

Kontextbasierte Bluetooth-Scatternetz-Formierung in ubiquitären Systemen*

Frank Siegemund

Institut für Informationssysteme
Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich
Haldeneggsteig 4
CH-8092 Zürich
siegemun@inf.ethz.ch

Abstract: Über Bluetooth kommunizierende, stark ressourcenbeschränkte mobile Knoten ubiquitärer Systeme können als ad hoc Netzwerk mit besonders großer Anzahl von Knoten aufgefasst werden, die ihre Umgebung durch Sensoren wahrnehmen. Diese Charakteristika und die Tatsache, dass sich die Topologie eines Bluetooth-Netzwerkes nicht implizit aus dem Kommunikationsradius beteiligter Knoten ergibt, bedingen die Notwendigkeit spezieller Scatternetz-Formierungsalgorithmen für diese Systeme. Wir stellen das Konzept der kontextbasierten Kommunikationsplattform für ubiquitäre Systeme vor, das die Verwendung von Sensorinformationen beteiligter Knoten für die Topologiekonstruktion mobiler ad hoc Netzwerke vorsieht. Der Beitrag enthält eine Untersuchung zu den Kriterien für die Formierung von Scatternetzen in ubiquitären Systemen und zeigt unsere aktuellen Forschungsbemühungen in diesem Bereich auf.

1 Einleitung

Bluetooth [BI01, Ha00] als Standard zur drahtlosen Mobilfunkkommunikation etabliert sich zunehmend als Plattform für den Austausch und die Übertragung von Nutzerinformationen bei mobilen Endgeräten wie Laptops, PDAs, Mobilfunktelefonen und digitalen Kameras. Einer Studie zufolge werden im Jahr 2006 über 500 Millionen Bluetooth-fähige Geräte in Benutzung sein [ARC01]. Dies impliziert eine breite Durchdringung des alltäglichen Umfeldes von Anwendern mit dieser Technologie und schafft das Potential für vielfältige Interaktionsmöglichkeiten mit von einer intelligenten Umgebung bereitgestellten Diensten.

Im Smart-Its Projekt [SI01] untersuchen wir die Verwendung von Bluetooth in ubiquitären Anwendungsszenarien. Hierbei werden kleine Geräte, sogenannte Smart-Its, in Alltagsgegenstände integriert und damit mit der Möglichkeit ausgestattet, drahtlos Informationen untereinander und mit einer von der Umgebung bereitgestellten Infrastruktur auszutauschen. Smart-Its verfügen über eine eigenständige Energieversorgung, Kommunikationsmodule sowie einen Mikroprozessor und sind in der Lage, über dynamisch integrierbare Sensoren ihre Umgebung wahrzunehmen und diese Informationen zu kommunizieren.

*Teile dieser Arbeit entstanden im Rahmen des Smart-Its Projektes, das durch die Europäische Kommission (Vertragsnr. IST-2000-25428) und das Schweizer Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (BBW-Nr. 00.0281) gefördert wird.

Das optionale Vorhandensein einer Festnetz-Infrastruktur, welche erhöhte Rechenkapazität, Speicherplatz und leistungsfähige Dienste für die Knoten zur Verfügung stellt, ändert nichts an der Tatsache, dass das Netz grundsätzlich selbstorganisierend, infrastrukturlos und ad hoc ohne zentrale Kontrollinstanz verwaltet werden muss.

Die hier betrachteten Charakteristika mobiler ad hoc Netzwerke tragen dem Anwendungsumfeld des Ubiquitous Computing [We91, Ma01] Rechnung, bei dem Informationstechnik allgegenwärtig und für Nutzer transparent in die Umgebung integriert ist. Kommunikationsplattformen in diesem Bereich müssen bis zu einer Anzahl von mehreren Dutzend heterogenen Knoten im Kommunikationsradius skalieren und die ausgeprägte Ressourcenbeschränkung sowie hochgradige Mobilität beteiligter Knoten berücksichtigen. In diesem Beitrag zeigen wir, wie durch die Knoten wahrgenommene Sensor- und Kontextdaten sowie Informationen über die Ressourcen beteiligter Geräte für die Organisation von ad hoc Netzwerken benutzt werden können und stellen dies am Beispiel der Topologiekonstruktion in Bluetooth-Netzwerken dar.

In Kapitel 2 werden Gründe für die Untersuchung von Bluetooth in ubiquitären Anwendungsszenarien aufgeführt. Kapitel 3 stellt das Konzept der kontextbasierten Kommunikationsplattform vor. Das kontextbasierte Scatternetz-Formierungsproblem wird in Kapitel 4 formalisiert und dessen Grundidee anhand von Szenarien in Kapitel 5 verdeutlicht. In den weiteren Abschnitten werden das relevante Forschungsumfeld abgegrenzt sowie Scatternetz-Formierungskriterien für die betrachteten Anwendungsbereiche vorgestellt. Kapitel 8 schließt den Beitrag mit einem Ausblick ab.

