Lokationsbasiertes Routing in Ad-hoc Netzen

Juan C. Fries

Zusammenfassung

Ein *Ad-hoc* Netz ist eine Ansammlung von drahtlosen mobilen Rechnersystemen, die ein temporäres Netzwerk ohne die Hilfe irgendwelcher etablierter Infrastruktur oder zentralisierter Verwaltung auskommen muss. In einer solchen Umgebung kann es für einen mobilen Host aufgrund seiner beschränkten Reichweite nötig werden, andere Hosts bei der Paketversendung zu beteiligen. In dieser Seminararbeit stelle ich drei Ansätze vor, die es sich zum Ziel gemacht haben, das lokationsbasierte Routing in Ad-hoc Netzen zu realisieren.

1 Einleitung

1.1 Ad-hoc Netze

Mobile Systeme und drahtlose Netzwerkendgeräte findet immer größere Verbreitung und ausgedehnte Anstrengungen wurden unternommen, um jene in herkömmliche Netzwerke wie das Internet zu integrieren. In manchen Fällen kann es notwendig werden, eine Kommunikationsinfrastruktur aufzubauen, ohne auf bestehende Vorrichtungen aufsetzen zu können. Dies hat zur Folge, dass keine zentrale Kontrolle die Verwaltung eines solchen Netzes übernehmen könnte. Solche Netze nennt man *Ad-hoc*-Netze. Da solche Netze meist aus mehr als zwei Teilnehmern bestehen, braucht man ein Routingprotokoll, das die Kommunikation zwischen diesen Knoten ermöglicht.

1.2 Neue Herausforderungen

Im Unterschied zum herkömmlichen Routing, bei dem jeder Teilnehmer über mindestens eine feste Verbindung zu einem Router verfügt (im Internet zumindest im Bereich der offiziellen IP-Adressen) und die einzige Dynamik darin besteht, sich von verschiedenen Orten in solche festverbundenen Zugänge über das öffentliche Telefonsystem einzuwählen, werden Systeme in Ad-hoc-Netzen aufgrund ihrer hochgradigen Mobilität nicht über ihre Netzwerkadresse alleine auffindbar zu machen sein. Da die Kommunikation überwiegend nicht über festvergrabene Telefonkabel o. ä. erfolgen kann, sondern über Funk, müssen sich in gewisser Entfernung alle mobilen Einheiten einen Kanal teilen. Diese Entfernung hängt von der Funkreichweite der Sender ab, einem Faktor der ebenfalls zusätzlich berücksichtigt werden muss.

1.3 Motivation

Insgesamt kann nur auf unvollständige Informationen zurückgegriffen werden. All dies macht es den bisherigen verbreiteten Routingprotokollen wie BGP unmöglich, Wegwahlentscheidungshilfen für ein Ad-hoc-Netz zu bieten.

Man braucht daher ein Verfahren, das Skalierbarkeit sowohl in der Knotenanzahl als auch in der geographischen Abdeckung gewährleistet. Knoten sind möglicherweise nur sporadisch verfügbar, weil ihre Besitzer sie gerade nicht brauchen. Das Verfahren muss in Ballungszentren genau so gut funktionieren wie in spärlich bewohnten Gebieten.

Nicht zuletzt muss das Routingprotokoll auf allen beteiligten Systemen eine Bereitwilligkeit schaffen Pakete anderer auf eigene Kosten zu übermitteln.

1.4 Beispiele

- Rettungskräfte, die nach einer Katastrophe schnell eine Oranisationsinfrastruktur aufbauen müssen
- Militärische Verwendung (bspw. Verbindung des Aufklärers mit dem General über mehrere Truppenstationen)
- Zeithifskräfte bei der Durchführung und Unterstützung von Konferenzen oder Vorlesungen
- Betrieb von Sensoren mit geringer Speicherkapazität
- *„Rooftop" networks*: Kommunikation über Antennen auf Häuserdächern

2 Maß für Skalierbarkeit

- Paketkosten
- Erfolgsrate der Paketzustellung
- am Knoten benötigter Speicherplatz

3 Frühere Versuche des geographischen Routings

- DSDV (Destination-Sequenced Distance Vektor): Es erfolgt ständiger Ausstausch von Routinginformationen mit Distanzvektoren. Die Routen zu allen Knoten müssen bekannt sein. [Zha01]
- DSR (Dynamic Source Routing): Im Header steht der vollständige Pfad, der bereits der Quelle bekannt sein muss.
- ZRP (Zone Routing Protocol): Innerhalb einer gut bekannten Routingzone wird DSDV angewandt, außerhab DSR.

