnittstelle darstellt bzw. mit dem Benutzer interagiert. Selbst die Wahl des Ausgabemediums (Text, Graphik, Audio, Video) oder der gewählte Detaillierungsgrad der dargebotenen Information kann vom Standort des jeweiligen Benutzers beeinflusst werden. Beispielsweise könnte ein Navigationssystem einem Benutzer, der zu Fuß in der Stadt unterwegs ist, die Navigationshinweise in einen hohen Detaillierungsgrad graphisch aufbereiten, während im Fahrzeug die Anzeige auf wesentliche Elemente –

einen Richtungspfeil oder Sprachausgabe – reduziert wird.

- **Ortsbezogene Aktionen:** in Abhängigkeit vom Standort eines Benutzers können Aktionen, wie etwa die Weiterleitung von Nachrichten auf ein anderes Telefon bei Aufenthalt in einem anderen Büro initiiert werden. Ein Dienst, der einen Benutzer an eine Aufgabe erinnert, wenn er an einen Ort kommt bzw. eine bestimmte Person trifft, ist ein weiteres Beispiel hierfür.

Ortsbasierte Systeme sind eine Unterklasse so genannter kontextbezogener Systeme, in denen der Ort als Kontextparameter eine zentrale Rolle spielt. Bei kontextbezogenen Anwendungen können noch weitere Kontextparameter hinzukommen, wie etwa Zeit, Bewegungsrichtung und –geschwindigkeit, Benutzerpräferenzen etc. Die oben für ortsbezogene Anwendungen gemachten Ausführungen lassen sich somit durch die Benutzung des Begriffs Kontext anstelle von Ort verallgemeinern [1,2].

### 2.2 Kommerzielle Dienste

Bereits heute bieten Mobilfunkanbieter über ihre WAP-Portale (Wireless Application Protocol) einfache kommerzielle Anwendungen unter dem Schlagwort „Location-based Services“ an. Bei diesen Diensten stehen derzeit Navigationsfunktionen und die ortsbezogene Selektion von Information im Vordergrund. Nachfolgend werden einige der angebotenen Dienste exemplarisch aufgeführt.

Typische Beispiele für die ortsbasierte Selektion sind Dienste zum Auffinden des nächsten Hotels, Restaurants, Bankautomaten, der nächsten Tankstelle usw. [3,4]. Weitere Dienste sind u.a. die Erstellung eines standortbezogenen Wetterberichts oder die Anzeige von örtlichen Taxiunternehmen. Relativ neu sind so genannte Community-Funktionen, die z.B. die Ortung anderer Teilnehmer ermöglichen [5]. Solche Dienste lassen sich auch in Notfallsituationen nutzen [6]. Hier kann ein Kunde mit Herzbeschwerden bei einer entsprechenden Servicezentrale anrufen und im Ernstfall kann der Rettungsdienst durch die Ortsbestimmung über das Handy direkt zum Patienten geführt werden. In den USA sind Mobilfunkunternehmen sogar verpflichtet, diese Funktion ab 2005 mit einer Genauigkeit von 150m zu unterstützen [7]. Ein weiteres populäres Beispiel für ortsbezogene Dienste sind Verkehrsinformationsdienste. So bieten z.B. die Dienstleister Passo [8] und T-Traffic [9] oder auch der ADAC [4] Handy-Besitzern aktuelle Stauinformationen, die sich auf den momentanen Standort oder die geplante Fahrtroute beziehen.

Aufgrund des hohen Stellenwerts, der den ortsbezogenen Anwendungen im Hinblick auf die nächste

Generation von Mobilfunksystemen eingeräumt wird, gibt es bereits eine Reihe von Standardisierungsbemühungen, die eine Basis für den großflächigen kommerziellen Einsatz ortsbezogener Dienste schaffen sollen. So hat z.B. das Location-Interoperability-Forum [10], ein Zusammenschluss von Geräteherstellern, Netz- und Dienstbetreibern, das Mobile Location Protocol (MLP) spezifiziert. Dieses Protokoll beschreibt die Schnittstelle zwischen Anwendung und Lokationsdienst und ermöglicht diesen Anwendungen Anfragen bezüglich der Ortsinformation von einzelnen mobilen Endgeräten, unabhängig von der zugrunde liegenden Netzwerktechnologie und den verwendeten Positionierungssystemen. Allerdings werden ausschließlich Schnittstellen definiert. Ähnliche Ziele wie das Location-Interoperability-Forum hat die Open-Location-Services-Initiative [11] als eine Initiative des Open-GIS-Konsortiums (OGC). Hier sollen Schnittstellen spezifiziert werden, welche die Interoperabilität verschiedener Ortsdienste gewährleisten.

