

# Kommunikationsprotokolle zur Vermittlung kontextbezogener Informationen auf Basis räumlicher Umgebungsmodelle

## Communication Protocols for Distributing Context-based Information Based on Spatial World Models

Frank Dürr, Kurt Rothermel, Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS), Universität Stuttgart, Germany, {duerr,rothermel}@ipvs.uni-stuttgart.de

### Kurzfassung

In diesem Artikel stellen wir ein neuartiges kontextbezogenes Kommunikationsparadigma namens *Contextcast* vor. *Contextcast* ermöglicht das selektive Senden von Nachrichten an Teilnehmer mit einem bestimmten Kontext, wobei der Kontext eines Teilnehmers beispielsweise durch seinen Aufenthaltsort, seine Interessen oder seine Situation bestimmt ist. Typische Anwendungen für *Contextcast* sind die gezielte Verteilung von Warnmeldungen, Touristeninformationen oder Veranstaltungshinweise. Wir präsentieren zunächst Konzepte zur effizienten Vermittlung von ortsbezogenen Informationen (*Geocast*) und diskutieren anschließend notwendige Erweiterungen für die effiziente Realisierung der *Contextcast*-Kommunikation.

### Abstract

In this paper, we present a novel context-aware communication paradigm called *Contextcast*. *Contextcast* allows for the selective distribution of information to users having a certain context. Typical examples of a user's context include her geographic position, interests, or current situation. *Contextcast* can be used in many application scenarios like the distribution of warning messages, tourist information, or event notifications. First, we present concepts for the efficient distribution of location-based information (*Geocast*). Then, we highlight the necessary extensions for realizing a general *Contextcast* communication mechanism.

## 1 Einleitung

Kontextbezogene Anwendungen und Systeme sind in der Lage, sich automatisch an die aktuelle Situation des Benutzers anzupassen. Insbesondere für mobile Anwendungen, die im Fokus dieses Beitrags stehen, wird der Kontext eines Benutzers wesentlich durch seinen aktuellen Aufenthaltsort und die Objekte in seiner Umgebung bestimmt. Ortsbezogene Anwendungen als eine bedeutende Klasse der kontextbezogenen Anwendungen nutzen diesen Kontext aus, um dem Benutzer zum Beispiel nur solche Informationen zu präsentieren, die an seinem Aufenthaltsort relevant sind. Beispiele für solche Anwendungen finden sich bereits heute in Form von Navigationssystemen, welche die aktuelle Verkehrssituation berücksichtigen, oder ortsbezogene Informationssysteme, die zum Beispiel in der Lage sind, die nächsten Restaurants oder Sehenswürdigkeiten in der Nähe des Benutzers zu ermitteln.

Der Zugriff auf kontextbezogene Informationen kann dabei grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen. Zum einen kann der Zugriff empfängerinitiiert erfolgen, indem der Benutzer aktiv Informationen mit Hilfe einer entsprechenden Anfrage vom System anfordert (engl. pull). Ein Beispiel hierfür ist die bereits oben erwähnte Suche nach den nächsten Restaurants in der Nähe des Benutzers. Zum anderen kann die Vermittlung von kontextbezogenen Informationen auch vom Sender initiiert werden. In diesem Fall ist

der Empfänger passiv, und das System lädt die Informationen auf das Endgerät des Empfängers hoch (engl. push). Ein typisches Beispiel hierfür ist die Vermittlung einer Warnmeldung, die an alle Benutzer in einem bestimmten Gebiet zugestellt werden soll.

In diesem Beitrag betrachten wir die zweite Klasse der Vermittlung kontextbezogener Informationen. Wir stellen ein kontextbezogenes Kommunikationsparadigma namens *Contextcast* vor, das einen Sender in die Lage versetzt, eine Nachricht an alle Benutzer zuzustellen, die einen bestimmten Kontext besitzen. Der Kontext eines Benutzers wird dabei zunächst durch seine Position bestimmt. Die rein ortsbasierte Kommunikation, d.h. das Senden von Nachrichten an alle Nutzer an einem bestimmten Ort wird dabei auch als *Geocast* [1] bezeichnet. *Contextcast* erweitert die Möglichkeiten der Adressierung und betrachtet neben dem Ort weitere Empfängerkontexte wie beispielsweise das Alter eines Empfängers, seine aktuelle Aktivität, seine Interessen oder allgemein seine Situation. Die Möglichkeit zur kontextbasierten Adressierung macht *Contextcast* vielseitig einsetzbar. So können damit wie oben angedeutet Warnmeldungen gezielt an alle Personen an einem bestimmten Ort zugestellt werden. Durch die Berücksichtigung des Empfängerkontexts ist die Vermittlung von Warnmeldungen dabei nicht auf den Ort beschränkt. So können Hinweise über erhöhte Pollenkonzentrationen zum

Beispiel nur an allergische Personen im betroffenen Gebiet zugestellt werden. Weitere Anwendungen sind z.B. die Zustellung von Touristeninformationen, Veranstaltungshinweisen oder kontextbasierten Werbemeldungen.