4 Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks (GPSR)

GPSR[BK00] verwendet zum Routen die Position der Router und Informationen über die unmittelbaren Nachbarn eines Routers. Dabei werden zwei Methoden zu Rate gezogen: in lokaler Topologie habgieriges Weiterleiten und über größere Entfernungen hinweg ein Routing um einen Perimeter.

Vorteile dieses Routings liegen in der guten Skalierbarkeit in lokaler Topologie bei großer Zielzahl und der Schnelligkeit im mobilen Einsatz die korrekte Route mittels der lokalen Topologie zu finden. Da nur einen Hop weit propagiert wird und kein Cache gehalten wird, ist nur relativ wenig Speicherkapazität notwendig.

Voraussetzungen: Allen Geräten muss ihre geographische Lage bekannt sein (realisierbar mit GPS) und die Quelle muss die geographische Position des Ziels ermitteln können. Dafür müssen sie bidirektional miteinander kommunizieren können und es muss eine Lokationsregistrierung aufgebaut werden, die aus Adressen die Standorte auflöst (vgl. DNS).

4.1 Greedy Forwarding

Die habgierige Wahl des nächsten Hops erfolgt in den meisten Fällen optimal, da dem Sender die Zielposition bekannt ist. Es wird derjenige Hop gewählt, der sich am nächsten zum Ziel befindet, aber gerade noch im Senderadius der Quelle liegt. Dieser Vorgang wird wiederholt bis der Empfänger erreicht wird.

Um die Routingtabelle aktuell zu halten, übermitteln die Stationen regelmäßig[1] ein Signalfeuer an die Rundrufadresse[2], das ihre eindeutige Kennung und ihre Ortsangabe enthält. Erreicht nach gewisser Zeit ein Signalfeuer eine Station nicht mehr, löscht diese den verstummten Sender aus ihrer Routingtabelle.

Da diese Informationen abhängig von der Mobilitätsrate so schnell veralten können, dass die regelmäßigen Signale nicht ausreichen, um die Genauigkeit der Routingtabelle und eventuell bestehende Verbindungen zu schnellen Stationen aufrechtzuerhalten, packen die Stationen *jeder* weiterzuleitenden Paketsendung ihre Ortsangabe bei. Gleichzeitig hören die Stationen den gesamten Datenverkehr innerhalb ihrer Reichweite ab und sammeln die so empfangenen Positionsangaben in ihrer Routingtabelle. Übermittelt eine Station auf diese Weise ihren Standort, entfällt die regelmäßige Sendung des Funkfeuers.

[HIER FEHLEN ABBILDUNGEN]

4.2 Perimeter Forwarding

In manchen Fällen ist die gierige Weiterleitung jedoch nicht möglich. Das ist dann der Fall, wenn ein Sender sich im äußersten Rand der Reichweite des Empfängers befindet

[1] mit einer Schwankung von 50% eingebaut, um Störeffekte zu verhindern
[2] broadcast MAC address

(s. Abb.).Dann kommt die Umkreisweiterleitung zum Einsatz. Dabei wird entgegen dem Uhrzeigersinn um eine Routinglücke herumgeroutet. Dieser Umkreis wird auch Perimeter genannt. Das Problem besteht darin, solche Umkreise in der Routingtabelle abzubilden. Die Autoren schlagen hier verschiedene Methoden vor, auf die ich hier aber nicht weiter eingehe.

[ABBILDUNG]

Wenn ein Knoten ein Paket im Greedy-Modus erhält, durchsucht er seine Nachbartabelle nach dem Nachbarn, der dem Ziel geographisch am nächsten ist. Ist dieser Nachbar näher am Ziel, reicht der Knoten das Paket seinem Nachbarn weiter. Wenn jedoch kein geeigneter Nachbar vorhanden ist, markiert der Knoten das Paket mit dem Perimeter-Modus-Flag. Geht ein Paket mit Ziel D am Knoten x über in den Perimeter-Modus, leitet es GPSR weiter über diejenigen Polygonseiten, die von der Strecke $\overline{xD}$ geschnitten werden. Auf jeder Polygonseite wird versucht eine Kante zu erreichen, die die Strecke $\overline{xD}$ schneidet. An dieser Kante bewegt sich der Polygonzug weiter auf anliegenden Seite, die von $\overline{xD}$ geschnitten wird (s. Abb.) Dieser Prozess wiederholt sich bis D erreicht ist.

