

Basissoftware für selbstorganisierende Infrastrukturen für vernetzte mobile Systeme

Martina Zitterbart*, Stefan Fischer#

*Institut für Telematik
Universität Karlsruhe
Zirkel 2
76128 Karlsruhe
zit@tm.uka.de

#Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund
TU Braunschweig
Mühlenpfordtstraße 23
38106 Braunschweig
fischer@ibr.cs.tu-bs.de

Abstract: In der Informationstechnologie haben zwei große Trends in den letzten Jahren für massive Veränderungen gesorgt, nämlich die zunehmende Mobilität von Rechnern bzw. Geräten mit grundlegender IT-Ausstattung sowie die weiträumig verfügbaren drahtlosen Kommunikationsmöglichkeiten. Auf der Basis dieser Technologien ergeben sich ganz neue Anwendungsmöglichkeiten, die vor allem die Tatsache nutzen, dass sich Netze spontan bilden und sehr dynamisch bzgl. ihrer Topologie und den angebotenen Diensten verhalten können. Entscheidend für die Funktion solcher Netze ist das Prinzip der Selbstorganisation. Das DFG-Schwerpunktprogramm 1140 „Basissoftware für selbstorganisierende Infrastrukturen für vernetzte mobile Systeme“ beschäftigt sich mit Softwareunterstützung für solche selbstorganisierenden Netze. In diesem Beitrag wird das SPP vorgestellt, indem zunächst ausführlich auf die neuen Szenarien eingegangen wird. Anschließend wird die inhaltliche Struktur des SPP erläutert, bevor die einzelnen Projekte jeweils kurz dargestellt und in den Kontext des SPP eingepasst werden.

1 Motivation und Herausforderungen

Computer sind schon seit geraumer Zeit in unterschiedlichsten Geräten vorhanden und im Alltagsleben im Einsatz, ohne dass dies dem Benutzer wirklich bewusst ist. Beispiele sind eigenständige Prozessoren zur Regelung des Ablaufs von Waschmaschinen, vernetzte Prozessoren für unterschiedlichste Steuerungsaufgaben in PKWs (hier befinden sich heute einige Dutzend Prozessoren im Einsatz) oder komplexe HW- und SW-Systeme im Handy. Weit darüber hinaus gehende Einsatzmöglichkeiten werden durch die erheblichen Fortschritte im Bereich der drahtlosen Kommunikation und der Sensorik absehbar, insbesondere durch spontane hochdynamisch etablierte Kommunikationsbeziehungen zwischen verschiedenartigsten Kommunikationspartnern (z.B. Notebook, Handy, Sensor, Aktor). *Selbstorganisierende Infrastrukturen* gewinnen in diesem Zu-

sammenhang einen immer höheren Stellenwert, befinden sich aber heute noch in vielen entscheidenden Aspekten in den Kinderschuhen. Zu diesen gehört insbesondere die softwaretechnische Unterstützung und Bereitstellung von höherwertigen Diensten und verteilten Anwendungen.

Ganz wesentlich ist der Aspekt, dass bei selbstorganisierenden Netzen *keine feste Infrastruktur* erforderlich ist – dies gilt sowohl für die Vernetzung selbst als auch für die Bereitstellung höherwertiger Dienste bzw. für die Bereitstellung von anpassbaren verteilten Anwendungen und Anwendungskomponenten.

Darüber hinaus ist die *steigende Vielfalt mobiler Geräte* zu beachten. Es handelt sich dabei nicht mehr nur um Notebooks, sondern zu ganz wesentlichen Teilen auch um kleinere Geräte wie beispielsweise PDAs, Handys oder Prozessoren und Sensoren, die etwa in die Kleidung eingebettet sein können oder die sich in Fahrzeugen und Gebäuden befinden. Damit steigt auch die Anzahl solcher mobiler Geräte, und ein Aufbau einer drahtlosen Infrastruktur mit Bereitstellung von Diensten ohne direkten Anschluss an ein Festnetz wird zunehmend möglich und wünschenswert. Darüber hinaus werden in Zukunft nicht nur die Geräte selbst mobil sein, sondern auch die im Netz bereitgestellten Dienste. Der Zugang über das Festnetz ist nur noch eine Alternative unter vielen, um einen Dienst in Anspruch zu nehmen. Dienste können vielmehr auch direkt über mehrere Teilstrecken eines drahtlosen Netzes genutzt werden, beispielsweise ein Web-Proxy in einem Notebook, das gerade in einem an der Ecke parkenden PKW liegt und über einige drahtlose Teilstrecken von einem PDA (Personal Digital Assistant) aus in Anspruch genommen wird. Beide Geräte benötigen hierzu keinerlei Zugang zum Festnetz.

Im Kontext selbstorganisierter vernetzter mobiler Systeme werden sich neuartige Netzstrukturen entwickeln, die mit teilweise erheblicher Dynamik ihre grundlegende Struktur (z.B. Topologie, Lokation von Diensten) verändern, was komplett im Gegensatz zu den heute meist sehr statischen Festnetzen steht, die auch die Kernkomponente von Netzen mit drahtlosem Zugang wie GSM und UMTS bilden. Eine höhere Dynamik wird insbesondere in multihop ad-hoc Netzen erwartet, aber auch in Body-Area-Netzen, Gebäude-netzen und Sensornetzen im allgemeinen, zumindest dann, wenn sie mit weiteren Komponenten aus der Umwelt interagieren, die mobil sind, also etwa mit Besuchern innerhalb eines vernetzten Gebäudes.

Insgesamt ist dabei zu beachten, dass nicht nur die Geräte selbst mobil sind, sondern auch die sich darauf befindlichen Dienste sowie die verteilten Anwendungen. Selbstorganisation findet hier also auch auf unterschiedlichen Ebenen statt und es ist zu erwarten, dass übergreifende Interaktionen wesentlich zur Beherrschbarkeit solcher hochdynamischer Systeme beitragen. Damit höherwertige Dienste und Anwendungen rasch und unkompliziert bereitgestellt werden können, bedarf es einer höherwertigen technischen Infrastruktur, die heute unter Schlagworten wie Basissoftware oder Middleware laufen. Zwar existieren mannigfaltige Lösungen für derartige Infrastrukturen, allerdings sind sie auf die besonderen Herausforderungen in selbstorganisierenden vernetzten mobilen Systemen keineswegs vorbereitet. Das DFG-Schwerpunktprogramm 1140 befasst sich deshalb mit neuen Methoden und Verfahren für deren softwaretechnische Beherrschung.