Der Rest dieses Beitrags ist wie folgt strukturiert. Zunächst führen wir in Abschnitt 2 ein Umgebungsmodell als Grundlage für die Vermittlung orts- und kontextbezogener Informationen ein. Danach betrachten wir in Abschnitt 3 Verfahren für die rein ortsbasierte Vermittlung von Informationen (Geocast). In Abschnitt 4 werden mögliche Ansätze zur Verallgemeinerung der ortsbasierten Kommunikation zur kontextbezogenen Kommunikation betrachtet. Schließlich wird der Beitrag in Abschnitt 5 zusammengefasst.

## 2 Umgebungsmodell

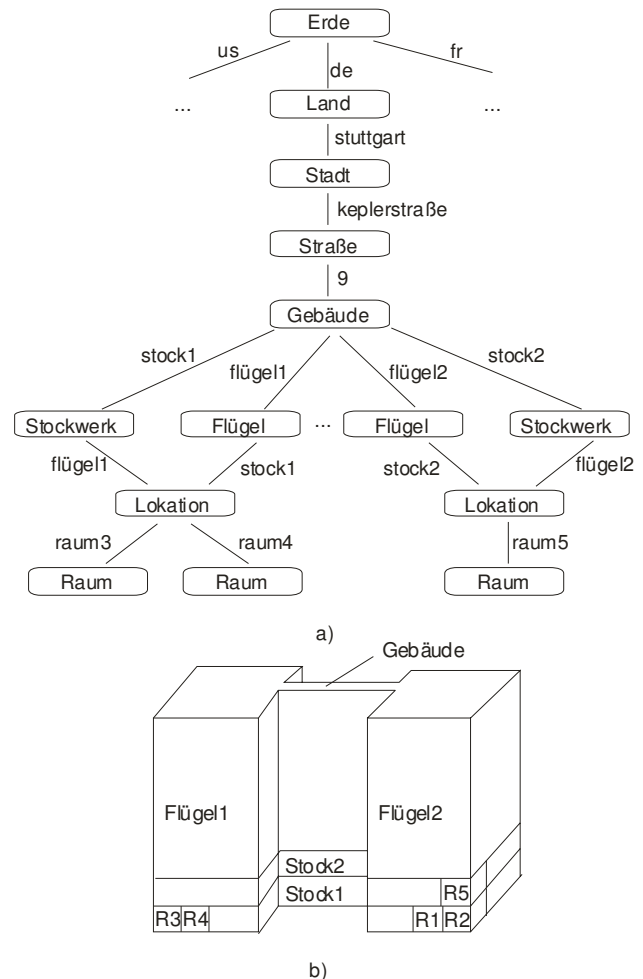
Zur Realisierung von Contextcast wird als Grundlage ein Modell der physischen Umgebung, das heißt, der existierenden Orte und Objekte und ihrer Kontexte, benötigt. Dieses *Umgebungsmodell* wird zum einen zur Adressierung eingesetzt. Wie oben erwähnt spielt bei Contextcast bzw. Geocast insbesondere der Ort eine wesentliche Rolle. Ein grundlegender Bestandteil des Umgebungsmodells ist daher ein *Lokationsmodell*, mit dessen Hilfe der Sender in die Lage versetzt wird, mögliche Zielorte von Nachrichten zu bestimmen. Ein solches Lokationsmodell wird in Abschnitt 3.1 vorgestellt.

Zum anderen kann dieses Umgebungsmodell auch im Vermittlungsprozess eingesetzt werden um festzustellen, wo sich die Empfänger einer Contextcast-Nachricht befinden. Dieser Punkt wird im Detail in Abschnitt 3 behandelt, der sich mit der Nachrichtenvermittlung befasst.

### 2.1 Ein Lokationsmodell zur feingranularen ortsbezogenen Adressierung

Geographische Zielgebiete von Contextcast-Nachrichten und die entsprechenden Empfängerpositionen können grundsätzlich durch zwei verschiedene Klassen von Lokationsmodellen bestimmt werden. *Geometrische Lokationsmodelle* definieren Orte durch geometrische Figuren, beispielsweise Polygone. Koordinaten werden dabei bezüglich eines räumlichen Referenzkoordinatensystems bestimmt, beispielsweise dem globalen World Geodetic System (WGS84). Neben globalen Systemen sind auch lokale System denkbar, wobei für einen weltweiten Einsatz von Contextcast, wie er von uns angestrebt wird, Transformationsvorschriften von lokalen in globale Koordinaten definiert sein müssen. Der Vorteil geometrischer Modelle liegt vor allem in ihrer hohen Flexibilität, da sich durch geometrische Figuren alle Orte bestimmen lassen. Nachteilig ist vor allem ihre unter Umständen hohe Komplexität, vor allem, wenn auch Zielorte innerhalb von Gebäuden betrachtet werden. In diesem Fall sind detaillierte Modelle aller Stockwerke, Räume, usw. erforderlich.