[ABBILDUNG]

Durchläuft ein Paket ein zweites Mal die erste Kante, die es auf dieser Seite wählte, betrachtet GPSR das Ziel D als (z. Zt.) nicht erreichbar an und lässt das Paket fallen. GPSR sendet niemals ein und dasselbe Paket zweimal über dieselbe Verbindung in derselben Richtung.

5 Selbstorganisierte Terminodes

Der Name "Terminodes" [SG] leitet sich ab von terminal+nodes und bezeichnet die Knoten. Das Terminodes-Projekt unterscheidet sich zu anderen Forschungsprojekten des mobilen Routings einmal darin, dass es den Anspruch erhebt sämtliche Schichten zu umfassen zum anderen in absoluter Freiheit von Kompabilitätsbeschränkungen (z. B. IPv4). Dies geht jedoch auf Kosten der Verfügbarkeit der Ergebnisse. Das Projekt soll bis zum Jahr 2010 laufen.

Selbstorganisierte Netzwerke zeichnen sich durch diese drei Eigenschaften aus:

- Sie basieren nicht auf Autoritäten. Sie können unabhängig von Dienstanbietern oder gemeinsamen Nennern funktionieren, selbst wenn sie Regulierung benötigen.
- Sie können sehr groß und unregelmäßig verteilt sein. Im Prinzip könnte ein Netzwerk die gesamte Welt abdecken. In urbanen Räumen dürfte ihre Dichte sehr groß werden, während sie in den größten Teilen der Welt klein sein wird.
- Sie arbeiten hochgradig zusammen. Die Aufgaben jeglicher Schicht werden verteilt und werden somit zusammenwirkend in Gruppen gelöst.

Die Benutzer eines selbstorganisierten Netzwerkes können ihre beim Händler gekaufen Geräte sofort nutzen. Sie brauchen keine Verträge abzuschließen, sondern können wie mit Walkie-Talkies sofort loslegen.

5.1 Paketweiterleitung

Jeder Knoten (Terminode) hat eine permanente eindeutige Endsystemkennnummer (End-system Unique Identifier - EUI) und eine von der aktuellen Lokation abhängige Adresse (location-dependent address - LDA). Diese enthält einfach die geographische Länge, Breite und Höhe. Hierzu können auch das Global Positioning System (GPS) oder das derzeit noch in Planung befindliche europäische Galileo eingesetzt werden.

Da ein mobiles Netz ständigen Veränderungen unterworfen ist, kann sich ein Terminode nur auf eine geringe Anzahl von Nachbarn verlassen, um Pakete weitergeleitet zu bekommen. Deshalb wird im Regelfall ein Mehrwegrouting in Betracht gezogen. Das Terminodes-Projekt nutzt eine Kombination aus zwei Routingmethoden: Terminode Local Routing (TLR) und Terminode Remote Routing (TTL).

5.2 Terminode Local Routing

Wie der Name schon sagt, wird das TLR in beschränkten lokalen Radien verwendet. Der lokale Radius wird in Hüpfern (Hops) gemessen. Der TLR-erreichbare Bereich einer Quelle S beinhaltet alle Terminodes, die mit mindestens sovielen Hops erreicht werden können wie der lokale Radius zählt. Jeder Knoten pflegt Daten (EUI und LDA) über seine Nachbar-Terminodes, die sich in seinem TLR-erreichbaren Bereich liegen. TLR verwendet jedoch mittels eines Entfernungsvektorroutingprotokolls ausschließlich die EUI-Daten, um Pakete an TLR-erreichbare Ziele zu versenden. Die Ortsangaben in LDA werden nicht verwendet, da bei kleinen Entfernungen und nicht zuletzt aufgrund der möglicherweise hohen Mobilität von Terminodes inkonsistente Ortsinformationen schnell zu Routingfehlern führen können.

5.3 Terminode Remote Routing

Schlüsselelement zur Skalierbarkeit und reduzierten Abhängigkeit von zwischengeschalteten Systemen.