## 2.3 Prototypische Systeme

Erwartungsgemäß gehen die im Rahmen aktueller Forschungsprojekte entwickelten ortsbasierten Systeme über das heute kommerziell Verfügbare hinaus. In den meisten dieser Projekte spielt die ortsbezogene Selektion von Information eine zentrale Rolle. Aber auch die beiden anderen Merkmale, ortsbezogene Präsentation und Aktion sind Gegenstand verschiedener Forschungsvorhaben. Nachfolgend werden einige Vorhaben exemplarisch aufgeführt.

Eine Reihe von Forschungsvorhaben befassen sich mit so genannten intelligenten Umgebungen, z.B. Räume [12] oder Häuser [13], welche die anwesenden Benutzer und deren aktuelle Positionen erfassen und ihr Verhalten hieran anpassen, um beispielsweise alte Menschen zu unterstützen [14] oder neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion zu ermöglichen [15]. Basis dieser Systeme sind Sensorsysteme, welche die jeweiligen Benutzerpositionen hinreichend genau und zuverlässig ermitteln können. Hierauf aufbauend wird in verschiedenen Forschungsvorhaben Systemsoftware für intelligente Umgebungen untersucht [16,17,18, 19].

In den Projekten aus dem Bereich der so genannten „Situated Information Spaces“ geht es darum, Information mit Orten bzw. Objekten zu verbinden, wobei ein Ort nicht nur durch einen Punkt in einem Koordinatensystem, sondern auch durch ein Realweltobjekt gegeben sein kann [20]. Informationen können nicht nur mit ortsfesten Objekten, wie einem Platz, Gebäude oder Raum sondern auch mit mobilen Objekten, wie einer Person oder einem Fahrzeug, verknüpft sein. Die Realwelt lässt sich mittels virtueller „Post-

Its“ dynamisch annotieren, wobei eine Annotierung nur Benutzern in unmittelbarer Nähe angezeigt wird [21]. Touristeninformationssysteme nutzen die Standortinformation der Benutzer, um Informationen ortsbezogen selektieren und präsentieren zu können [22,23,24,25]. In [26] werden mit dem Wissen der Position, der Geschwindigkeit und des Reiseziels eines mobilen Benutzers Karteninformationen vorab an so genannten Hot Spots übertragen. In [27] werden Informationen in einem dreidimensionalen Raum gespeichert, wobei beim Zugriff die gewünschte Information durch die Spezifikation von Zielräumen adressiert wird.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 627 „Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme“ [28,29] wird eine Systemplattform für kontextbezogene Anwendungen entwickelt. Auf dieser Plattform wurde prototypisch ein kontextbezogenes Informationssystem realisiert, das auf der Metapher einer so genannten Virtuellen Litfaßsäule aufbaut. Virtuelle Litfaßsäulen können in einem geometrischen Modell der Realwelt platziert und mit ortsbezogener Information wie etwa Webseiten verknüpft werden. Sie haben unterschiedliche Sichtbarkeitsbereiche um die unterschiedliche geographische Relevanz der verknüpften Daten modellieren zu können. Sobald ein Benutzer in den Sichtbarkeitsbereich einer virtuellen Litfaßsäule kommt, wird diese auf seinem mobilen Endgerät angezeigt, so dass er auf die verknüpfte ortsrelevante Information zugreifen kann.

## 3 Ortsbezogene Kommunikationsmechanismen

Im obigen Kapitel wurde ein Überblick über Anwendungen gegeben, die durch Ausnutzung von Ortsinformation zusätzliche Funktionalitäten anbieten können. Die Berücksichtigung von Ortsinformation kann aber nicht nur auf der Anwendungsebene sondern auch auf der Systemebene von Vorteil sein. So lassen sich beispielsweise auf der Grundlage von Lokationsmodellen innovative Kommunikationskonzepte entwickeln. Nachfolgend wird die geographische Kommunikation als ein Beispiel hierfür vorgestellt. Darüber hinaus ist es möglich, Kommunikationsmechanismen durch Ausnutzung von Ortsinformation zu optimieren. Als Beispiel hierfür werden im Folgenden Hoarding-Verfahren diskutiert.

### 3.1 Geocast

Das Senden von Nachrichten an ein geographisches Zielgebiet wird als Geocast bezeichnet. Im einfachsten Fall wird die gesendete Nachricht an alle Teilnehmer, die sich derzeit im Zielgebiet befinden, ausgeliefert. In

diesem Fall entspricht das Konzept des Geocast einem geographisch beschränkten Rundsenden. Schränkt man durch zusätzliche Attribute die Empfängermenge ein, kann man Geocast mit einer geographisch beschränkten Gruppenkommunikation vergleichen. Beispielsweise könnte man die Empfänger im Bahnhofsgebiet auf die Menge der Taxis beschränken.