*Symbolische Lokationsmodelle* bestehen dagegen aus einer Menge von Lokationen und deren räumlichen Beziehungen. Die Lokationen werden dabei entsprechend der relevanten Orte gewählt, beispielsweise Städte, Gebäuden, Räume, usw. Da für die ortsbasierte Adressierung insbesondere die räumliche Inklusionsbeziehung von Interesse ist, um zu bestimmen, welche (Empfänger-)Lokationen sich in welchen (Ziel-)Lokationen befinden, bieten sich hierarchische Modelle an. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um einen Lokationsbaum; komplexere Modelle bilden auch überlappenden Lokationen ab. In dem symbolischen Modell in Bild 1 überlappen sich beispielsweise Stockwerke und Gebäudeflügel. Für die Adressierung von Lokationen werden Orte entsprechend der Inklusionsbeziehung durch hierarchische Adressen bezeichnet, zum Beispiel /de/stuttgart für die Stadt Stuttgart in Deutschland. Symbolische Modelle sind für den Benutzer intuitiv verständlich. Ihr Modellierungsaufwand ist geringer als im geometrischen Fall, allerdings sind die Modelle durch die Festlegung auf eine bestimmte Menge von Lokationen weniger flexibel.



**Bild 1** Symbolisches Lokationsmodell

Hybride Lokationsmodelle, die symbolischen Lokationen geometrische Ausmaße zuordnen, vereinen die Vorteile beider Modellklassen. Ein entsprechendes Modell für die ortsbezogene Adressierung wurde von uns in [2] vorge-

schlagen. Im Folgenden konzentrieren wir uns dagegen auf rein symbolische Modelle.

## 2.2 Umgebungsmodellverwaltung

Das Umgebungsmodell einschließlich des Lokationsmodells wird von einem dedizierten Dienst verwaltet und den Contextcast-Komponenten bereitgestellt. Wir verwenden hierfür die im Nexus-Projekt entwickelte Infrastruktur zur Verwaltung räumlicher Umgebungsmodelle [3]. Aus Sicht der kontextbezogenen Kommunikation bietet das *Nexus-System* wichtige Eigenschaften. So ist es in der Lage, durch die verteilte Verwaltung auch globale Modelle bereitzustellen und somit auch große Contextcast-Szenarien zu realisieren. Ferner handelt es sich um ein offenes System, das es verschiedenen Anbietern ermöglicht, ihre Teilmodelle zu integrieren. Hierzu stellen Anbieter ihre Teilmodelle auf so genannten Spatial-Model-Servern bereit. Beispielsweise kann die Universität Stuttgart feingranulare Lokationsmodelle ihrer Gebäude bereitstellen, die in das Stadtmodell der Stadt Stuttgart integriert werden. Durch die Föderation der Teilmodelle wird den Contextcast-Komponenten ein integriertes durchgängiges Modell präsentiert. Die Erweiterbarkeit des Modells hinsichtlich der verwalteten Kontexttypen stellt außerdem sicher, dass für Contextcast relevante Kontextinformationen bei Bedarf ergänzt werden können.

## 3 Ortsbasierte Kommunikation

In diesem Abschnitt betrachten wir im Detail die Vermittlung kontextbezogener Nachrichten. Wir gehen zunächst davon aus, dass Nachrichten rein auf Grundlage des adressierten Orts mittels entsprechender Geocast-Protokolle vermittelt werden. Das Ziel ist also zunächst die Zustellung einer Nachricht an alle Teilnehmer, die sich gerade in einem bestimmten Zielgebiet aufhalten. Das Zielgebiet einer Nachricht bezeichnen wir im Folgenden mit  $\tau$ . Die Erweiterung zu allgemeineren Contextcast-Protokollen, die neben dem Ort auch noch weitere Kontextinformationen bei der Vermittlung berücksichtigt, erfolgt im nächsten Abschnitt.

Ferner betrachten wir hier nur Geocast-Protokolle für die Vermittlung von rein symbolisch adressierten Nachrichten basierend auf baumförmigen hierarchischen Lokationsmodellen (siehe Abschnitt 2.1). Protokolle für geometrisch adressierte Nachrichten finden sich in der Literatur [1].