Besondere *Herausforderungen* hierbei ergeben sich zum einen durch die schon mehrfach strapazierte potenziell hohe Dynamik der Mobilität der Geräte, Dienste und Anwendungen. Weiterhin stehen für die Kommunikation zwischen den mobilen Geräten drahtlose Kommunikationstechniken mit typischerweise limitierten Übertragungsressourcen zur Verfügung. Hier muss demnach auch im Bereich der Middleware möglichst darauf geachtet werden, dass diese Ressourcen nicht unnötig beansprucht werden. Dies ist auch im Rahmen des Energiemanagements wesentlich, denn gerade das Senden von Daten beansprucht die Batteriekapazität der mobilen Geräte unter Umständen recht stark. Eine ebenso große Herausforderung stellt die unter Umständen hohe Unzuverlässigkeit der beteiligten Kommunikationspartner dar. Unter anderem bedingt durch die Mobilität, die Nutzungsart (z.B. situationsbedingtes komplettes Ausschalten von Geräten) bzw. durch Umwelteinflüsse kann die Zuverlässigkeit der Kommunikationspartner, die ja auch Teil der Infrastruktur selbst sind (d.h. oftmals auch als Router fungieren) erheblich beeinträchtigt werden. Gefordert sind also Lösungen im Bereich der Middleware, die den durch die oben geschilderten Randbedingungen und Unwägbarkeiten resultierenden Herausforderungen gerecht werden können.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die im Rahmen des SPP 1140 (<http://www.tm.uka.de/forschung/SPP1140/>) durchgeführten Forschungsarbeiten. Die einzelnen Projekte werden zunächst in einen gemeinsamen Kontext eingebracht und anschließend kurz separat in ihren wesentlichen Zielen und bisherigen Ergebnissen geschildert. Für eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse sei auf die individuellen Veröffentlichungen der einzelnen Projekte verwiesen. Es sei weiterhin darauf hingewiesen, dass die meisten Projekte im Spätsommer 2002 begonnen haben und bei Erstellung dieses Beitrags noch nicht einmal ein Jahr Bearbeitungszeit aufweisen.

2 Das Schwerpunktprogramm im Überblick

Eine grundlegende Annahme bei allen involvierten Projekten besteht darin, dass eine Vielzahl potenziell mobiler Knoten mit evtl. sehr unterschiedlichen Charakteristika kommunizieren und kooperieren möchte. Mobile Geräte können dabei Notebooks, Handys, Sensoren, RFIDs, Kameras etc. sein. Bedingt durch die Heterogenität kann beispielsweise die Adaption des Datenstroms bei der Übertragung erforderlich sein. Hinsichtlich der Kommunikation wird angenommen, dass eine Verbindung zum Festnetz durchaus vorhanden sein kann, aber keinesfalls zwingend zur Verfügung steht. Das Paradigma der Selbstorganisation spielt eine außerordentlich wichtige Rolle. Die Kommunikations- und Kooperationspartner müssen ihre Infrastruktur dezentral organisieren – ein Systemadministrator steht nicht zur Verfügung. Darüber hinaus muss gegebenenfalls mit einer hohen Dynamik und damit häufigen Änderungen der Netztopologie gerechnet werden. Die verwendeten Protokolle sowie die bereitgestellten Dienste und Anwendungen müssen in der Lage sein, sich an diese Veränderungen anzupassen, weshalb übergreifende Aktionen zwischen den involvierten Ebenen eines verteilten Systems eine wichtige Rolle spielen. Die im Rahmen des Schwerpunktprogramms durchgeführten Projekte lassen sich drei unterschiedlichen Ebenen zuordnen (s. Abb. 1):

- Selbstorganisierende mobile ad-hoc Netze,
- Middleware und
- Anwendungen bzw. Anwendungengineering,

wobei der Schwerpunkt der Arbeiten im Bereich der Middleware zu sehen ist. Die Integration von Projekten aus den Bereichen der selbstorganisierenden mobilen ad-hoc Netze sowie der Anwendungen selbst wird als außerordentlich wichtig angesehen, um ebenenübergreifende Aspekte gezielt einzubringen.

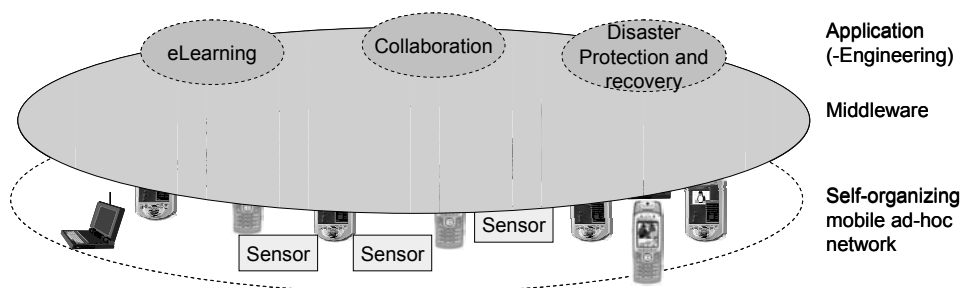


Abbildung 1: Drei Ebenen des SPP 1140

2.1 Beispielanwendungen

Derzeit werden im SPP 1140 drei verschiedene Anwendungsbereiche näher betrachtet: Katastrophenschutz, eLearning und Kollaboration. Die grundsätzliche Relevanz und Anwendbarkeit der entwickelten Konzepte im Bereich der selbstorganisierenden mobilen ad-hoc Netze sowie der darüber angesiedelten Middleware (s. Abb. 3) sind bei weitem nicht auf diese Szenarien beschränkt.