Für Geocast gibt es ein breites Spektrum von Anwendungen. Beispielsweise können Warnmeldungen mittels Geocast gezielt an Personen in der Gefahrenregion verteilt werden und zwar deutlich gezielter, als dies heute durch großflächige Rundfunkdurchsagen möglich ist. Ein anderes Beispiel ist das Senden von Information in einen bestimmten Bereich eines Gebäudes, etwa eine Präsentation oder die aktuelle Agenda in den Konferenzsaal eines Hotels. Während im ersten Beispiel das Zielgebiet durch ein Polygon beschrieben werden kann, wäre es im zweiten Beispiel wünschenswert, wenn der Sender das Ziel durch die Adresse des Hotels und eine Raumnummer spezifizieren könnte. Im ersten Fall wäre unter Umständen ein einfaches Koordinatensystem als Lokationsmodell ausreichend, während im zweiten ein deutlich komplexeres notwendig wäre, das beispielsweise die Objekte vom Typ Gebäude, Raum und Flur beinhaltet.

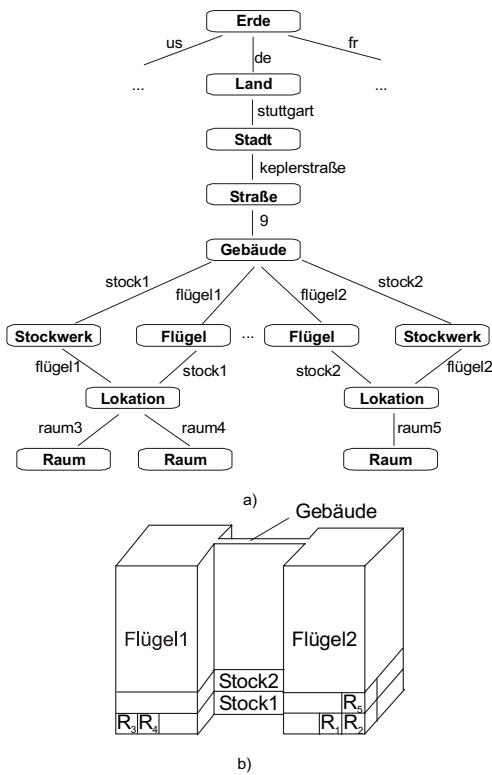
Der Einsatz von Geocast setzt effiziente Protokolle voraus, um Nachrichten vom Sender ins Zielgebiet der Nachricht zu leiten. Zielgebiete können dabei sehr stark in ihrer Größe und der Anzahl Empfänger innerhalb einer Region variieren, so dass Skalierbarkeit eine entscheidende Anforderung für diese Protokolle darstellt. In [27] werden drei verschiedene Geocast-Ansätze beschrieben, die alle zweistufig vorgehen. Geocast-Nachrichten werden zunächst im ersten Schritt vom Sender zu speziellen Komponenten, so genannt GeoNodes, weitergeleitet. Diese GeoNodes sind im zweiten Schritt für die Verteilung von Nachrichten in bestimmten lokalen Netzten an die eigentlichen Empfänger zuständig. Die geographische Abdeckung der lokalen Netze eines GeoNodes beschreibt dessen Dienstgebiet. Das Geocast-Protokoll muss also im ersten Schritt dafür sorgen, dass alle GeoNodes die Nachricht erhalten, deren Dienstgebiet das Zielgebiet überlappt, da sich in den entsprechenden lokalen Netzen potentielle Empfänger befinden können. Die drei in [27] beschriebenen Ansätze unterscheiden sich in der Art und Weise wie Nachrichten vom Sender zu den GeoNodes im Zielgebiet geleitet werden.

Der erste Ansatz, der als *geographisches Routing* bezeichnet wird, verwendet direkt die geographische Adresse des Zielgebiets in Form von Polygonen um den Weg ins Zielgebiet zu bestimmen. Spezielle GeoRouter sind für die eigentliche Nachrichtenweiterleitung verantwortlich. Diese können wie in [30]

beschrieben baumförmig anhand ihres geometrisch definierten Dienstgebiets strukturiert werden, d.h. GeoRouter sind für die Weiterleitung von Nachrichten an bestimmte geographische Gebiete zuständig. Ein GeoRouter, dessen Dienstgebiet das eines anderen enthält, ist Vater dieses GeoRouters. Ein GeoRouter leitet eine Nachricht an diejenigen Kinder weiter, deren Dienstgebiet das Zielgebiet der Nachricht überlappt. Zusätzlich wird die Nachricht an den Vater-Router weitergeleitet, falls das Zielgebiet Bereiche enthält, die außerhalb des Dienstgebiets des GeoRouters liegen. Die Nachricht erreicht somit alle GeoRouter, deren Dienstgebiet das Zielgebiet schneidet und wird von diesen an die entsprechenden Geo-Nodes weitergeleitet, die sich bei ihnen registriert haben.