Wir unterscheiden zwei grundsätzliche Klassen von Geocast-Vermittlungsansätzen, nämlich den verzeichnisbasierten Ansatz und die lokationsbasierte Vermittlung. Diese beiden Ansätze werden im Folgenden genauer beschrieben.

### 3.1 Verzeichnisbasierter Ansatz

Der verzeichnisbasierte Ansatz trennt den Vorgang der Ermittlung der Empfänger und die eigentliche Nachrichtenvermittlung. Er geht also in zwei Schritten vor:

1. Der Sender ermittelt mit Hilfe eines *Verzeichnisses* die IP-Adressen der Empfänger, deren Position sich im adressierten Zielgebiet  $\tau$  befindet.
2. Der Sender sendet die Nachricht mittels IP-basierter Transportprotokolle an die ermittelten Empfängeradressen.

In Schritt 2 können bei der eigentlichen Vermittlung sowohl IP-Unicast-Protokolle als auch IP-Multicast-Protokolle eingesetzt werden. Somit können zwei Subklassen des verzeichnisbasierten Ansatzes unterschieden werden: *Verzeichnisbasierter Ansatz mit Unicast-Vermittlung* und mit *Multicast-Vermittlung*.

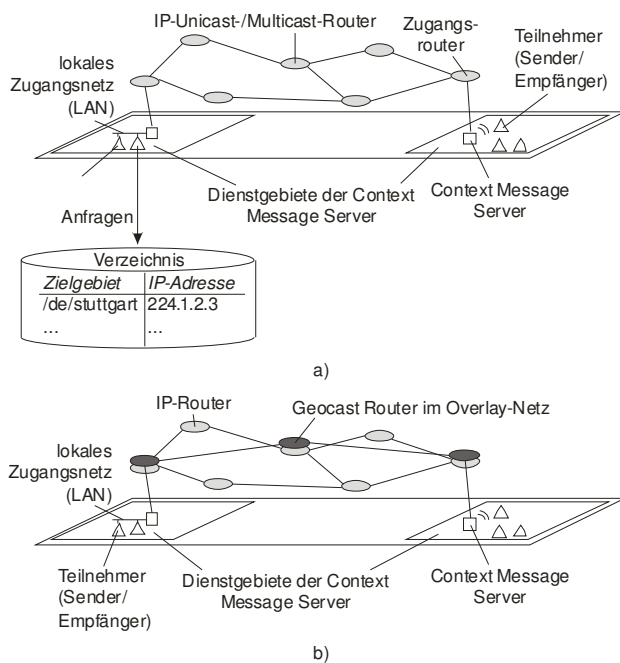
#### 3.1.1 Verzeichnisbasierter Ansatz mit Unicast-basierter Vermittlung

Für die Abbildung der Empfänger im Zielgebiet auf ihre IP-Adressen in Schritt 1 kann das Nexus-System, wie es in Abschnitt 2.2 eingeführt wurde, verwendet werden. Die Nexus-Plattform verwaltet neben stationären Objekten wie Gebäuden oder Straßen auch mobile Objekte im so genannten Nexus-Lokationsdienst [4]. Ein naiver Ansatz könnte somit wie folgt aussehen: Alle mobilen Benutzer melden sich beim Lokationsdienst an und hinterlegen dort ihre IP-Adresse. Der Sender kann dann mittels einer räumlichen Bereichsanfrage mit dem Gebiet  $\tau$  alle Objekte in  $\tau$  und deren IP-Adressen ermitteln und anschließend jeden Empfänger *explizit* mit einer Unicast-Nachricht adressieren.

Der Nexus-Lokationsdienst ist verteilt realisiert und weist die notwendige Skalierbarkeit auch für eine große Menge an mobilen Empfängern auf. Trotzdem besitzt dieser naive Ansatz einen entscheidenden Nachteil. Die Anzahl der ermittelten Objekte kann je nach Zielgebietsgröße und Teilnehmerdichte sehr groß sein, so dass der Aufwand für die Unicast-Vermittlung in Schritt 2 sehr hoch wäre. Um dieses Problem abzuschwächen, verwenden wir einen zweistufigen Vermittlungsansatz. In der ersten Phase, der *globalen Vermittlung*, wird die Nachricht an alle lokalen Netze (LANs) zugestellt, in denen sich potentielle Empfänger befinden. Hierfür führen wir eine spezielle Komponente ein, den so genannten *Contextcast Message Server (CMS)*, siehe Bild 2. Ein CMS ist für ein oder mehrere lokale Netze für die *lokale Vermittlung* von Nachrichten innerhalb dieser Netze zuständig. Er besitzt ein geographisches Dienstgebiet entsprechend der geographischen Abdeckung seiner LANs. Die Größe des Dienstgebiets kann entsprechend der Abdeckung der LANs variieren, vom einzelnen Stockwerk bis hin zu einem ganzen Campus einer Universität. Die Teilnehmer im LAN registrieren sich beim zuständigen CMS. Der CMS registriert sich seinerseits mit seinem Dienstgebiet beim Verzeichnis.