2 Warum Bluetooth für ubiquitäre Systeme?

Bluetooth basiert auf dem Frequenzsprungverfahren. Gegenüber Systemen, deren Funkmodule auf nur einer fixen Frequenz ohne Spread-Spectrum Technik senden, garantiert das Frequenzsprungverfahren eine hohe Fehlertoleranz und Robustheit der Kommunikation beim Vorhandensein einer Vielzahl verschiedener Sender in Reichweite.

Bei auf fixen Frequenzen basierenden Kommunikationsplattformen werden sämtliche Sendedaten von jedem Knoten in Reichweite empfangen. Die Topologie des Netzwerkes ergibt sich daher implizit aus dem Kommunikationsradius beteiligter Knoten. Im Anwendungsumfeld des Ubiquitous Computings, das sich durch eine potenziell große Anzahl von Knoten auf engem Raum auszeichnet, kann dies unerwünscht sein, weil dieses Charakteristikum zu einer Überlastung der Knoten schon bei mittleren Knotenzahlen führt. Aufgrund der Ressourcenbeschränkung beteiligter Geräte sollte die Anzahl der von einem Knoten empfangenen Daten eingeschränkt werden, indem explizit Kommunikationsbeziehungen zwischen den Knoten etabliert werden. Bluetooth ermöglicht eine solche Herangehensweise. Dabei werden Knoten in Piconetze organisiert, die auf einer spezifizierten Sequenz von Frequenzen Daten austauschen und andere Knoten im Kommunikationsbereich nicht beeinflussen. Die Zuordnung von Knoten zu Piconetzen hat bedeutende Auswirkungen auf die Performanz des gesamten Netzwerkes. Die hier verfolgte Grundidee ist, dass zwischen Knoten mit gleichem Kontext proportional größerer Kommunikationsbedarf besteht als zwischen Knoten mit stark unterschiedlichem Kontext.

Eine weitere wichtige Eigenschaft von Bluetooth, die den Einsatz dieser Technologie in ubiquitären Systemen rechtfertigt, ist die Unterstützung einer Reihe von Energiesparmodi [Ma00], die im Zusammenhang mit ressourcenbeschränkten Systemen, wie sie in den betrachteten Anwendungsszenarien Einsatz finden, besonders bedeutend ist. Der wesentlichste Punkt warum wir denken, dass Bluetooth für ubiquitäre Systeme eine vielversprechende Technologie darstellt, sind jedoch die vielfältigen Interaktionsmöglichkeiten mit anderen Geräten, wie z.B. PDAs oder Mobilfunktelefonen. Bluetooth ist damit ein „Tor“ der Nutzer zu ubiquitären Umgebungen, das eine einfache Einbindung des Benutzers in neuartige Anwendungsszenarien erlaubt.

3 Kontextbewusste Kommunikationsplattformen

Im klassischen Schichtenmodell basieren höher gelegene Ebenen auf von den darunterliegenden Schichten bereitgestellten Diensten. Die Umkehrung gilt dabei im Allgemeinen nicht: untere Ebenen sind unabhängig, d.h. benutzen keine Dienste höherer Schichten. Dies trägt zu einer erhöhten Flexibilität und Unabhängigkeit bei der Konzeption der Schichten sowie zu einer einfacheren Austauschbarkeit der Ebenen bei. Andererseits kann die Performanz tieferer Ebenen, wie z.B. der Sicherungs- und Vermittlungsschicht, deutlich durch die Berücksichtigung von Anwendungsdaten gesteigert werden. [RBS01] zeigt das am Beispiel der Dienstvermittlung.

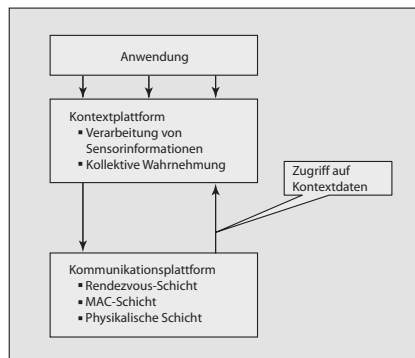


Abbildung 1: Softwarearchitektur für Knoten ubiquitärer Systeme mit einer kontextbasierten Kommunikationsplattform

Die aufgeführten Charakteristika ubiquitärer Systeme (Vielzahl ressourcenbeschränkter, mit Sensoren ausgestatteter Knoten mit hoher Mobilität) ermöglichen einerseits die Nutzung von Kontext-/Sensorinformationen im Rahmen der Kommunikationsplattform und machen andererseits die Einbeziehung sämtlicher Optimierungsmöglichkeiten für das Management des Netzwerkes notwendig. In der Softwarearchitektur für die ubiquitären Knoten (siehe Abbildung 1) basieren die Wahrnehmungs-, Kontext- sowie Anwendungsebene auf der Kommunikationsplattform. Unserer Ansatz ist, die Informationen der Wahrnehmungs- und Kontextebene für eine effizientere Kommunikationsplattform zu nutzen.