Um auch Terminodes außerhalb des TLR-erreichbaren Bereiches kontaktieren zu können, wird das TRR verwendet. Es besteht aus drei Elementen:

5.3.1 Anchored Geodesic Packet Forwarding (AGPF)

Völlig anders als TLR routet AGPF nur mit Hilfe der Ortsangaben, aber ermöglicht das Routing über weite Entfernungen.

Wenn S Daten für D hat und D nicht TLR-erreichbar ist, bestimmt S erst die LDA_D von D (s. u.).

Hat S diese Informationen über den Aufenthalt von D, verschickt es das Paket zum Nachbarn X, der am nächsten zu D liegt, aber gerade noch in seiner Reichweite ist. Wenn nun D im TLR-erreichbaren Bereich von X liegt, verwendet X das TLR; sonst verschickt X das Paket wiederum mit AGPF.

Besteht jedoch keine Verbindung über die geographisch kürzeste Strecke, scheitert dieses Verfahren. Die Forschungsgruppe in Lausanne löst dieses Problem, in dem sie *Anker* mit einbezieht. Diese Anker bestehen nur aus geographischen Koordinaten und werden vom Sendeknoten berechnet (s. FAPD). Der Sendeknoten fügt dem Paket einen Routenvektor hinzu, der aus einer Liste von Ankern erstellt wird. Innerhalb von Ankern wird dieses Paket mit AGPF geroutet. Befindet sich ein übermittelnder Knoten "nahe" am Anker, entfernt er diesen Anker aus der Ankerliste und sendet das Paket an den nächsten Anker weiter. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird das Paket auf diese Art und Weise sein Ziel erreichen.

[ABBILDUNG]

5.3.2 Friend Assisted Path Discovery (FAPD)

Ein Terminode A pflegt eine Liste mit Terminodes, die es seine Freunde nennt. B ist Freund von A, wenn (1) A der Meinung ist, einen guten Pfad zu B zu haben und (2) A entscheidet, B in seiner Liste zu behalten. Einen guten Pfad zu haben kann z. B. heissen, dass B noch in der TLR-erreichbaren Zone liegt oder weil A bereits viele Male erfolgreich Routenvektoren über B verlegt hat.

Will A einen Pfad zu Knoten C erkunden, könnte er seinen Freund B um Hilfe bitten. B kann dann evtl. wiederum mit Hilfe seiner Freunde einen Weg zu C ausfindig machen. A bezahlt B für den erbrachten Dienst mit sog. "Nuglets".

5.3.3 Path Maintenance

Ein Terminode versucht normalerweise mehrere verschiedene Pfade zu einzelnen interessanten Zielen aufrechzuerhalten und verwendet sie parallel. Er überwacht aber auch ständig die Kosten die ein Pfad verursacht. Kosten werden verursacht durch Nuglets, Paketverluste und Zustellungsverzögerung; aber auch Robustheit, Stabilität und Sicherheit können Einfluss auf die Kosten nehmen. Zusätzlich sammelt der Knoten Informationen über den Wert eines Pfades. Weniger ausgelastete Pfade werden eher gewählt als verstopfte Pfade.

5.4 Mobilitätsmanagement

Hauptaufgabe des Mobilitätsmanagements besteht darin, die Ortsangaben dynamisch, skalierbar, sicher und fair zu verteilen, ohne bestimmte Knoten oder Regionen zu bevorzugen. Gleichzeitig aber müssen die LDAs nicht exakt gepflegt werden; es reicht ein Paket in die TLR-erreichbare Zone des Ziels zu lenken.

Um die Ortsinformationen zu sammeln und bereitzustellen, announciert jeder Knoten seine aktuelle Position (LDA) an seine geographische Region (die sog. virtuelle Heimregion - VHR). Die VHR hat einen festen Mittelpunkt C_{VHR} und einen veränderlichen Radius, der sich je nach Knotendichte ändern kann, um eine nahezu konstante Anzahl Knoten zu beherbergen. Der Mittelpunkt einer VHR lässt sich aus der EUI durch eine allgemein bekannt Hash-Funktion ermitteln. Alle Terminodes in A's VHR halten die

Abbildung von A's EUI auf seine LDA vor. Die anderen Terminodes behalten diese Managementaufgabe bis sie A's VHR verlassen.

Will B den Standort von A wissen, startet B eine Anfrage in Richtung A's VHR, die sich mit Hilfe der Streufunktionen bestimmen lässt. Die Knoten in A's VHR antworten B mit der gewünschten Information. Mit dieser kann B nun die Verbindung zu A herstellen. Während der gesamten Kommunikation, verlassen sich A und B auf direkte Mobilitätsverfolgung.