In Schritt 1 werden nun nicht mehr die einzelnen individuellen Empfänger im Zielgebiet ermittelt, sondern die CMS, deren Dienstgebiete  $\tau$  schneiden. Hierfür wurde das Nexus-Umgebungsmodell um Objekte erweitert, die lokale Zugangsnetze inklusive ihrer geographischen Abdeckung und der Adresse des zuständigen CMS modellieren. Zu

beachten ist, dass durch die Entkopplung dem Sender nur die Adressen der CMS, nicht aber die Adressen der Empfänger bekannt gemacht werden, was insbesondere zur Wahrung der Privatheit wünschenswert ist. Ferner ist die Abdeckung eines Netzes eine vergleichsweise statische Information, so dass nicht bei jeder Nutzerbewegung eine Aktualisierung des Verzeichnisses erforderlich wird. In Schritt 2 wird die Nachricht dann vom Sender mittels mehrerer Unicast-Nachrichten an die ermittelten CMS vermittelt (globale Vermittlung). Nachdem der CMS eine Nachricht vom Sender empfangen hat, stellt er in der lokalen Vermittlungsphase die Nachricht an alle Empfänger in seinen LANs zu. Im Folgenden betrachten wir nur die globale Vermittlung vom Sender an die CMS im Zielgebiet. Die lokale Vermittlung innerhalb eines LANs kann beispielsweise durch Multicast erfolgen.



**Bild 2** Geocast-Systemarchitektur. (a) Verzeichnisbasierter Ansatz mit IP-Unicast-/Multicast-Vermittlung. (b) Lokationsbasierte Vermittlung im Overlay-Netz.

Obwohl bei diesem Ansatz nun deutliche weniger Unicast-Nachrichten entsprechend der Anzahl an Netzen im Zielgebiet in Schritt 1 versandt werden, so kann diese Anzahl noch immer signifikant hoch und somit die Vermittlung ineffizient sein. Diesem Problem widmet sich die Multicast-basierte Vermittlung.

### 3.1.2 Verzeichnisbasierter Ansatz mit Multicast-basierter Vermittlung

Trotz der im vorigen Abschnitt eingeführten optimierten Systemarchitektur erzeugt die Unicast-basierte Vermittlung im Falle vieler betroffener lokaler Netze eine hohe Netzlast. Eine effizientere Vermittlung in Schritt 2 verspricht der Einsatz IP-Multicast-basierter Vermittlungsprotokolle. Ziel ist es hierbei, eine Geocast-Nachricht mittels nur einer Multicast-Nachricht an die CMS im Zielgebiet zu vermitteln.

Jeder CMS tritt hierzu entsprechend seines Dienstgebiets Multicast-Gruppen bei. Jeder symbolischen Lokation wird dazu eine eigene Multicast-Gruppe zugeordnet und die Zuordnung im Verzeichnis vermerkt. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um *flache Multicast-Gruppen*, d.h. die Multicast-Gruppenadressen sind voneinander unabhängig und spiegeln insbesondere nicht die hierarchische Beziehung der zugeordneten Lokationen wider. Ein CMS tritt allen Multicast-Gruppen bei, deren zugeordneten Lokationen sein Dienstgebiet schneiden. So tritt beispielsweise der CMS des Campus in Stuttgart der Deutschland-Gruppe, der Stuttgart-Gruppe, der Campus-Gruppe und jeder Gruppe einer Lokation innerhalb des Campus bei. Offensichtlich handelt es sich dabei um sehr viele Gruppen, da sich auf dem Campus viele Lokationen wie Gebäude, Räume, usw. befinden. Geocast-Nachrichten werden vom Sender an die Multicast-Gruppe der adressierten Lokation gesendet und erreichen somit alle CMS, in deren LANs sich potentielle Empfänger befinden.

Obwohl dieser Ansatz auf den ersten Blick das Problem der effizienten Vermittlung zu lösen scheint, so hat er doch auch Nachteile. Zum einen wird für ein globales feingranulares Lokationsmodell mit vielen Lokationen eine große Anzahl an Multicast-Adressen benötigt. Eine entsprechende großer Adressraum erscheint allerdings mit der Einführung der 128 Bit langen Adressen von IPv6 denkbar.