Im Kontext des *Katastrophenschutzes* können vernetzte Sensoren zu vielfältigen Zwecken eingesetzt werden, beispielsweise bei der Überwachung von Hochwasserdämmen bei Flutkatastrophen (s. Abb. 2). Hierzu können z.B. eine Art *smarte Sandsäcke* eingesetzt werden, die mit drahtlos kommunizierenden Sensoren bestückt sind. Sind die Sandsäcke auf Hochwasserdämmen platziert, organisieren sich die Sensoren selbst zu einem Sensornetz bzw. zu mehreren miteinander verbundenen Teilnetzen und kooperieren miteinander, beispielsweise, um Lecks im Damm zu erkennen. Hierzu müssen Daten über die aktuelle Feuchtigkeit erfasst, gesammelt und ausgewertet werden. Es ist klar ersichtlich, dass sich die Sensoren selbst zu einem kooperierenden Netzwerk konfigurieren müssen – Selbstorganisation ist hier eine Voraussetzung für die Realisierbarkeit. Die Sensoren können weiterhin über eine gewisse Intelligenz verfügen, also gegebenenfalls die erfassten Daten sammeln, zwischenspeichern und vorverarbeiten, um zu entscheiden, ob diese überhaupt weiter kommuniziert werden müssen. Weiterhin sollten die Sensoren in der Lage sein, eine Entscheidung darüber zu treffen, ob eine Gefahr für den Bruch des Damms vorliegt oder nicht. Hierzu ist zum einen die Kooperation der Sensoren gefor-

dert, zum anderen müssen einzelne fehlfunktionierende Sensoren erkannt werden, um Fehlalarme zu vermeiden.

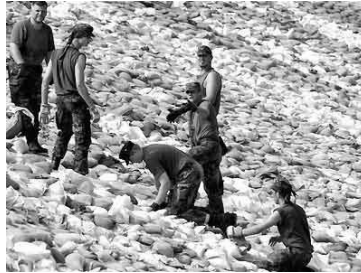


Abbildung 2: Hochwasserschutz mit (smarten) Sandsäcken (D. Timmermann, Rostock ©)

Darüber hinaus sind viele weitere Situationen im Katastrophenschutz denkbar, in denen der Einsatz von Sensoren zu wesentlichen Fortschritten beitragen kann. Generell kann hier davon profitiert werden, dass Menschen Sensoren mit sich tragen, dass Sensoren sich in Fahrzeugen etc. befinden, also Teil der Umgebung sind, oder dass Sensoren von Flugzeugen bzw. von Menschen abgeworfen und damit in die Umgebung eingebracht werden. Insgesamt kann so der aktuelle Zustand auch dann erfasst werden, wenn Menschen das Gebiet, aus welchen Gründen auch immer, nicht betreten können. Hier ergibt sich typischerweise eine Struktur aus Sensoren, die nach deren Installation nicht mehr mobil sind (etwa solche in Sandsäcken) und solchen Sensoren, die mobil sind, etwa durch Montage am Menschen oder an mobilen Robotern.

Weitere Anwendungsbeispiele, die im Rahmen des Schwerpunktprogramms untersucht werden, liegen im Bereich des *eLearnings* und der *Kollaboration*. Mobilität, Spontaneität und Selbstorganisation spielen auch hier eine wichtige Rolle. Es wird beispielsweise angenommen, dass Lernende auf einem Campus mehr und mehr mit mobilen Geräten (z.B. Notebook, Handy, PDA) ausgestattet sind und dass sie diese auch für das Lernen selbst einsetzen. Das Auffinden und Austauschen von relevanten Lernmaterialien sowie die spontane Bildung von Lerngruppen sind typische Szenarien die betrachtet werden. Die Lernmaterialien befinden sich dabei auf den mobilen Geräten der Lernenden und nicht unbedingt auf zentralen Servern. Dies ist beispielsweise typisch für die gerade erstellten Lösungen zu einer Übungsaufgabe oder für das im Rahmen eines Praktikums implementierte Programm. Hierbei kann sich ein Markt von Lernmaterialien etablieren. Insbesondere betrachtet wird die Kollaboration zwischen den Lernenden, unabhängig davon, ob sich diese auf dem Campus oder an einer anderen Lokation (z.B. Cafe, Wohnheim) befinden (vgl. Abb. 3). Weiterhin interessant ist die Fragestellung, wie die gesuchten Lernmaterialien gefunden werden können. Hierzu sind geeignete Beschreibungen erforderlich.

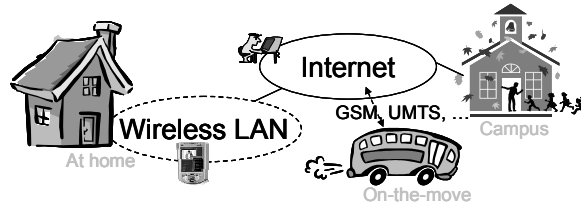


Abbildung 3: eLearning mit mobilen Lernenden

2.2 Aspekte der Middleware

Die derzeit im SPP 1140 geförderten Projekte decken die in Abbildung 4 dargestellten Themen ab. Die Fokussierung der Projekte auf Middleware und nahe daran angesiedelten Fragestellungen ist deutlich zu erkennen.

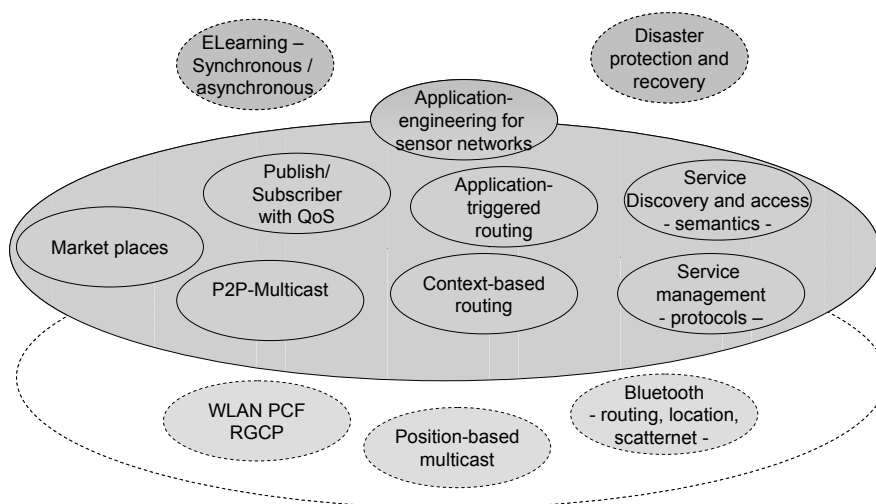


Abbildung 4: Derzeit untersuchte Fragestellungen im SPP1140

An der Schnittstelle zwischen Anwendungen und Middleware ist ein Projekt angesiedelt, welches sich mit dem Entwurf von Anwendungen für Sensornetze befasst und dabei explizit zum einen eine große Anzahl von Sensoren berücksichtigt und zum anderen der Tatsache Rechnung trägt, dass Sensoren unzuverlässig sind und damit während des Betriebs ausfallen und meistens nicht mehr ersetzt werden.