Ein Beispiel für diesen Ansatz bieten Rendezvous-Ebenen-Protokolle, die unter anderem für das Finden von Geräten verantwortlich sind. Hier können Daten über die Beschleunigung und die Ruhezeit der Knoten verwendet werden, um den Prozess der Gerätefindung energieeffizienter zu gestalten.

Besonders große Potentiale hat dieser Ansatz auch im Zusammenhang mit der Topologiekonstruktion in Bluetooth-Scatternetzen. Hier ist die von uns verfolgte Grundidee, dass zwischen Knoten mit gleichem Kontext proportional größerer Kommunikationsbedarf besteht als zwischen Knoten mit stark unterschiedlichem Kontext. Da der Kontext der Knoten über Sensoren erfasst werden kann, können diese Daten für die Herstellung der Netzwerktopologie benutzt werden. Außerdem können Informationen zu den Ressourcen einzelner Knoten benutzt werden, um besonders günstige Topologien zu erzeugen (z.B. hinsichtlich einer Routingstruktur in den Netzen). In diesem Ansatz stellt die Kommunikationsplattform dann nicht nur Basisdienste für die Wahrnehmungs- und Kontextebene zur Verfügung, sondern benutzt Kontext, um die eigene Effizienz zu erhöhen. Wir bezeichnen eine solche Kommunikationsplattform als kontextbasiert.

4 Das Scatternetz-Formierungsproblem

Der Austausch von Anwendungsdaten in Bluetooth ist verbindungsorientiert. Die Topologie eines ad hoc Bluetooth-Netzwerkes ergibt sich also nicht bereits implizit aus der Reichweite der einzelnen Knoten, sondern muss durch den Prozess der Scatternetz-Formierung explizit etabliert werden. Knoten müssen sich zunächst synchronisieren und auf eine einheitliche Sequenz von Frequenzen einigen, bevor sie in der Lage sind, Anwendungsdaten auszutauschen.

Dabei wird das Inquiry-Verfahren für das Finden von potentiellen Kommunikationspartnern und das Paging-Verfahren für den tatsächlichen Verbindungsaufbau benutzt. In diesem Zusammenhang unterscheidet man zwischen den Rollen Master und Slave. Ein Master kann Verbindungen mit bis zu sieben verschiedenen aktiven Slaves aufrechterhalten und bestimmt die Sequenz der Frequenzen, die sämtliche dieser Knoten für die Kommunikation benutzen.

Eine Sterntopologie mit dem Master im Zentrum und bis zu sieben aktiven (und optional weiteren sich in anderen Modi befindenden) Slaves heißt Piconetz. Die Slaves in einem Piconetz können nicht direkt miteinander kommunizieren, sondern nur mit dem Master. Dieser steuert die Kommunikation im Piconetz über ein Time-Division-Duplex-Verfahren. Der Master kann einen Datentransfer zu einem aktiven Slave in einem geraden Zeitslot initiieren. Umgekehrt ist es dem Slave aber nur dann erlaubt, Daten zum Master zu transferieren, wenn er beim vorhergehenden Master-zu-Slave-Transfer direkt adressiert wurde.

Mehrere Piconetze können in derselben Umgebung nebeneinander existieren, ohne dass der Durchsatz in den Teilnetzen wesentlich beeinträchtigt wird. Ein Verbund von Piconetzen, die über Brückenknoten miteinander verbunden sind, heißt Scatternetz. Brückenknoten können Master- und Slave-Rollen in verschiedenen Piconetzen annehmen; ein Brückenknoten kann jedoch nur Master in einem Piconetz sein. Brückenknoten, die nur

Slave-Rollen in verschiedenen Piconetzen annehmen, heißen Slave-Slave-Brückenknoten. Die Kommunikation zwischen den Piconetzen wird vollzogen, indem die Brückenknoten in einem Time-Division-Multiplex-Verfahren an den verschiedenen, sie einbeziehenden Piconetzen teilnehmen. Da Brückenknoten die Uhren sowie die Bluetooth-Geräteadressen der die jeweiligen Piconetze organisierenden Master und damit die Sequenz der Frequenzen in den Teilnetzen kennen, ist der Übergang zu einem anderen Piconetz im Normalfall mit nur geringem Zeitaufwand verbunden.