Eine große Anzahl von Multicast-Gruppen kann allerdings auch Schwierigkeiten bei den eingesetzten IP-Multicast-Protokollen hervorrufen. Die Auswirkungen lassen sich dabei nicht generell, sondern nur individuell für das jeweils eingesetzte IP-Multicast-Verfahren beschreiben. Beispielhaft soll hier ein Multicast-Protokoll basierend auf dem Link-State-Routing-Verfahren (LSR) analysiert werden, ähnlich wie es beispielsweise vom Multicast-Open-Shortest-Path-First-Protokoll (MOSPF) implementiert wird. Beim LSR verfügt jeder Router in seinem Gebiet (engl. area) über die vollständige Sicht auf die Netztopologie. Zusätzlich besitzt jeder Router für das Erstellen von Multicast-Verteilbäumen auch die vollständige Information über die Gruppenmitgliedschaften jedes Zugangsrouters in seinem Gebiet, d.h. in unserem Fall von jedem Zugangsrouten, in dessen lokalen Netzen sich ein CMS befindet. Diese Information wird mittels so genannter Link-State-Advertisement-Pakete (LSA) im gesamten Gebiet verteilt. Empfängt eine Router eine Multicast-Nachricht, so kann er mit Hilfe dieser Informationen die Zugangsrouten ermitteln, in deren lokalen Netzen sich Gruppenmitglieder (ein CMS) befinden. Zusammen mit der bekannten Topologieinformation kann jeder Router somit den Verteilbaum mit dem Sender als Wurzel berechnen. Diese Berechnung findet nur bei Bedarf, d.h. beim ersten Empfang eines Multicast-Pakets an die entsprechende Gruppe durch einen Router statt.

Probleme treten hier vor allem aufgrund der Tatsache auf, dass jeder Zugangsrouten unter Umständen einer sehr großen Anzahl an Gruppen angehört, entsprechend der räumlichen Abdeckung des zugehörigen CMS. Diese Informa-

tionen müssen durch LSAs im gesamten Netz bekannt gemacht werden, was eine hohe Netzlast erzeugt. Des Weiteren muss jeder Router für jeden Zugangsrouten eine große Anzahl an Gruppenmitgliedschaften verwalten. Schließlich können Vermittlungstabellen stark anwachsen, wenn ein Router für die Vermittlung vieler Multicast-Gruppen zuständig ist.

Diese Probleme lassen sich durch die Einführung *hierarchischer Multicast-Gruppen* abmildern. Bei diesen Gruppen spiegeln die Gruppenadressen die Inklusionsbeziehung zwischen den zugeordneten Lokationen wider. Das heißt, eine Gruppe A1 ist genau dann ein Präfix der Gruppe A2, wenn die A1 zugeordnete Lokation L1 die Lokation L2 der Gruppe A2 enthält. Für ein baumförmiges symbolisches Lokationsmodell lassen sich solche Adressen leicht erzeugen. Mit Hilfe solcher hierarchischen Adressen können nun Gruppen durch übergeordnete Gruppen aggregiert werden. So muss der Campus-Message-Server beispielsweise nicht mehr allen Gruppen jeder Lokation auf dem Campus *explizit* beitreten. Vielmehr ist es nun ausreichend, wenn er der aggregierten Campus-Gruppe *explizit* beitrifft und somit *implizit* allen anderen Lokationen auf dem Campus. Hierdurch müssen um Größenordnungen weniger Gruppenzugehörigkeiten im LSR-Gebiet bekanntgemacht und bei den einzelnen Routern verwaltet werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, Einträge in den Vermittlungstabellen zu aggregieren.

Zu beachten ist allerdings, dass die Einführung hierarchischer Multicast-Gruppen eine Modifikation der bisher verwendeten Multicast-Protokolle erfordert. Beispielsweise muss eine Nachricht an die Multicast-Gruppe eines Raumes auf dem Campus auch an die (aggregierte) Multicast-Gruppe des Campus vermittelt werden, um eine korrekte Vermittlung sicherzustellen. Erfahrungsgemäß setzen sich solche Änderungen an existierenden IP-Protokollen nur langsam durch, woraus sich die Motivation für die lokationsbasierten Vermittlungsprotokolle in einem Overlay-Netz ergibt.