Lokalisierung und Zugriff von Diensten stellen weitere wichtige Fragestellungen dar, die im Kontext des SPP1140 untersucht werden. Beachtung finden dabei zum einen entsprechende Protokolle, zum anderen aber auch die Semantik, die erforderlich ist, um Dienste zu beschreiben und zu finden. Beides sind Problemstellungen, die heute auch in Festnetzen noch nicht befriedigend gelöst sind, die aber gerade im Kontext selbstorganisierender Systeme von außerordentlicher Wichtigkeit sind, und für deren Realisierung die Berücksichtigung der Eigenschaften hochmobiler Systeme wesentlich ist.

Ebenso wichtig ist die Betrachtung unterschiedlicher Typen von Anwendungen mit verschiedenen „Kommunikationsprofilen“, um zu vermeiden, dass die entwickelten Lösungen zu stark auf eine bestimmte Anwendung hin zugeschnitten sind und evtl. darüber hinausgehende Fragestellungen keine Berücksichtigung finden. Im Schwerpunktprogramm wird dies zum einen durch die Betrachtung stark unterschiedlicher Anwendungen gewährleistet (s. oben), aber auch durch die Forschung hinsichtlich verschiedener Interaktionsmuster. Explizit betrachtet werden Publish/Subscribe-basierte Anwendungen sowie so genannte Marktplätze, auf denen Waren (in diesem Fall Lernmaterialien und ähnliches) gehandelt werden. Gruppenkommunikation, die etwa beim Lernen in Teams wichtig ist wird ebenfalls untersucht. Dedizierte Peer-to-Peer-Unterstützung hinsichtlich der Verwaltung von Gruppen wird hier unter anderem betrachtet.

Höherwertiges Routing stellt darüber hinaus eine wichtige Komponente der Middleware dar. Hier wird Routing auf der Basis von Anwendungsentscheidungen durchgeführt bzw. gesteuert durch den Kontext in dem sich eine Anwendung befindet. Diese Entscheidungen überlagern die Routingentscheidungen der Basisinfrastruktur. Sie sollten im Sinne eines möglichst reibungslosen Ablaufs mit geringem Overhead möglichst gut mit den in der Basisinfrastruktur getroffenen Entscheidungen harmonisieren. Ebenen-übergreifende Interaktionen stellen also dabei einen ganz wesentlichen Aspekt dar.

2.3 Basisinfrastruktur

Hinsichtlich der Basisinfrastruktur befassen sich die involvierten Projekte im Wesentlichen mit der Frage der Wegewahl in hochdynamischen selbstorganisierenden Systemen. Es werden zum einen neuartige Formen des positionsbasierten Routings insbesondere für die Realisierung von Multicast untersucht. Die Realisierung von größeren Bluetooth-Netzen, so genannten Scatternetzen, ist ebenso Gegenstand der Untersuchungen wie die Bereitstellung von Dienstgüte bei der Verwendung von drahtlosen mobilen Netzen am Beispiel von WLAN.

2.4 Ebenen-übergreifendes Routing

Trotz der erst recht kurzen Laufzeit der Projekte des Schwerpunktprogramms sind bereits wichtige Synergieeffekte zwischen den einzelnen Projekten zu erkennen. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden in dieser Hinsicht speziell die Synergien im Bereich des Routings dargestellt. Einen Überblick über die hinsichtlich des Routings sowohl in der Basisinfrastruktur als auch in der Middleware untersuchten Aspekte gibt Abbildung 5. Es wurden bereits vielfache übergreifende Interaktionen identifiziert, die im Rahmen der Projekte weiter verfolgt werden.

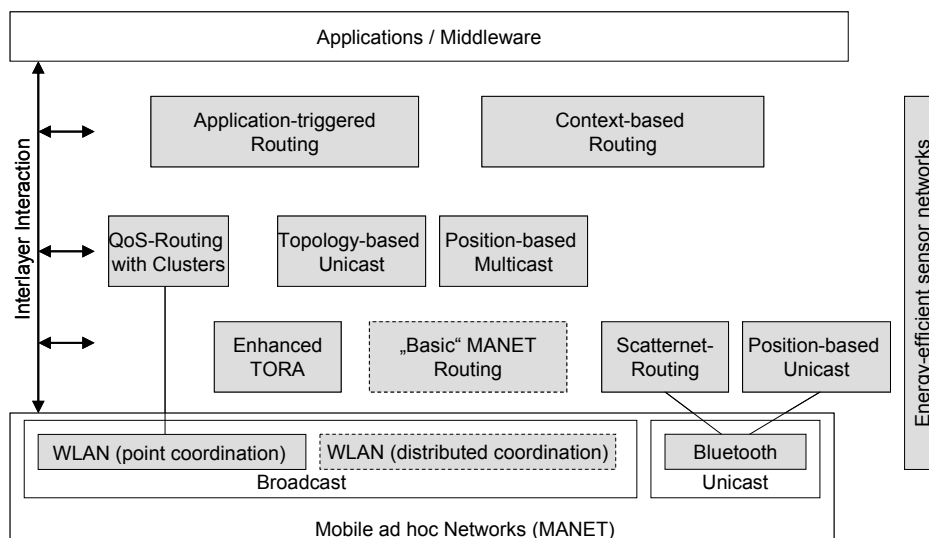


Abbildung 5: Ebenen-übergreifendes Routing im SPP1140

In Abbildung 5 sind unten zunächst mobile ad-hoc Netze mit den derzeit meistens diskutierten Technologien der drahtlosen lokalen Netze (WLANs) und Bluetooth dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass Forschung im Bereich der Technologien für mobile ad-hoc Netze nicht Gegenstand von SPP 1140 ist. Entsprechende Arbeiten können etwa im Schwerpunktprogramm 1102 gefunden werden.