[ABBILDUNG]

Die automatische Akualisierung der Ortsinformation an die VHR liesse sich durch verschiedene Möglichkeiten realisieren. Im zeitbasierten Aktualisierschema versendet ein Knoten seine Koordinaten in festen Abständen an seine VHR. Im entfernungsbasierten Update-Schema plottet ein Knoten den Weg, den er seit der letzten Übertragung gegangen ist und sendet seine neuen Daten, sobald ein gewisser Schwellwert überschritten wird. Im voraussagenden entfernungsbasierten Update-Schema überträgt der Knoten zusätzlich seine Bewegungsgeschwindigkeit.

5.5 GPS-freie Positionsbestimmung

GPS bietet eine einfache Methode zur Positionsbestimmung. Es gibt jedoch Fälle, in denen GPS nicht verfügbar ist. Z. B. wenn das GPS-Signal (in Gebäuden) zu schwach ist, die Störung für die Anwendung zu gross ist oder ein GPS-Empfänger aus Kostengründen weggelassen wurde. Hier soll der Selbstpositionierungsalgorithmus (SPA) [SC01] einspringen.

- Ein Terminode misst die Entfernungen zu seinen Nachbarn und sendet diese Informationen an alle seine Nachbarn.
- Ein Terminode erstellt sein lokales Koordinatensystem (LCS) und berechnet die Positionen seiner Nachbarn im LCS.
- Ein Terminode berechnet den Dichtefaktor seiner n-hop-Nachbarschaft (z. B. die Anzahl der Terminodes in der n-hop-Nachbarschaft).
- Der Terminode mit dem höchsten Dichtefaktor bildet eine Lokationsreferenzgruppe (LRG, sie besteht aus den Terminodes in seiner m-hop-Nachbarschaft) und berechnet den Mittelpunkt und die Richtung des Netzwerkkoordinatensystems (NCS).
- Alle Terminodes berechnen ihre Position im Netzwerkkoordinatensystem.

Dieses Verfahren führt bei hohen Geschwindigkeiten jedoch zu einer schlechteren Weiterleitungsleistung.

5.6 Ansporn zur Kooperation

In einem selbstorganisiertem Netzwerk erbringt jeder Knoten sämtliche Netzwerkdienste, obwohl dies zusätzliche Energieleistung vom Knoten erfordert. Um diese Unannehmlichkeit zu kompensieren, führt das Terminodes-Projekt die bereits genannten "Nuglets" ein. Diese stellen eine virtuelle Währung dar und dienen zur Belohnung für erbrachte Netzwerkdienste. Die Erfinder der Terminodes halten sich noch frei, ob der Sender oder der Empfänger für die Paketzustellung zahlen muss. Vielleicht wird noch eine Zwischenlösung oder eine Lösung mit Wahlmöglichkeit entworfen.

5.6.1 Packet Purse Model

Im "Paketbörsen"-Modell zahlt der Sender für den Paketversand. Dem zu versendenden Paket wird ein Betrag an "Nuglets" mitgegeben, der reichen sollte, um das Ziel zu erreichen. Jeder übermittelnde entnimmt dabei einen Betrag, der seine (von vielen Faktoren abhängigen) Kosten decken soll. Kann ein Paket nicht mehr für seinen Transport aufkommen, wird es unverzüglich verworfen.

Dieses Modell bietet den Vorteil, eine Abschreckung gegenüber dem Versand nutzloser Daten zu sein, die das Netz überlasten könnten. Von Nachteil ist die schwere Abschätzbarkeit der benötigten Nuglets. Über zuviel gezahlte Nuglets schweigen sich die Verfasser aus.

5.6.2 Packet Trade Model

Zumindest das Abschätzbarkeitsproblem kann das Pakethandelsmodell beheben. Hier sind dem Paket keine Nuglets beigefügt. Das Paket wird vielmehr regelrecht gehandelt, übermittelnde Knoten tauschen jeder für sich die Pakete untereinander gegen Nuglets. Dabei nimmt der "Marktwert" eines Paketes mit steigender Hüpfzahl zu, so dass der empfangende Terminode im Endeffekt für die Kosten aller beteiligten Knoten aufkommen muss.