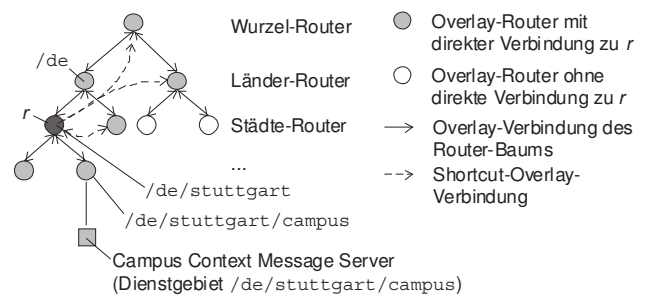
### 3.2 Lokationsbasierte Vermittlung

Mit dem im vorigen Abschnitt vorgestellten verzeichnisbasierten Ansatz mit Multicast-basierter Vermittlung wird zwar eine effiziente Vermittlung von Geocast-Nachrichten ermöglicht, allerdings sind hierzu ein großer IP-Multicast-Adressraum und modifizierte IP-Multicast-Protokolle erforderlich. Durch die Trennung der Ermittlung der Empfänger von der eigentlichen Nachrichtenvermittlung verschiebt sich außerdem ein großer Teil der Komplexität von der Vermittlungsinfrastruktur in die Realisierung eines skalierbaren Verzeichnisses.

Anstatt die Empfängerermittlung von der Vermittlung zu trennen, werden diese zwei Schritte nun *integriert* betrachtet. Hierzu wird eine Vermittlungsinfrastruktur geschaffen, die in der Lage ist, direkt anhand von Lokationsinformationen Vermittlungsentscheidungen zu treffen. Hierfür führen wir ein dem IP-Netz überlagertes *Overlay-Netz* ein, das

entsprechend der Hierarchie des Lokationsmodells strukturiert ist (siehe Bild 3). Für jede Lokation ist ein dedizierter (logischer) Overlay-Router zuständig. Aufgrund der großen Anzahl an Lokationen ist es dabei nicht sinnvoll, pro Lokation einen separaten physischen Overlay-Router zu verwenden. Vielmehr kann ein Router auch für mehrere Lokationen zuständig sein, d.h. ein physischer Router implementiert mehrere logische Router.

Die Router bilden ein Overlay-Netz, wobei die primäre Netztopologie dem Baum des Lokationsmodells entspricht. Das heißt, jeder (logische) Router besitzt eine Verbindung zu den dedizierten Routern von direkt unter- und übergeordneten Lokationen seiner eigenen Lokation. Context-Message-Server registrieren sich bei den Overlay-Routern entsprechend ihrer Dienstgebiete, d.h. der CMS des Campus in Stuttgart registriert sich z.B. beim dedizierten Router der Campus-Lokation (siehe Bild 3).



**Bild 3** Lokationsbasiertes Overlay-Netz

Geocast-Nachrichten können nun durch die Overlay-Router durch Vergleich der symbolischen Zielgebietsadresse der Nachricht mit den Lokationen der benachbarten Router entlang des Baumes zu allen Routern weitergeleitet werden, deren Lokation sich im Zielgebiet befindet. Diese leiten die Nachricht an die registrierten CMS zur lokalen Vermittlung weiter.

Obwohl das baumförmige Overlay-Netz bereits eine funktionstüchtige Vermittlungsinfrastruktur darstellt, so besitzt es doch auch Nachteile hinsichtlich der Skalierbarkeit und Effizienz. So können insbesondere Router nahe der Wurzel des Baumes zu Flaschenhälsen werden, und Nachrichtenpfade sind bei geographisch entfernten Sendern und Empfängern relativ lang. Diesen Problemen begegnen wir durch die Einführung weiterer Verbindungen – so genannte *Shortcuts* – in den Baum. Wir wählen diese Shortcuts so, dass ein Router relativ viele kurze Verbindungen zu anderen Routern in seiner geographischen Nähe und wenige lange Verbindungen zu geographisch weit entfernten Lokationen besitzt. Diese Idee entspricht im Grundsatz dem Kleinberg-Modell [5], das auch die Grundlage von diversen Peer-to-Peer-Overlay-Netzen bildet. Neben diesen Verbindungen zu *statisch* gewählten Lokationen führen wir außerdem *dynamische Shortcuts* ein, die ihre Ziele entsprechend der Popularität der Zielgebiete wählen [6].

Insgesamt erzielen wir hierdurch eine Overlay-basierte Vermittlungsinfrastruktur, die keine Modifikation der unterlagerten IP-Vermittlungsinfrastruktur und keine Alloka-

tion von IP-Multicast-Adressen erfordert. Entsprechende Experimente haben außerdem gezeigt, dass die resultierende Pfadlänge im Vergleich zur (optimalen) IP-basierten Vermittlung nur geringfügig länger und der Overlay-basierte Ansatz somit sehr effizient ist.