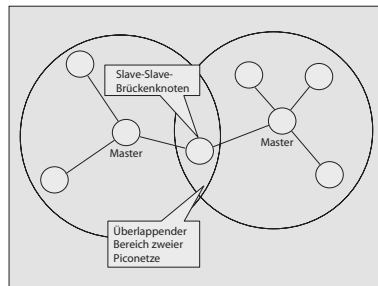


Abbildung 2: Scatternetz mit einem Slave-Slave-Brückenknoten

Das Scatternetz-Problem in einem Bluetooth-basierten ad hoc Netzwerk lässt sich wie folgt definieren: Sei das ad hoc Netzwerk als zusammenhängender gerichteter Graph $G = (V, E)$ modelliert, wobei V eine nichtleere Menge von Knoten darstelle und eine Kante $(u, v) \in E \subseteq V \times V$ existiere, wenn sich die Knoten u und v in Reichweite voneinander befinden. Der Einfachheit halber sei angenommen, dass die Relation E symmetrisch ist, also sämtliche Knoten dieselbe Reichweite haben. Sei P die Menge der bei der Scatternetzformierung erzeugten Piconetze. Gesucht sind dann eine injektive Abbildung m von P in V , $m : P \rightarrow V$, die jedem Piconetz genau einen Master zuordnet und eine Relation $S = \{(p, u) \in P \times V : u \text{ ist Slave in Piconetz } p\}$ mit der Eigenschaft $\forall p \in P \forall u \in V : (p, u) \in S \Rightarrow (m(p), u) \in E$. Außerdem soll der Graph $(V, m^{-1} \circ S)$ zusammenhängend sein. Sei weiterhin $k \in \mathbb{N}$ die maximale Anzahl von aktiven Slaves in einem Piconetz, dann muss gelten: $\forall p \in P : |\{u \in V : (p, u) \in S\}| \leq k$. Ein Scatternetz lässt sich demnach als 5-Tupel (V, E, m, S, k) auffassen.

Im Falle der kontextbasierten Scatternetz-Formierung gehen wir zusätzlich davon aus, dass aufgrund von Kontextinformationen eine Abschätzung der Relevanz von Knoten und des Kommunikationsaufkommens auf Kanten möglich ist. Die Relevanz eines Knotens kann z.B. ein Maß für die auf dem Knoten verfügbaren Ressourcen sein. Knoten mit kleiner Relevanz sollten dann keine zentralen Rollen im Scatternetz zugewiesen bekommen. Außerdem soll durch die kontextbasierte Scatternetz-Formierung die interne Piconetzkommunikation gestärkt werden, indem bevorzugt Kanten mit einem hohen zu erwartenden Kommunikationsaufkommen in ein Piconetz organisiert werden. Da Bewertungen von Knoten in eine Gewichtsfunktion für Kanten integriert werden können, wird die Kontextbewertung durch eine Funktion $w : E \rightarrow \mathbb{R}$ modelliert.

5 Anwendungsszenarien

Ein Beispiel für unseren Ansatz der kontextbasierten Kommunikationsplattform bietet das Legocomputing [RBS01]. Hierbei soll ein Anwender, ausgestattet z.B. mit einem Bluetooth-fähigen PDA, dynamisch die von der Umgebung zur Verfügung gestellten Dienste wie Ein-/Ausgabeeinheiten und zusätzlich vorhandene Rechenkapazitäten nutzen können. Wenn der Nutzer also einen Raum betritt, wird ein Scatternetz mit den vorhandenen Bluetooth-fähigen Geräten aufgebaut, z.B. mit Tastaturen, Monitoren, Druckern, Laptops, Digitalkameras und stark ressourcenbeschränkten Sensorknoten. Dabei ist es bedeutend wahrscheinlicher, dass Geräte mit demselben Kontext, also solche, die beispielsweise die gleiche Lichteinstrahlung, Umgebungstemperatur und über ein Mikrofon dieselben Geräusche messen, miteinander kommunizieren. Die Topologie des Netzes sollte dann so gewählt werden, dass die Kommunikation mit diesen Geräten effizienter ist. D.h. in einem Bürogebäude, sind die Bluetooth-fähigen Geräte der Nebenbüros aus Sicht des PDA-Benutzers weniger wichtig; in dem zu etablierenden Scatternetz ist es daher nicht erforderlich, dass diese Knoten direkt vom PDA erreichbar sind. Gleichwohl können sie jedoch in das Netz mit einbezogen werden, um eventuell weiter entfernte Geräte und Dienste anzusprechen. Knoten, die nicht das Problem der eingeschränkten Energieversorgung haben - also z.B. Knoten, die durch die Energieversorgung eines Desktop-PCs, Telefons, Kühlschranks, Herdes etc. gespeist werden - sollen energieaufwendige Aufgaben im Scatternetz zugewiesen bekommen. Dies sind zumeist stationäre Knoten, weshalb auch hier über Berücksichtigung des Kontextes und der aufgenommenen Sensordaten - z.B. über Beschleunigungssensoren - eine automatische, auf Kontext basierende Rollenzuweisung stattfinden kann.