Der zweite Ansatz mit dem Namen *geographisches Multicast-Routing* bildet das Zielgebiet einer Nachricht zunächst auf eine Multicast-Adresse ab und verwendet dann ein Multicast-Protokoll für die eigentliche Nachrichtenweiterleitung. Für die Zuordnung von Multicast-Adressen zu geographischen Gebieten wird die Welt zunächst in Partitionen aufgeteilt, die hierarchisch angeordnet sind, d.h. eine Partition kann aus weiteren Partitionen bestehen. So könnten z.B. Länder und Städte Partitionen darstellen. Jede Partition hat eine eigene Multicast-Adresse. Die GeoNodes treten den Multicast-Gruppen der Partitionen bei, deren Gebiet ihr Dienstgebiet schneidet und empfangen somit Nachrichten an das entsprechende Gebiet. Problematisch bei diesem Ansatz ist vor allem die sehr große Anzahl an Multicast-Gruppen, die bei einer entsprechend feingranularen Partitionierung entsteht. Informationen über bestehende Gruppen werden daher so verteilt, dass Router für weit entfernte Gebiete nur Informationen zu großen Partitionen speichern, z.B. die Multicast-Adresse einer Ländergruppe. Des Weiteren besteht bei diesem Ansatz das Problem, dass sich beliebige geographische Zielgebiete unter Umständen nur auf sehr große Partitionen abbilden lassen, so dass in diesem Fall viele GeoNodes außerhalb des Zielgebiets eine Nachricht erhalten und Nachfiltern müssen.

Der dritte als *Domain-Name-Server-Methode* bezeichnete Ansatz bildet über das Domain Name System (DNS) Zielgebietsnamen wie z.B. stuttgart.bw.geo auf eine Menge von GeoNodes ab, deren Dienstgebiet das entsprechende Zielgebiet schneidet. Die Geocast-Nachricht wird dann mittels mehrerer Unicast-Nachrichten an diese GeoNodes gesendet. Ein offensichtliches Problem stellt hierbei die eventuell sehr große Zahl an GeoNodes dar, die ein großes oder dicht abgedecktes Zielgebiet schneiden, so dass die Anzahl der notwendigen Nachrichten an diese GeoNodes stark anwächst.



**Bild 1** Symbolisches Lokationsmodell [31]

Neben den beschriebenen Protokollen spielt das verwendete *Adressierungskonzept* eine entscheidende Rolle bei der Realisierung von Geocast [31]. Grundsätzliche sind dabei zwei Arten der Adressierung zu unterscheiden. Die bei den oben beschriebenen Ansätzen hauptsächlich eingesetzte geometrische Adressierung verwendet geometrische Figuren wie z.B. Polygone für die Definition der Zielgebiete und Benutzerpositionen. Dagegen verwendet die symbolische Adressierung symbolische Namen wie z.B. Raumnummern, Städtenamen, usw. Während die geometrische Adressierung den Vorteil hat, dass beliebige Gebiete adressiert werden können, sind symbolische Namen oft intuitiver durch den Benutzer verwendbar. Außerdem lässt sich ein symbolisches Lokationsmodell, das die Grundlage der symbolischen Adressierung bildet, sehr viel einfacher erstellen, da keine Geometrie erfasst werden muss. Bild 1a zeigt ein einfaches Beispiel eines hierarchischen symbolischen Lokationsmodells inklusive symbolischer Adressen. Typische Lokationen sind Länder, Städte und Gebäude, die bzgl. der räumlichen Inklusionsbeziehung geordnet sind. So befinden sich in einem Land z.B. mehrere Städte, Städte enthalten verschiedene Straßen, usw. Die symbolische Adresse einer Lokationen wird durch die Konkatenation der symbolischen Namen auf dem Pfad in der Hierarchie zu dieser Lokation bestimmt, z.B. /de/stuttgart für die Stadt Stuttgart im abgebildeten Beispiel. Bild 1b zeigt, dass

hierbei Situationen auftreten können, in denen sich Lokationen überlappen. So kann ein Raum z.B. sowohl zu einem bestimmten Stockwerk als auch zu einem Gebäudeflügel gehören. Dies kann durch ein einfache Baumstruktur nicht abgebildet werden, wohl aber durch einen mathematischen Verband wie in Bild 1a dargestellt.