Für Multicast-Kommunikation kann dieses Verfahren sehr vorteilhaft sein. Es bietet in dieser Form aber keinen Schutz vor Überflutung nutzloser Daten. Auch ist nicht geklärt, was ein Knoten mit einem Paket anfangen soll, das der Empfänger nicht bezahlen kann.

6 GRA

6.1 Weiterleitung

GRA [RJ01] (Geographical Routing Algorithm) kommt ohne Anker aus und routet auch nicht um Löcher herum. Hier besitzt jeder Knoten eine Routingtabelle mit einer Liste aus geographischen Positionen p_i und Nachbarn S_i: $\langle(p_i, S_i)\rangle$. Wenn Knoten S ein Paket für D erhält, schickt er das Paket an den Nachbarn, dessen Position der Position von D am nächsten ist. Der übermittelnde Knoten verfährt ebenso und wählt aus seiner Nachbarliste den zu D nächsten Knoten. Je näher ein Paket seinem Ziel kommt, um so besser werden die Routen, die an das Ziel führen, obwohl der Sender die Netzwerktopologie im Zielgebiet nur grob kennt.

6.2 Routenerkundung

Findet ein Knoten S keinen Nachbarn, der näher an D ist, so bleibt das Paket im aktuellen Knoten hängen. Das ist dann der Fall, wenn S näher an D ist als alle anderen Nachbarn in der Liste. Knoten S startet den Routenerkundungsalgorithmus, der den Pfad $(S, D) = \langle k_0, k_1, \ldots, k_l \rangle$ ausfindig macht und den Knoten k_i in seine Tabelle den Eintrag $(pos(D), k_{i+1})$ schreiben lässt. Auf diese Art und Weise lernt jeder Knoten auf diesem Pfad eine Route zu D. So erhalten die Routingtabellen neue Einträge und das hängengebliebene Paket kann von S nach D weitervermittelt werden.

Dieser Algorithmus setzt voraus, dass die einzelnen Knoten ihre eigene geographische Position genau kennen (z. B. mit Hilfe von GPS) und den Standort der Zielknoten ermitteln können. Hierfür empfiehlt die Forschungsgruppe in Berkeley den Graphischen Lokationsservice GLS [JL00], der Netzwerkadressen in geographische Ortsangaben übersetzt. Der sendende Knoten kann dann aus dem GLS die Position des Empfängers abfragen.

Außerdem wird angenommen, dass die optimale Sendeleistung der Knoten festgelegt ist und stufenweise so eingestellt werden kann, dass das drahtlose Netzwerk einen ungerichteten verbundenen Graphen $G = (N, L)$ ergibt, wobei N die Knoten und L die Kanten im Graphen sind. Kante $(i, j) \in L$, wenn i und j Nachbarn sind. Die Knoten sollen dank eines Zugriffsplans ohne Interferenzen funken können.

Die durchschnittliche Größe der Routingtabelle eines Knotens beträgt $O(\overline{L} \log n)$, wobei $\overline{L}$ die durchschnittliche Anzahl von Hüpfern zwischen zufällig ausgewählten Knoten und n die Anzahl der Knoten sind. Mit den oben genannten Voraussetzungen kann bewiesen werden, dass alle Pakete ihr Ziel erreichen und die Routingtabellen zyklenfrei bleiben.

[ABBILDUNG]

[IN DIESER SEMINARARBEIT HIER FEHLEN DIE ABBILDUNGEN]

Literatur

[BK00] Brad Karp, H. T. Kung: *GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks.* 6th Annual ACMIEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000), 2000.

[JL00] Jinyang Li, u. a.: *A Scalable Location Service for Geographic Ad Hoc Routing.* MobiCom 2000, 2000.

[RJ01] Rahul Jain, Anuj Puri, Raja Sengupta: *Geographical Routing Using Partial Information for Wireless Ad Hoc Networks.* IEEE Personal Communications, Februar 2001.

[SC01] Srdjan Capkun, Maher Hamdi, Jean-Pierre Hubaux: *GPS-free positioning in mobile Ad-Hoc networks.* Proceedings of the 34th HICSS, Januar 2001.

[SG] Silvia Giordano, Jean-Pierre Hubaux, Jean-Yves Le Boudec: *Self-Organization in Mobile Ad-Hoc Networks: the Approach of Terminodes.* Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switerland.

[Zha01] Zhang, Guoxing: *Ad-hoc Routing.* ITM-Seminar Ubiquitäre Systeme, Dezember 2001.

Abbildungsverzeichnis