Eine Vielzahl von Anwendungsszenarien bestehen im Bereich von Automobilanwendungen, im Electronic-Commerce-Umfeld und im Unterhaltungselektronikbereich. In Autos könnten Bluetoothnetzwerke Verwendung finden, um den Beifahrern Spiele oder Informationen auf Handys und PDAs zu übermitteln und gemeinsamer Kontext - der sich durch gemeinsame Beschleunigungsmuster bestimmen ließe - kann bei der Etablierung von ad hoc Netzwerken benutzt werden.

Es lassen sich viele Beispiele für unsere Grundannahme finden, dass zwischen Geräten mit ähnlichem Kontext im Mittel ein höheres Datenaufkommen transferiert wird als zwischen Knoten mit unterschiedlichem Kontext. Indem dieser Umstand bei der Konstruktion der Topologie von Bluetoothnetzwerken berücksichtigt wird, lässt sich sowohl der Datendurchsatz des ad hoc Netzwerkes als auch die Energieeffizienz der einzelnen Knoten deutlich steigern. Allgemein ist es unser Ziel, durch Sensoren erfassten Kontext zu verwenden, um die Kommunikationsplattform und die Service-Infrastruktur mobiler Knoten in ad hoc Netzwerken effektiver und energiesparsamer zu gestalten.

6 Forschungsumfeld

In [Sa01] und [LMS01] werden zwei Möglichkeiten für die Etablierung von Scatternetzen vorgestellt. Beide Beiträge beschränken sich auf Umgebungen, in denen sich sämtliche Knoten in Reichweite voneinander befinden und betrachten statische Netze. Das in [Sa01]

vorgestellte Verfahren ist zweistufig, indem zunächst durch ein Election-Verfahren [Ma89] ein Knoten, der sogenannte Super-Master, bestimmt wird, welcher vollständige Kenntnis über das gesamte Netzwerk besitzt und im nachhinein die Rollen der einzelnen Knoten festlegt. Nach dem in [LMS01] vorgestellten Verfahren wird das Scatternetz inkrementell aufgebaut. Einzelne Teilfragmente werden miteinander verschmolzen, wenn dadurch Piconetze mit einer größeren Anzahl von Geräten entstehen oder Knoten abgespalten, wenn die maximale Anzahl von Knoten innerhalb eines Piconetzes erreicht worden ist.

[ZBC01] stellt das Konzept der Bluetrees vor. Hierbei wird zunächst ein Spannbaum über das gesamte ad hoc Netzwerk aufgebaut, wonach auf der erzeugten Baumstruktur durch ein Election-Verfahren der Super-Master als Wurzel des Baumes bestimmt wird. Die Söhne eines jeden Knotens im erzeugten Spannbaum bilden zusammen mit diesem Knoten ein Piconetz, wenn ein Knoten weniger Nachfolger besitzt als die maximale Anzahl der in einem Piconetz zulässigen aktiven Slaves. Anderenfalls werden in einem zweiten Schritt Knoten zwischen verschiedenen Piconetzen transferiert oder neue Piconetze erzeugt. Ein Problem bei diesem Algorithmus ist, dass Knoten, die nicht Blätter des Spannbaumes sind, Brückenknoten darstellen, welche die Rolle des Masters in einem Piconetz innehaben. Dies kann eine suboptimale Scatternetzkonstellation sein (siehe Kapitel).

Die in der Literatur vorgeschlagenen Scatternetzformierungsalgorithmen beschränken sich auf statische Netze; sie betrachten nicht die Verwaltung und dynamische Anpassung der Scatternetzstruktur. Weiterhin beruhen sie auf Scatternetzformierungskriterien, die für ubiquitäre Systeme nur eingeschränkte Gültigkeit haben. Die Probleme der Scatternetzformierung und des Scheduling in Scatternetzen [Ra01b] werden außerdem isoliert voneinander betrachtet. In dem von uns betrachteten Anwendungskontext ist aber gerade die Kombination beider Fragestellungen wichtig, also die Generierung von Scatternetzen, die effizientes Scheduling erlauben.