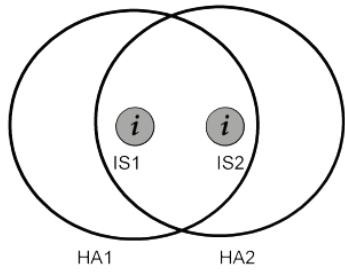
### 3.2 Hoarding-Verfahren

Mit dem Begriff „Mobile Computing“ ist die Forderung verbunden, mobile Benutzer an jedem Ort und zu jeder Zeit mit der gewünschten Information zu versorgen. Ein Problem, das sich aus dieser Forderung ergibt, ist in der Tatsache begründet, dass der Informationszugriff mobiler Nutzer meist über drahtlose Netze erfolgen muss und somit oftmals nur geringe Übertragungsraten zur Verfügung stehen und die Kommunikation mit relativ hohen Kosten verbunden ist. Darüber hinaus muss damit gerechnet werden, dass es zu häufigen Verbindungsunterbrechungen kommt und in manchen Gebieten sogar keine Netzanbindung besteht. Eine viel versprechende Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen, sind so genannte Hoarding-Verfahren.

Die grundsätzliche Idee von Hoarding-Verfahren ist es, in Zeiten einer (guten) Netzanbindung vorausschauend die Information auf das mobile Endgerät des Benutzers zu laden, auf die dieser zukünftig zugreifen wird. Im Idealfall muss nach dem Hoarding-Vorgang nicht mehr über das Netz auf entfernte Datenobjekte zugegriffen werden, so dass eine fehlende bzw. schlechte Netzanbindung sich nicht mehr störend auswirkt. Da das Informationsangebot riesig und die Speicherkapazität der mobilen Endgeräte oftmals sehr beschränkt ist, ist eine adäquate Selektion der zu ladenden Informationsobjekte ein kritischer Faktor für die Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens.

In der Literatur finden sich zwei Klassen von Verfahren, die sich in der Art der Selektion grundsätzlich unterscheiden. In der ersten Klasse wird die Selektion durch den Benutzer selbst vorgenommen, d.h. es wird angenommen, dass der Nutzer weiß, auf welche Datenobjekte er zukünftig zugreifen wird. Es ist offensichtlich, dass diese Annahme für viele Anwendungen nicht getroffen werden kann. Beispielsweise kann man nicht davon ausgehen, dass ein Besucher einer Stadt schon sämtliche Sehenswürdigkeiten kennt, zu denen er später spontan Informationen abrufen will. Abgesehen davon, ist ein solcher Ansatz mit zusätzlicher Last für den Benutzer verbunden, was der Attraktivität eines solchen Systems nicht zuträglich ist. Aus diesem Grund wird in der zweiten Klasse von Hoarding-Ansätzen die automatische Selektion der zu ladenden Information verfolgt. Zur automatischen Selektion können verschiedene Informationen herangezogen

werden, wie etwa Benutzerprofile, die Struktur der Daten oder die Zugriffsmuster der Benutzer in der Vergangenheit, aus denen die so genannte semantische Distanz von Datenobjekten abgeleitet werden kann. Unsere Forschung hat gezeigt, dass auch der Ort, an dem sich der Benutzer befindet, ein weiteres, signifikantes Selektionskriterium darstellt. Der nachfolgend kurz skizzierte Hoarding-Mechanismus geht von einem Ortsbezug der Daten aus und nutzt diesen bei der Selektion der vorab zu ladenden Datenobjekte. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in [32].



**Bild 2** Adjazente Infostationen und ihre Hoarding-Gebiete

Der vorgestellte Hoarding-Mechanismus basiert auf dem Konzept der Infostationen. Eine Infostation hat Zugang zum Festnetz und ist gleichzeitig Zugangspunkt eines drahtlosen lokalen Netzes (WLANs). Infostationen sind also WLAN-Inseln, die einen relativ breitbandigen kostengünstigen Zugang zum Internet ermöglichen und beispielsweise über eine Stadt verteilt an „Hot Spots“ zur Verfügung stehen.

Jede Infostation bedient ein geographisch begrenztes Gebiet, ihr so genanntes Hoarding-Gebiet. Das Hoarding-Gebiet ist typischerweise deutlich größer als der Übertragungsbereich des zugeordneten WLANs. Die Infostation sammelt statistische Informationen darüber, auf welche Informationsobjekte die Besucher ihres Hoarding-Gebiets an welchem Ort zugreifen. Wenn ein Nutzer in den Übertragungsbereich einer Infostation kommt, wird die gesammelte statistische Information ausgewertet, um die Informationsobjekte zu selektieren, auf welche der Benutzer im zugeordneten Hoarding-Gebiet höchstwahrscheinlich zugreifen wird. Um eine lückenlose Versorgung der Benutzer zu gewährleisten, müssen sich Hoarding-Gebiete wie in Bild 2 dargestellt überlappen.