WLAN und Bluetooth werden von den Projekten verwendet und im Rahmen des SPP 1140 hinsichtlich höherwertiger Dienste weiterentwickelt. Hierzu gehört basierend auf den so genannten *Point-Coordination Functions* von WLAN die Bereitstellung von QoS-basiertem Routing sowie basierend auf der Bluetooth-Technologie die Realisierung von Scatternetzen und die Integration von Positionsinformation.

Vielfach werden die in der IETF-Arbeitsgruppe MANET (mobile ad-hoc networks) diskutierten Routingverfahren zugrunde gelegt. Allerdings werden auch projektspezifische Weiterentwicklungen vorangetrieben, beispielsweise hinsichtlich des Verfahrens TORA.

Bereits in die Middleware einzuordnen sind die Routing-Ansätze, die von der Anwendung bzw. dem Kontext gesteuert werden. Auch hier ist die ebenenübergreifende Interaktion wichtig, die im Rahmen des Schwerpunktprogramms dediziert untersucht werden. Flankierend wird der Aspekt der Energieeffizienz gesehen. Dieser wird derzeit zwar im Wesentlichen in einem einzigen Projekt dediziert untersucht, ist aber in seinen Auswirkungen auf allen Ebenen wichtig für ein energieeffizientes Gesamtsystem.

3 Kurzüberblick über die einzelnen Projekte

Im Folgenden werden die am SPP 1140 beteiligten Projekte jeweils kurz präsentiert. Für detailliertere Darstellungen und Diskussionen der bisher erzielten Ergebnisse sei auf die angegebene Literatur verwiesen. Die Reihenfolge orientiert sich dabei an der Gliederung der Projekte in die in Abb. 1 und Abb. 4 dargestellten Ebenen.

3.1 Mobile spontan vernetzte Sensornetze (Timmermann, Rostock)

Ausgangspunkt des Projektes ist die Verwendung von Sensoren, die über eine Kommunikationsmöglichkeit per Bluetooth verfügen [BHG03]. Anwendungsbeispiel ist etwa das oben erwähnte Beispiel mit den smarten Sandsäcken. Die Ziele des Projektes sind zum einen in der Realisierung von Scatternetzen zu sehen, um überhaupt auf der Basis von Bluetooth größere Netze etablieren zu können. In solchen Scatternetzen sollen dann geeignete Verfahren für das Routing bzw. für das Auffinden von Diensten entwickelt werden. Die Optimierung der verwendeten Ressourcen ist hierbei ein übergreifendes Designziel, bei dem auch die Position der Sensoren mit eingehen soll. In diesem Zusammenhang nimmt das Projekt auch eine wichtige Stellung innerhalb des SPP 1140 ein – Schnittstellen zu vielen anderen Projekten bestehen.

Die bisherigen Arbeiten befassten sich mit der Bereitstellung eines erweiterten Bluetooth-Kommunikationsstacks auf der Basis der Linux-basierten Bluetooth-Implementierung μ BlueZ. Die wesentlichen neuen Fähigkeiten des Kommunikationsstacks sind dabei im Routing sowie bei der Dienstfindung zu sehen. Die entsprechenden Komponenten wurden oberhalb der L2CAP-Schicht in den Stack integriert. Weitere Informationen: <http://www-md.e-technik.uni-rostock.de/~bj74/basissoftware/>.

3.2 Positions-basiertes Multicast-Routing (Effelsberg/Mauve, Mannheim)

Aufbauend auf früheren Arbeiten der Forschungsgruppe wird im Rahmen des Schwerpunktprogramms ein Protokoll zum positionsbasierten Multicast-Routing konzipiert und prototypisch implementiert. Es wird ein unzuverlässiger Dienst angeboten. Ausgangspunkt ist positionsbasiertes Unicast-Routing, das generalisiert werden soll. Eine Herausforderung besteht dabei in der Bestimmung desjenigen Knotens im Netz, ab dem der Multicastverkehr in verschiedene Richtungen aufgeteilt wird. Es soll, wie im Unicast-Fall, eine Planarisierung durchgeführt werden und dann die Rechte-Hand-Regel für planare Graphen eingesetzt werden.

Darüber hinaus wird Wert auf eine skalierbare Gruppenverwaltung sowie auf eine skalierbare Verteilung der Informationen über die Position der Empfänger der Gruppe. Eine geeignete Lastverteilung soll ebenfalls berücksichtigt werden.

Eine erste prototypische Implementierung sowie erste Ergebnisse hinsichtlich der Evaluation liegen vor [MFWL03]. Die Projektseite ist im Internet zu finden unter <http://www.informatik.uni-mannheim.de/informatik/pi4/projects/pbm/>.

3.3 Publisher/Subscriber Kommunikationsmuster mit Dienstgütegarantien (Nett, Magdeburg)

Ziel des Projektes ist es, eine Umgebung zur Verfügung zu stellen, die in der Lage ist, für Anwendungen nicht-funktionale Eigenschaften wie Rechtzeitigkeit und Fehler-toleranz in heterogenen Multihop-Funknetzwerken garantieren zu können. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, dass durch die eingeschränkten Sendebereiche Teilnetze entstehen, so dass sich einzelne Paare von Knoten ohne Routing nicht erreichen könnten. Es soll hierzu eine Publisher/Subscriber-Middleware entwickelt werden, die, abhängig von den Anforderungen bzgl. der nicht-funktionalen Parameter der Applikationen, mittels geeigneter Ressourcenverwaltung, Lastkontrolle und Lastverteilung die geforderte Dienstgüte effizient bereitstellt. Dabei müssen insbesondere auch die bei mobilen Systemen auftretenden Lokationsänderungen, welche die Zugehörigkeit zu Teilnetzen dynamisch verändern, dermaßen berücksichtigt werden, dass es zu keiner Beeinträchtigung des zur Verfügung gestellten Dienstes kommt. Hierzu muss man die Charakteristika der unterliegenden WLANs genau kennen und ausnutzen, wo immer möglich und sinnvoll.