Zusammenfassend angemerkt wurde das Problem der Scatternetzformierung und -adaption im Zusammenhang mit mobilen Geräten mit stark ausgeprägter Ressourcenbeschränkung und in Anwesenheit von über einen weiten Raum verteilten und in hoher Anzahl vorhandener Geräte noch nicht untersucht. Bedeutend in diesem Umfeld ist, dass die Scatternetze effizient auf das Umfeld abgestimmt werden und dynamisch mit möglichst geringem Energieaufwand erweiterbar sind. Wir wollen zeigen, dass durch die Knoten wahrgenommener Kontext unerlässlich ist, um die angestrebte Effizienz des Scatternetzes zu erreichen.

Die „Smart-Its Friends“ [Ho01] zeigen ein konkretes Anwendungsbeispiel, wie gemeinsamer Kontext zur Herstellung einer für eine lange Zeitspanne gültigen Beziehung zwischen Geräten verwandt werden kann. Knoten, die über eine kurze Zeitspanne eine gemeinsame Trajektorie haben, d.h. deren Beschleunigungssensoren gleiche Werte liefern, und sich in Reichweite voneinander befinden, werden „Freunde“ und erkennen sich, wenn sie je erneut wieder direkt miteinander kommunizieren können. Eine Abwandlung dieser Idee lässt sich auch auf die Topologiekonstruktion von Bluetooth-Scatternetzen übertragen. Hierbei könnten bei der Anpassung der Topologie aufgrund von Mobilität Verbindungen zwischen Knoten bevorzugt werden, die in einem vorhergehenden - langen - Zeitraum denselben

Kontext hatten. Hier wird dann implizit von der Voraussetzung ausgegangen, dass diese Knoten, die in der Vergangenheit oft Daten ausgetauscht haben, auch in Zukunft überdurchschnittlich oft miteinander kommunizieren.

7 Scatternetz-Formierungskriterien

Scatternetz-Formierungskriterien beschreiben Nebenbedingungen für den Aufbau von Scatternetzen, deren Berücksichtigung zur Erzeugung von Topologien mit hohem potentiellen Durchsatz, geringem Energieverbrauch und effizienter dynamischer Anpassbarkeit beitragen. Formierungskriterien beschreiben also Formationen mit besonders günstigen Eigenschaften und sollten neben den bereits geschilderten notwendigen Restriktionen gelten.

Leider gibt es keine allgemeingültigen Kriterien, die sämtlichen wünschenswerten Eigenschaften an die Netzwerktopologie gerecht werden. Die Forderung nach maximalem Durchsatz verlangt beispielsweise nach Scatternetzen mit geringstmöglichem Durchmesser, um die Anzahl Hops und damit den Routingoverhead zu minimieren. Als Konsequenz würde dies zu Piconetzen mit einer maximalen Anzahl von Knoten führen, die eine extrem uneinheitliche Energieverteilung zwischen den Knoten aufweisen, da die Master viele Slaves koordinieren müssen und die Wahrscheinlichkeit für Überlastungen hoch ist.

Da es keine allgemein gültigen Scatternetz-Formierungskriterien gibt, ist unser Argument letztendlich, dass ein Konsens zwischen den gewünschten Eigenschaften nur unter der Einbeziehung von Sensordaten und Kontextinformationen möglich ist. So kann sichergestellt werden, dass Knoten mit geringer Mobilität (durch Beschleunigungssensoren über einen gewissen Zeitraum festgestellt) oder stationärer Energieversorgung im Bluetooth-Netzwerk vorwiegend Master-Rollen zugewiesen bekommen. Weiterhin können z.B. durch GPS-Sensoren erhobene Positionsdaten für die Herstellung günstiger Scatternetzkonstellationen benutzt werden. Im Rahmen des Smart-Its Projektes haben wir kleine RFID-Reader an eine Bluetooth-fähige Hardwareplattform [SI01] angeschlossen, die es erlaubt, Daten von RFID-Tags bzw. mit ihnen assoziierte Informationen über Bluetooth zu verteilen. Informationen dieser Art, die über die Anwesenheit bestimmter Geräte und deren spezifische Eigenschaften Aufschluss geben, können ebenfalls für die Scatternetzformierung verwendet werden. Dadurch, dass Knoten mit gleichem Kontext und damit überdurchschnittlich hohem gegenseitigen Datenaufkommen, wenn möglich in Piconetzen zusammengefasst werden, erhöht sich der Durchsatz im ad hoc Netzwerk. Letztendlich kann auch das Problem der Kollisionen entschärft werden: da ein Großteil der Kollisionen während des Inquiry-Prozesses entsteht, werden die Inquiryparameter auf der Basis von Kontextinformationen so angepasst, dass die Anzahl der Inquiry-Pakete minimiert wird [SR02]. Im Folgenden werden Scatternetz-Formierungskriterien für ubiquitäre Umgebungen im Rahmen kontextbasierter Kommunikationsplattformen aufgeführt.