Nachfolgend soll der Hoarding-Zyklus, der aus drei Phasen besteht, kurz dargelegt werden:

- **Download-Phase:** Sobald sich der Benutzer im WLAN-Übertragungsbereich eine Infostation befindet, werden aufgrund der vorliegenden statistischen Information die zu ladenden

Informationsobjekte bestimmt und auf das mobile Endgerät übertragen. Dieser Vorgang wird begrenzt entweder durch die Aufenthaltszeit des Nutzers im Übertragungsbereich des WLANs oder durch die Größe des lokalen Speichers.

- **Entkoppelter Betrieb:** Diese Phase beginnt sobald der Benutzer den Übertragungsbereich der Infostation verlässt und endet mit dem Eintreten des Nutzers in den Übertragungsbereich einer anderen Infostation. In dieser Phase wird versucht, sämtliche Informationszugriffe aus dem lokalen Hoarding-Speicher zu befriedigen. Ferner wird in einer Log-Datei aufgezeichnet, auf welche Informationseinheiten der Benutzer an welchem Ort zugreift. Es wird angenommen, dass dem mobilen Endgerät ein Positionierungssystem, wie etwa GPS zur Verfügung steht.
- **Upload-Phase:** Diese Phase beginnt, wenn der Benutzer in den Übertragungsbereich der nächsten Infostation kommt. Es wird die Log-Datei mit den aufgezeichneten Informationszugriffen vom mobilen Endgerät auf die Infostation geladen und dort für die Aktualisierung der statistischen Information genutzt. Die mit den einzelnen Zugriffen verbundene Ortsinformation wird ausgewertet, um das Hoarding-Gebiet zu bestimmen, in dem der Zugriff erfolgt ist. Abhängig von dieser Zuordnung werden die Log-Sätze an die zuständigen Infostationen über das Festnetz weitergeleitet.

Jede Infostation verwaltet eine Zugriffswahrscheinlichkeitstabelle mit Einträgen der Form  $(i, a(i))$ , wobei  $i$  das Informationsobjekt identifiziert und  $a(i)$  die Zugriffswahrscheinlichkeit für dieses Objekt ist. Diese Tabelle wird von einer Infostation alle  $\Delta$  Zeiteinheiten aktualisiert. Während einer Aktualisierungsperiode  $\Delta$  zählt die Infostation, wie häufig in ihrem Hoarding-Gebiet auf die einzelnen Informationsobjekte zugegriffen wird. Diese Information wird aus den hochgeladenen Log-Dateien extrahiert. Sei  $n$  die Anzahl aller Informationszugriffe in der Aktualisierungsperiode  $\Delta$  und  $r_\Delta(i)$  die Anzahl der Zugriffe auf Objekt  $i$  in dieser Zeit, dann berechnet sich die Zugriffswahrscheinlichkeit für Objekt  $i$  in  $\Delta$  wie folgt:

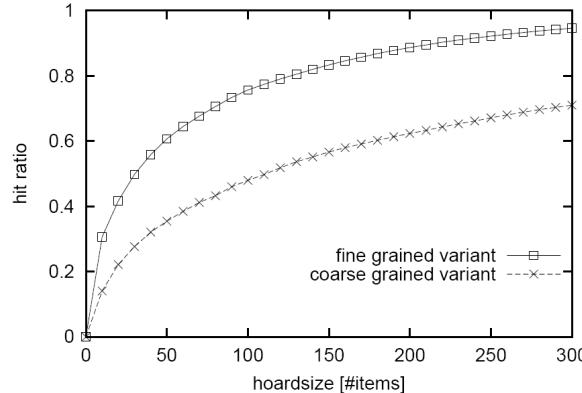
$$a_\Delta(i) = \frac{r_\Delta(i)}{n}$$

Am Ende der Aktualisierungsperiode werden die Zugriffswahrscheinlichkeiten in der Tabelle gemäß folgender Glättungsfunktion aktualisiert:

$$a'(i) = \alpha \cdot a(i) + (1 - \alpha) \cdot a_\Delta(i)$$

wobei  $0 \leq \alpha \leq 1$  bestimmt, wie stark der alte Wert  $a(i)$  bei der Berechnung des neuen Wertes  $a'(i)$  berücksichtigt wird.