Um diese Ziele erreichen zu können, soll als Basisdienst eine Gruppenkommunikation mit einem integrierten Routing-Protokoll entwickelt werden, welches in der hochdynamischen Umgebung von Multihop-Netzwerken gut skaliert und möglichst die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Funktechniken optimal ausnutzt, um die geforderten Dienstgüte-Parameter garantieren zu können. Hierauf aufsetzend wird ein höherwertiger Dienst spezifiziert, der eine plattformenunabhängige und inhaltsbezogen adressierte Kommunikation zwischen den beteiligten Stationen ermöglicht.

Mehr Informationen zum Projekt finden sich unter <http://ivs.cs.uni-magdeburg.de/EuK/Forschung/Middleware.html>.

3.4 Dienstabhängige Ressourcen- und Lastverteilung (Martini, Bonn)

Das Projekt geht von der Verwendung von Bluetooth als zugrunde liegender Kommunikationstechnologie aus. Die Bildung größerer Scatternetze ist ein Ziel des Projektes [BBFKMS03]. Eine grundlegende Annahme besteht darin, dass ein mobiles Gerät zu einem Zeitpunkt genau über einen Kanal senden und empfangen kann. Wichtig ist deshalb, ein Scheduling zwischen diesen Kanälen zu finden, so dass die Last im Netz balanciert und eine Fairness zwischen den Kommunikationsteilnehmern hergestellt werden kann. Ganz wichtig ist hier eine gute Zusammenarbeit derjenigen Protokolle, die eine Netztopologie aufbauen und verwalten, mit denjenigen, die für die Wegewahl verant-

wortlich sind.

Im Rahmen des Projektes wurde bereits ein Scheduler für so genannten Best-Effort Verkehr realisiert, also für Daten, die keinerlei Anforderungen hinsichtlich der Dienstgüte haben.

3.5 Skalierbares kontextabhängiges Routing (Freisleben, Marburg)

Dieses Teilprojekt entwickelt eine adaptive, kontextabhängige und skalierbare Routing-schicht zur Unterstützung von mobilen Anwendungen und Diensten. Hierbei passt sich der Routingalgorithmus den Umgebungsveränderungen bestmöglich an. Die Umgebung wird dabei durch die Reichweiten, Nachbarschaftsbeziehungen, relativen Knotengeschwindigkeiten, Fehlerraten u.a. bestimmt.

Das Routing soll über definierte Schnittstellen Applikationen und Diensten Informationen übermitteln und Leistungen mit den Applikationen verhandeln. Informationen, die für Applikationen bereitgestellt werden, sind z.B. der Status von Nachbarn bezüglich Energie, Erreichbarkeit und Belastung, Relativgeschwindigkeit von Stationen sowie Topologieinformationen. Mit der Applikation verhandelbare Elemente sind z.B. adaptive Nachbarschaftserkennung, Übersicht erreichbarer Stationen (besondere Dienste), Sonder Routen für Multipath oder Multicast und die Unterstützung von Ruhe- oder Aktivitätszeiten. Ferner soll eine Weiterentwicklung von Routingalgorithmen (bzw. der adaptiven Routingschicht) bezüglich Energieeffizienz, Festnetzanbindung und Skalierbarkeit erfolgen.

Zur Validierung der adaptiven Funktionselemente der zu entwickelnden Routingschicht wird derzeit ein Netzwerke emulator (MobiEmu) verwendet und erweitert. Es ist geplant, die Ergebnisse der Forschungsarbeiten auf mobilen Geräten zu implementieren und zu evaluieren.

3.6 Kollaborationsumgebung für E-Learning in mobilen ad-hoc Netzen (Drobnik, Frankfurt)

Im Vordergrund des ELAN-Projekts (<http://elan.wox.org/>, [LMD03]) steht die Unterstützung von E-Learning Szenarien, wobei die Eigenschaften von Ad-hoc Netzen fördernd in Lernvorgänge integriert werden sollen. Es soll eine adaptive Infrastruktur entwickelt werden, die sich den dynamischen Änderungen von Ad-hoc Netzen anpassen kann und stets die bestmögliche interessenbezogene Lernunterstützung bereitstellt. Zur Umsetzung dieses Vorhabens werden in diversen Bereichen Konzepte entwickelt und prototypisch zur Evaluierung umgesetzt. Dies umfasst Arbeiten auf Routing-Ebene, im Middleware-Bereich und im Anwendungsbereich. Ziel dieser Arbeiten ist ein komponentenbasiertes Rahmenwerk für die Entwicklung von Lernanwendungen in Ad-hoc Netzen.

Hinsichtlich des Routings soll ein anwendungsgesteuertes Routingverfahren entwickelt werden, das auf der Basis von Anforderungen der ELAN-Anwendungen die Konfiguration von MANET-Routingprotokollen kontrolliert. Ein effizienter Zugriff auf Ressourcen, Dienste und Kollaborationspartner im Ad-hoc Netz soll durch eine Awareness-gesteuerte Middleware unterstützt werden, die aufgrund von eLearning-Profilen sogenannte „Clusters of Interests“ bildet.

3.7 Selbstorganisiertes ubiquitäres Lernen (Sturm, Trier)

In einem selbstorganisierten universitären Übungsbetrieb suchen und bieten Studenten Hilfe bei der Lösung vorlesungsbegleitender Aufgaben. Die traditionelle Funktion des studentischen Übungsgruppenleiters wird auf eine intensivere Einzelbetreuung von Studenten bzw. Kleingruppen verteilt. Durch ein selbstorganisiertes System mobiler und drahtlos kommunizierender Kleincomputer (PDAs bzw. Notebooks) soll diese innovative Form des Übungsbetriebs unterstützt und effizient gestaltet werden. Das System soll in seinem Endausbau eine sinnvolle Verteilung von Hilfeanfragen und -angeboten ermöglichen, die Betreuungsqualität und „Reputation“ aller Beteiligten kontinuierlich dokumentieren sowie die Grundlage für eine fallbasierte Bezahlung der studentischen Leistung bilden.