- Knoten, die über im Vergleich zu anderen Netzwerkteilnehmern überdurchschnittlich viel Ressourcen verfügen oder geringe Mobilität aufweisen, sollen zentrale Rollen im Scatternetz zugewiesen bekommen. Knoten mit geringer Mobilität können als Routingstruktur im Scatternetz Verwendung finden.

- Die Kommunikation innerhalb eines Piconetzes soll gestärkt werden, indem Knoten mit gegenseitig hohem Datenaufkommen in Piconetzen organisiert werden.
- Die Netzwerktopologie soll ein effizientes Scheduling ermöglichen, d.h. für Brückenknoten muss es eine effiziente zeitliche Zuordnung zu den verschiedenen sie einbeziehenden Piconetzen geben.
- Die Anzahl der Piconetze, an denen Brückenknoten teilnehmen - bezeichnet als der Grad eines Brückenknotens - soll minimiert werden. Je höher der Grad eines Knotens, desto mehr Slave-Rollen nimmt er in verschiedenen Piconetzen ein und desto schwieriger ist das Finden eines effizienten Scheduling. Da ein Slave-Knoten nicht bestimmen kann, wann eine Kommunikation mit dem jeweiligen Piconetz-Master stattfindet, resultiert das Finden einer günstigen Schedulingstrategie oft in einem scatternetzweiten Optimierungsproblem. Entscheidungen sollten jedoch stets lokal getroffen werden können. Für Knoten mit geringem Grad weisen auch einfache Schedulingstrategien eine gute Performanz auf.
- Bei der Scatternetz-Formierung sollen - wenn dies möglich ist - keine vollen Piconetze gebildet werden, um einfacher auf Mobilität im Netz reagieren zu können und die Überlastung von Master-Knoten zu vermeiden. Wir geben eine Zahl k' für die angestrebte maximale Anzahl von Knoten pro Piconetz während der initialen Bildung der Netzwerktopologie vor.
- Master-Slave-Brückenknoten haben die Eigenschaft, dass sie die Rollen Master in einem und Slave in einem oder mehreren anderen Piconetzen innehaben. Master-Slave-Brückenknoten sind problematisch, da sie oft sehr viele Verbindungen unterhalten müssen; dadurch werden sie leicht zum Engpass für die Kommunikation innerhalb des Scatternetzes. Außerdem schwächt die Brückenfunktion des Masters die Kommunikation innerhalb des Piconetzes. Wenn möglich, sollten Slave-Slave-Brückenknoten von kleinem Grad Master-Slave-Knoten vorgezogen werden. Abbildung 3 vergleicht den Durchsatz von Verbindungen zwischen Knoten, die verschiedenen Piconetzen angehören. Dabei werden zwei Konstellationen unterschieden. Im Fall von Master-Slave-Brückenknoten gibt es eine einzelne Verbindung von diesem Knoten hin zum Master eines anderen Piconetzes. Die Performanz auf dieser Verbindung wird der in einer Topologie gegenübergestellt, bei der anstatt der direkten Verbindung zwischen den Master-Knoten ein Slave-Slave-Brückenknoten vom Grad zwei für die Kommunikation zwischen den Piconetzen eingesetzt wird. Im von uns durchgeführten Simulationsexperiment verwenden die Knoten ein einfaches Round-Robin-Schedulingverfahren ohne Synchronisation. Auf der x-Achse ist die Anzahl der Verbindungen der beteiligten Master aufgezeichnet.

In mobilen ad hoc Netzwerken mit einer Vielzahl von Knoten auf engem Raum, existieren viele Topologien, welche die beschriebenen, durch den Bluetoothstandard festgelegten Bedingungen zur Scatternetzformierung erfüllen. In diesem Umfeld nehmen die zugrundeliegenden Formierungskriterien immer stärkeren Einfluss auf die Güte eines Scatternetzes.