Die Selektion der in der Download-Phase zu ladenden Informationsobjekte geschieht auf der Grundlage der Zugriffswahrscheinlichkeitstabelle. Können durch die Begrenzung der Aufenthaltszeit des Nutzers bzw. der Größe des Speichers nur  $m$  Objekte geladen werden, so werden die  $m$  Objekte mit der größten Zugriffswahrscheinlichkeit selektiert.



**Bild 3** Trefferraten in Abhängigkeit von der Größe des Hoarding-Speichers [32]

Das oben beschriebene einfache Verfahren kann unterschiedlich verfeinert werden. Eine Möglichkeit ist, das Hoarding-Gebiet in geographische Regionen zu unterteilen und für jede individuelle Region die Besuchswahrscheinlichkeit und die Zugriffswahrscheinlichkeiten für die in dieser Region relevanten Datenobjekte bestimmen (Details finden sich in [32]). Diese Verfeinerung führt zu einer deutlichen Leistungssteigerung, insbesondere dann, wenn voraussehbar ist, wie sich der Benutzer durch das Hoarding-Gebiet bewegen wird. Dieses Wissen liegt beispielsweise dann vor, wenn die Anwendung eine Navigationsfunktion integriert hat. Bild 3 zeigt das Ergebnis einer Simulation, welche das grobe Verfahren mit dem verfeinerten Verfahren hinsichtlich der Trefferrate in Abhängigkeit von der Größe des Hoarding-Speichers vergleicht. Eine Trefferrate von 1 bedeutet, dass alle Informationszugriffe im entkoppelten Betrieb aus dem Hoarding-Speicher bedient werden konnten.

Eine weitere Leistungssteigerung ist zu erzielen, wenn man zusätzlich noch die Struktur der Daten bei der Selektion berücksichtigt. In [33] wird ein weiter verfeinerter Hoarding-Ansatz für semi-strukturierte Daten, wie verlinkte Webseiten vorgeschlagen. Die Bewertung dieses Verfahrens hat gezeigt, dass sich durch Berücksichtigung der Navigationsmuster der

Benutzer im Web die Trefferrate weiter signifikant erhöhen lässt.

## 4. Zusammenfassung

In diesem Aufsatz wurden zunächst Eigenschaften ortsbezogener Anwendung hinsichtlich ihrer Merkmale klassifiziert und dann solche Anwendungen skizziert. Die heute kommerziell verfügbaren „Location-based Services“ unterstützen derzeit hauptsächlich Navigationsfunktionen und die ortsbezogene Selektion von Informationen. Die diesen Diensten zugrunde liegenden Modelle der Realität sind relativ einfacher Natur, meist zweidimensionale Karten, die an „Points-of-Interest“ um zusätzliche Informationen ergänzt werden. In der Forschung werden ortsbasierte Anwendungen betrachtet, die wesentlich weiter gehen. In vielen Fällen wird Ortsinformation durch weitere Kontextparameter ergänzt, die beispielsweise die aktuelle Situation eines Benutzers anwendungsspezifisch beschreiben. In diesem Fall sprechen wir von kontextbezogenen Systemen, die in vielen Fällen auf deutlich komplexeren Modellen der Realität aufbauen. Solche Modelle sowie deren Verwaltung und Anwendung sind Forschungsgegenstand des Sonderforschungsbereichs 627 „Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme“ an der Universität Stuttgart. Bedingt durch die zu beobachtende Proliferation von Sensor-technologie in unserem privaten und geschäftlichen Umfeld kann man davon ausgehen, dass zukünftig die meisten Anwendungen Kontextbezug haben werden.

Mit der Geocast-Kommunikation und einem Hoarding-Verfahren wurden zwei Beispiele für die Nutzung von Ortsinformation auf Systemebene gegeben. Während Geocast ein ortsbasiertes Kommunikationskonzept darstellt, dienen Hoarding-Verfahren der Verbesserung der Kommunikation im entkoppelten Betrieb. Weitere Möglichkeiten der Nutzung von Orts- oder allgemeiner Kontextinformation auf dieser Ebene sind Gegenstand aktueller Forschung.