## 4 Von der orts- zur kontext-bezogenen Kommunikation

Die in Abschnitt 3 vorgestellten Geocast-Systeme ermöglichen eine effiziente Vermittlung rein ortsbezogener Informationen an eine große Menge von Empfängern. Das Contextcast-Kommunikationsparadigma berücksichtigt weitere Empfängerkontexte bei der Nachrichtenvermittlung. Zum einen können dies zusätzliche Empfängerattribute wie Empfängertyp (z.B. Fahrzeug oder Person), Alter, Geschlecht oder Interessen sein. Im Zuge der effizienten Nachrichtenverteilung ist es wünschenswert, diese Attribute bereits bei der Vermittlung zu berücksichtigen, und nicht die Empfänger filtern zu lassen. Die oben eingeführten Vermittlungsinfrastrukturen sind dabei nicht direkt einsetzbar. Der verzeichnisbasierte Ansatz mit Unicast-basierter Vermittlung kann – wenn das Verzeichnis die zusätzlichen Attribute unterstützt – zwar verwendet werden, allerdings ist er durch die Verwendung von Unicast-Protokollen inhärent auf kleine Empfängergruppen beschränkt. Bei der Verwendung der Multicast-basierten Vermittlung ergibt sich das Problem der Abbildung beliebiger Empfängerattribute auf eine beschränkte Menge von IP-Multicast-Gruppen. Aufgrund der kombinatorischen Vielfalt, die insbesondere keine einfache Hierarchisierung wie bei der Betrachtung der Lokationen ermöglicht, erscheint diese Aufgabe als sehr schwierig.

Vielversprechender erscheint eine Erweiterung der lokationsbasierten zur *kontextbasierten Vermittlung*. Hierbei bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Umsetzung. Zum einen können Geocast-Overlay-Netzen um zusätzliche Kontextattribute erweitert werden. Zum anderen könnten auch so genannte inhaltsbasierte Publish/Subscribe-Overlay-Netze eingesetzt werden [7]. Bei letzteren erfolgt zwar eine Filterung aufgrund von Inhalts-Attributen im Netz, allerdings erweist sich die Integration von Lokationsinformationen dabei als schwierig [8]. Diese Ansätze sind Gegenstand unserer aktuellen Forschung.

Denkbar ist außerdem die Betrachtung zeitbezogener Empfängerkontexte (Historien) bei der Nachrichtenverteilung. Hiermit wäre es beispielsweise möglich, einen Zeugenauf-ruf an alle Personen zu verteilen, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Vergangenheit an einem bestimmten Ort aufgehalten haben. Die skalierbare Verwaltung von Positionshistorien wird derzeit im Nexus-Projekt erforscht [9]. Aus Sicht von Contextcast stellt sich die Frage, wie diese Informationen in die Verteilung von Nachrichten einbezogen werden können, insbesondere auch unter Berücksichtigung der Privatheit der Teilnehmer. Entsprechende Betrachtungen sind ebenfalls Gegenstand unserer aktuellen Forschung.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag haben wir Contextcast als ein neues Kommunikationsparadigma zur Verteilung kontextbezogener Informationen eingeführt. Zunächst haben wir uns dabei auf die rein ortsbezogene Vermittlung (Geocast) konzentriert und hierfür verschiedene Vermittlungsverfahren beschrieben. Schließlich haben wir die Herausforderungen bei der Erweiterung der orts- zur kontextbezogenen Kommunikation identifiziert, die wir in zukünftigen Arbeiten betrachten.

## Danksagungen

Diese Arbeit wurde zum Teil durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft innerhalb des SFB 627 finanziert.

## 6 Literatur

- [1] J.C. Navas, T. Imielinski: GeoCast – Geographic Addressing and Routing. In Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, 1997.
- [2] F. Dürr, K. Rothermel: On a Location Model for Fine-Grained Geocast. In Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Ubiquitous Computing, 2003.
- [3] D. Nicklas, M. Großmann, T. Schwarz, B. Mitschang: A Model-Based, Open Architecture for Mobile, Spatially Aware Applications. In Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Spatial and Temporal Databases, 2001.
- [4] A. Leonhardi, K. Rothermel: Architecture of a Large-scale Location Service. In Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Conference on Distributed Computing, 2002.
- [5] J. Kleinberg: The small-world phenomenon: an algorithm perspective. In Proceedings of the 32<sup>nd</sup> annual ACM symposium on Theory of computing, 2000.
- [6] F. Dürr, K. Rothermel: An Adaptive Overlay Network for World-wide Geographic Messaging. In Proceedings of the 22<sup>nd</sup> IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2008.
- [7] A. Carzaniga: Achieving scalability and expressiveness in an Internet-scale event notification service. In Proceedings of the 9th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, 2000.
- [8] G. Cugola, J.E. Munoz de Cote: On Introducing Location Awareness in Publish-Subscribe Middleware. In Proceedings of the 25th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2005.
- [9] R. Lange, F. Dürr, K. Rothermel: Scalable Processing of Trajectory-Based Queries in Space-Partitioned Moving Objects Databases. In Proceedings of the 16<sup>th</sup> ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information, 2008.