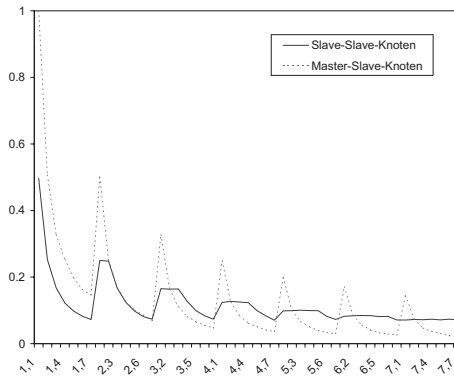


Abbildung 3: Performanz von Master-Slave- und Slave-Slave-Brückenknoten

8 Ausblick

In diesem Beitrag haben wir das Konzept der kontextbasierten Kommunikationsplattform vorgestellt. In ubiquitären Systemen, in denen Knoten ihre Umgebung über Sensoren wahrnehmen, können Sensor- und Kontextdaten genutzt werden, um die Effizienz der Kommunikationsplattform deutlich zu steigern. Im momentanen Stadium unserer Untersuchungen, versuchen wir, das hier vorgestellte Konzept sowohl durch Simulationen als auch durch praktische Experimente mit im Rahmen des Smart-Its Projektes entstandenen Bluetooth-fähigen Geräten zu untermauern. Wir sind davon überzeugt, dass die Ausnutzung von Kontextinformationen zu einer für das Anwendungsumfeld Ubiquitous Computing geeigneten Kommunikationsplattform führt. Die Topologiekonstruktion in Bluetooth-Netzwerken bietet hierfür ein geeignetes Forschungsumfeld.

Literatur

- [ARC01] Analysis - Research - Consultancy: Bluetooth Industry Survey Report, http://www.arcgroup.com/press2/rel_bluetooth3.htm, 2001.
- [BI01] Bluetooth Special Interest Group: *Specification of the Bluetooth System, Core Version 1.1*, February 2001.
- [Ha00] Haartsen, Jaap C.: *The Bluetooth Radio System*. In: IEEE Personal Communications, February 2000.
- [Ho01] Holmquist, Lars Erik; Mattern, Friedemann; Schiele, Bernt; Alahuhta, Petteri; Beigl, Michael; Gellersen, Hans-W.: *Smart-Its Friends: A Technique for Users to Easily Establish Connections between Smart Artefacts*. Proc. Ubicomp 2001, Springer-Verlag LNCS 2201, pp. 116-122, 2001.

- [LMS01] Law, Ching; Mehta, Amar K.; Siu, Kai-Yeung: *Performance of a New Bluetooth Scatternet Formation Protocol*. In: Proceedings of the ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing 2001, Long Beach, California, USA, October 2001.
- [Ma89] Mattern, Friedemann: *Verteilte Basisalgorithmen*. Springer-Verlag, Berlin, 1989.
- [Ma00] Mattisson, Sven: *Low-Power Considerations in the Design of Bluetooth*. International Symposium on Low Power Electronics and Design, ISLPED 2000, Rapallo, Italy, 2000.
- [Ma01] Mattern, Friedemann: *The Vision and Technical Foundations of Ubiquitous Computing*. In: Upgrade European Online Magazine, pp. 5-8, October 2001.
- [Ra01a] Ramachandran, Lakshmi; Kapoor, Manika; Sarkar, Abhinanda; Aggarwal, Alok: *Clustering Algorithms for Wireless Ad Hoc Networks*. In: Proceedings of the 4th international workshop on discrete algorithms and methods for mobile computing and communications, DIAL M Workshop 2000, Boston MA USA, 2000.
- [Ra01b] Racz, Andras; Miklos, György; Kubinszky, Ferenc; Valko, Andras: *A Pseudo Random Coordinated Scheduling Algorithm for Bluetooth Scatternets*. Proc. MobiHOC 2001, Long Beach, California, USA, 2001.
- [RBS01] Raman, Bhaskaran; Bhagwat, Parvin; Seshan, Srinivasan: *Arguments for Cross-Layer Optimizations in Bluetooth Scatternets*. Symposium on Applications and the Internet (SAINT'01), Jan 2001.
- [Sa01] Salonidis, T.; Bhagwat, P.; Tassioulas, L.; LaMaire, R.: *Distributed topology construction of Bluetooth personal area networks*. In: Proceedings of INFOCOM 2001, IEEE, Volume: 3, 2001, pp. 1577-1586.
- [SI01] The Smart-Its Project: <http://www.smart-its.org>.
- [SR02] Siegemund, Frank; Rohs, Michael: *Rendezvous Layer Protocols for Bluetooth-enabled Smart Devices*. Accepted at ARCS 2002, International Conference on Architecture of Computing Systems, April 2002.
- [We91] Weiser, Mark: *The Computer for the Twenty-First Century*. In: Scientific American, pp. 94-100, September 1991.
- [ZBC01] Zaruba, Gergely V.; Basagni, Stefano; Chlamtac, Imrich: *Bluetrees - Scatternet Formation to Enable Bluetooth-Based Ad Hoc Networks*. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC) 2001, Helsinki, Finland, June 2001.