## 3 Literatur

- [1] A. K. Dey, G. D. Abowd: The Context Toolkit: Aiding the Development of Context-Aware Applications; in the Workshop on Software Engineering for Wearable and Pervasive Computing , Limerick, Ireland, June 6, 2000
- [2] K. Rothermel; M. Bauer; C. Becker: Digitale Weltmodelle - Grundlage kontextbezogener Systeme. In: Friedemann Mattern (ed.): Total vernetzt - Szenarien einer informatisierten Welt
- [3] <http://www.vodafone.de/business/loesungen/10499.htm>

- [4] <http://www.adac.de/Default.asp?TL=2>
- [5] <http://www.swisscom.ch>
- [6] <http://www.vitaphone.de/de/Products/>
- [7] J. Bager: Das Handy kennt den Weg; c't 22/01, Heise Verlag, S. 168
- [8] <http://www.passo.de/>
- [9] [http://www.t-traffic.de/t\\_traffic/index.html](http://www.t-traffic.de/t_traffic/index.html)
- [10] Location Interoperability Forum (LIF), <http://www.locationforum.org>
- [11] Open Location Services Initiative (OpenLS Initiative), <http://www.openls.org>
- [12] A. P. Pentland: Smart Rooms; Scientific American, 274(4):68-76, 199
- [13] M. Mozer: The Neural Network House: An Environment that Adapts to its Inhabitants; AAAI Spring Symposium, Stanford, pp. 110-114, March 19
- [14] C. Kidd, R. Orr, G. Abowd, C. Atkeson, I. Essa, B. MacIntyre, E. Mynatt, T. Starner and W. Newstetter: The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research; Proceedings of the Second International Workshop on Cooperative Buildings - CoBuild'99, 1999
- [15] M.H. Coen: The Future Of Human-Computer Interaction or How I learned to stop worrying and love My Intelligent Room; IEEE Intelligent Systems. March/April 1999
- [16] M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggles, A. Ward, A. Hopper: Implementing a Sentient Computing System; IEEE Computer Magazine, Vol. 34, No. 8, August 2001, pp. 50-56
- [17] M. Coen, B. Phillips, N. Warshawsky, L. Weisman, S. Peters and P. Finin: Meeting the Computational Needs of Intelligent Environments: The Metaglue System; Proceedings of MANSE'99, 1999
- [18] B. Brumitt, B. Meyers, J. Krumm, A. Kern, and S. Shafer: EasyLiving: Technologies for Intelligent Environments; Handheld and Ubiquitous Computing, 2000
- [19] M. Román, R.H. Campbell: GAIA: Enabling Active Spaces; In 9th ACM SIGOPS European Workshop. September 17th-20th, 2000. Kolding, Denmark
- [20] G. Fitzmaurice: Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers; CACM, Juli 1993
- [21] J. Pascoe: The Stick-e Note Architecture: Extending the Interface Beyond the User; in Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces, editors: J. Moore, E. Edmonds, A. Puerta, pp. 261-264, 1997
- [22] K. Cheverst, N. Davies, K. Mitchell, A. Friday and C. Efstratiou: Developing a Context-aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences; Proceedings of CHI 2000, Netherlands, April 2000
- [23] N. Davies, K. Cheverst, A. Friday, K. Mitchell: A Networked City: Services for Visitors and Residents; IEEE Wireless Communications, February 2002
- [24] S. Long, R. Kooper, G. D. Abowd, C. G. Atkeson: Rapid Prototyping of Mobile Context-Aware Applications: The Cyberguide Case Study; Proceedings of the Second Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '96), pp. 97-107, ACM Press, 1996
- [25] R. Malaka: Deep Map: The Multilingual Tourist Guide; Workshop FuSeNetD, Heidelberg, November 1999
- [26] T. Ye, H.-A. Jacobsen, R. Katz: Mobile Awareness in a Wide Area Wireless Network of Info-Stations; MobiCom 1998, Dallas, TX
- [27] T. Imielinski, J.C. Navas: GPS-Based Geographic Addressing, Routing, and Resource Discovery. In Communications of the ACM, 42(4), p. 86 – 92, 1999
- [28] <http://www.nexus.uni-stuttgart.de/>
- [29] F. Hohl; U. Kubach; A. Leonhardi; K. Rothermel; M. Schwehm: Next Century Challenges: Nexus - An Open Global Infrastructure for Spatial-Aware Applications. In: Proceedings of the Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '99)
- [30] J.C. Navas, T. Imielinski: GeoCast – Geographic Addressing and Routing. In Proceedings of the Third Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM '97), p. 66 – 76, Budapest, Hungary, Sep 1997
- [31] F. Dürr, K. Rothermel: On a Location Model for Fine-Grained Geocast. In Proceedings of the Fifth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2003), p. 18 – 35, Seattle, WA, Oct 2003
- [32] U. Kubach; K. Rothermel: Exploiting Location Information for Infostation-Based Hoarding. In: Proceedings of the 7th ACM SIGMOBILE Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001)
- [33] S. Bürklen; P.-J. Marrón; K. Rothermel: An Enhanced Hoarding Approach Based on Graph Analysis. In: Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM 2004); Berkeley, California, USA; January 19-22, 2004