Die Anwendung setzt auf einer zu entwickelnden Middleware für selbstorganisierte verteilte Systeme auf. Diese Middleware nutzt Dienste für die einfache Bestimmung des Ortes und realisiert ein ressourcen-kontrolliertes Nachrichtentransportsystem für funkbasierte mobile Rechnernetze auf der Basis epidemischer Verteilungsalgorithmen. Dabei ist ein aushandelbarer Anwendungsanteil an den notwendigen Broadcast-Nachrichten bereits in der Discovery-Phase möglich (frühest möglicher Anycast). Weitere Dienste sind Election- und Clustering-Verfahren zur Auflösung einer räumlichen Häufung von Kommunikationspartnern (z.B. während einer Vorlesung) sowie verschiedene Reputationsmechanismen für die Objektivierung von Information und Belegbarkeit von Vorgängen und bestimmten Eigenschaften in verteilten Systemen ohne vertrauenswürdige Zentrale.

Es wurde im SOUL-Projekt (<http://bowmore.uni-trier.de/soul/>, [GFLS03].) ein so genannter Marktplatz als Kommunikationsmuster entwickelt. Die zentrale Idee dabei ist, dass Geräte, die sich auf dem Marktplatz befinden, in Stellvertretung von Lernenden agieren. Als typisches Bewegungsmuster in der physikalischen Realität wird ein solches verwendet, bei dem sich die Interaktionspartner zu einem Marktplatz bewegen, dort Informationen austauschen und sich dann wieder von diesem Platz entfernen.

3.8 SWARMS – Software Architecture for Radio-Based Mobile Systems (Fischer, Braunschweig, Luttenberger, Kiel)

Im SWARMS-Projekt liegt der Fokus auf der Erstellung einer Middleware und einer Programmiermethodik für mobile Sensornetze. Eine Sammlung von Geräten, die ein bestimmtes Problem lösen sollen, wird als ein Schwarm betrachtet, wobei die Analogie zum Tierreich beabsichtigt ist. Der Schwarm versucht, ein gegebenes Problem unter den Randbedingungen sehr beschränkter Ressourcen und Fähigkeiten der Einzelsysteme zu lösen. Dabei soll in dieser ersten Stufe ein Anwendungsprogrammierer dem Schwarm im Wesentlichen das Ziel vorgeben, während die tatsächliche Lösung durch Selbstorganisation erbracht wird. Die Middleware verbirgt diesen Prozess vor der Anwendung. Zentrales Element ist der sogenannte *Virtual Shared Information Space* (VSIS), der den Zustand der Anwendung modelliert und von dem jeder Knoten des Netzes nur einen Ausschnitt kennt. Durch die Verwendung eines dezentralen Publish/Subscribe-ähnlichen Mechanismus kann die Middleware sehr fehlertolerant agieren.

Zum jetzigen Zeitpunkt haben die Projektpartner die Architektur der Middleware entwickelt und damit begonnen, eine Implementierung zu erstellen. Mit der Verfügbarkeit von ersten Demos wird gegen Ende des Jahres gerechnet. Weitere Informationen zu SWARMS finden sich unter <http://www.swarms.de>, eine kurze Zusammenfassung liefert [BFLR03].

3.9 Dienstsuche und -nutzung in Ad-hoc-Netzen (König-Ries, Karlsruhe)

Ziel des DIANE-Teilprojekts ist die Entwicklung und Evaluierung von Konzepten zur integrierten, effizienten und effektiven Nutzung der in einem Ad-hoc-Netz in Form von Diensten bereitgestellten Ressourcen. Von besonderem Interesse sind Informationsdienste, Dienste also, die den möglichst integrierten Zugriff auf digital verfügbare Information ermöglichen. Hierzu schlagen die Projektpartner Mechanismen zur Dienstbeschreibung, zum Auffinden und zur Auswahl von Diensten sowie zur effizienten Abarbeitung von Anfragen vor. Als Anwendung wird der Austausch und die Nutzung von eLearning-Dokumenten betrachtet.

Zurzeit werden vier größere Softwarepakete entwickelt. Thema von *diane.jxta* ist die Bereitstellung einer Peer-to-Peer-basierten Kommunikationsplattform. *Diane.gui* stellt dazu die geräteunabhängigen Benutzerschnittstellen zur Verfügung, während *diane.routing* ein eigenes ringförmiges Routingverfahren beisteuert, in dem sich die Knoten mit gleichen Interessen zu so genannten Service Rings zusammenfinden. Da eine komplette Evaluation durch Experimente schwierig ist, wird in *diane.simulator* ein entsprechender Simulator für alle Komponenten entwickelt.

Weitere Informationen zum Projekt finden sich auf der Web-Seite <http://www.ipd.uka.de/DIANE/> sowie in [KKO03].

3.10 Ad-hoc Service Management (Spaniol, Aachen)

Das Ziel dieses Teilprojekts besteht darin, eine Middleware zu schaffen, die es Benutzern und Anwendungen gestattet, auf einfache Weise Dienste zu finden und zu nutzen, die von anderen Geräten in einem Ad-Hoc-Netzwerk angeboten werden. Beispiele umfassen Drucker-, Internetverbindungs- oder Datenbankzugangsdienste.

Das zugehörige Dienstmanagement muss dazu einen effizienten und leicht zu benutzenden Dienstfindungsmechanismus anbieten, der es Benutzern gestattet, passende Anbieter für einen gesuchten Dienst zu finden. Offensichtlich führt die Mobilität der Netzknoten zu einer hoch-dynamischen Umgebung, in der Knoten und damit Dienste häufig hinzukommen oder den Einzugsbereich verlassen. Deshalb sollte das Servicemanagement beispielsweise einen transparenten Provider-Wechsel gestatten.

Die typischerweise sehr beschränkten Ressourcen eines Ad-Hoc-Netzes zum Beispiel bzgl. verfügbarer Bandbreite implizieren Protokolle, die möglichst wenig Overhead produzieren. Auf der anderen Seite führt die Mobilität zu häufig wechselnden Topologien, so dass Update-Nachrichten ausgetauscht werden müssen. Ein wichtiges Ziel dieses Projekts ist es daher, den richtigen Kompromiss zwischen Netzwerkbelastung und Relevanz von Service-Informationen zu finden.

Weitere Informationen zum Projekt liefert <http://www-i4.informatik.rwth-aachen.de/content/research/projects/>.

3.11 Mobilitätsbewusster Multicast (Zitterbart, Karlsruhe)

Dieses Teilprojekt befasst sich mit der Bereitstellung von adaptiven und mobilitätsbewussten Gruppendiensten über hochdynamischen selbstorganisierenden Kommunikationsumgebungen auf der Basis von mobilen ad-hoc Netzen. Dabei wird besonders auf eine effiziente Bereitstellung von zuverlässigem Multicast Wert gelegt, wie er eventuell für den Austausch von Lernmaterialien in sich spontan bildenden Lerngruppen benötigt wird. Adaptivität bei der Bereitstellung eines solchen Dienstes ist aufgrund der dynamischen Änderungen in der Infrastruktur unumgänglich. Hier wird besonderer Wert auf enge Interaktionen zwischen den Ebenen der Infrastruktur und der Middleware gelegt. Hinsichtlich der Gruppenverwaltung sollen Konzepte aus dem Peer-to-Peer Networking analysiert und gegebenenfalls geeignet angepasst werden. Erste Untersuchungen verschiedener Verfahren haben deutlich die Abhängigkeit von Overlay-Netzen für die Gruppenverwaltung vom Routing und den Qualitäten der Infrastruktur gezeigt. Erste Konzepte zur Verbesserung von Overlay-Netzen für den Einsatz in mobilen ad-hoc Netzen liegen vor. Eine besondere Herausforderung ist hierbei in der ebenenübergreifenden Interaktion mit dem Routing im ad-hoc Netz und damit dem Zusammenarbeiten von Prozessen zur Selbstorganisation auf zwei Ebenen zu sehen.

Die Projekt-Webseite findet sich unter <http://www.tm.uka.de/projects/mamas/>.

3.12 CoCo/Mo und CoCo/Da (Schiller, Schweppe, Berlin)

Die beiden Projekte an der FU Berlin gehen ebenfalls von einer Situation mit sehr knappen Ressourcen aus und analysieren Möglichkeiten zur Erbringung von Dienstgüte (QoS).

Das CoCo/Mo-Projekt (Cooperation-Communication/Mobility, <http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-tech/SPP1140/>) konzentriert sich dabei auf die Formulierung und Übersetzung von QoS-Parametern von höheren Ebenen, wo sie in Form von *Kooperations*-mustern beschrieben werden, auf tiefere Ebenen, wo *Kommunikationsmuster* entscheidend sind. Dabei sollen die knappen Ressourcen optimal genutzt werden, was unter anderem durch eine Feedback-Komponente realisiert werden soll, die der Anwendung Hinweise bzgl. möglicher Adaption an die aktuelle Netzwerklast geben soll.

Im CoCo/Da-Projekt (Cooperation Communication/Data, http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-db/projects/project_CoCoDa.html) sollen Techniken zum gezielten Austausch von Information in einem sich verändernden Netz von Partnern entwickelt werden. Das Spektrum der Operationen reicht von einfachen Retrieval-Aufgaben bis hin zu komplexen Änderungstransaktionen zwischen autonomen Partnern. Es ist geradezu ein Merkmal selbst organisierender Systeme, dass schwerwiegende Fehlerzustände, etwa Inkonsistenzen, auftreten können. Charakteristisch für natürliche Selbstorganisation ist die Fähigkeit, solche Zustände durch geeignete Reaktionen zu heilen und ferner neue Knoten zu integrieren. Techniken und Verfahren, die diese Fähigkeit im Hinblick auf unvollständige, fehlerhafte, vorübergehend nicht verfügbare Information unterstützen, stehen im Mittelpunkt Teilprojekts.

Dank

geht an die DFG für die Förderung dieses zukunftsweisenden Themenbereichs im Rahmen eines Schwerpunktprogramms. Darüber hinaus sei den Kollegen Drobnik, Jobmann, Lockemann, Rothermel und Spaniol gedankt, die tatkräftig in die Initiierung dieses SPPs involviert waren.

Literaturverzeichnis

- [BBFKMS03] Baatz, S.; Bieschke, C.; Frank, M.; Kühl, C.; Martini, P.; Scholz, C.; Building Efficient Bluetooth Scatternet Topologies from 1-Factors Proceedings of the IASTED International Conference on Wireless and Optical Communications, WOC 2002, pp. 300-305, Banff, Alberta, Canada, July 2002
- [BFLR03] Buschmann, C; Fischer, S; Luttenberger N; Reuter, F.: Middleware for Swarm-like Collections of Devices, in IEEE Pervasive Computing 2(3), 2003.
- [BLW02] Blödt, S., Luhm, E., Wehrle, K.; Peer-to-Peer basierte Gruppenkommunikation in mobilen ad-hoc Netzen; Informatiktage 2002, Bad Schussenried
- [BHG03] Burchardt, H; Haase, M.; Golatowski, F.; Bluetooth Sensornetzwerk auf der Basis von Mikrocontoller gesteuerten Sensorknoten; embedded world 2003, Tagungsband S. 467 - 469, Nürnberg, 2003

- [GFLS03] Görden, D.; Frey, H.; Lehnert, J.; Sturm, P.: Marketplaces as Communication Patterns in Mobile Ad-Hoc Networks, Fachtagung „Kommunikation in Verteilten Systemen“ (KiVS'03), Leipzig, Februar 2003.
- [KKO03] Klein, M.; König-Ries, B.; Obreiter, P.: Lanes – A Lightweight Overlay for Service Discovery in Mobile Ad-Hoc Networks, 3rd Workshop on Applications and Services in Wireless Networks, Bern, Juli 2003.
- [LMD03] Lauer, M.; Matthes, M.; Drobnik, O.: ELAN: Konzept einer adaptiven Infrastruktur für Lernumgebungen in Ad-Hoc Netzen, Fachtagung „Kommunikation in Verteilten Systemen“ (KiVS'03), Leipzig, VDE-Verlag, Februar 2003.
- [MFWL03] Mauve, M.; Füßler, J.; Widmer, J.; Lang, T.; Poster: Position-Based Multicast Routing for Mobile Ad-hoc Networks; In Proc. of ACM MobiHoc '03 (electronic edition), Annapolis, MD, June 2003