

Adaptive Routenselektion in mobilen Ad-hoc-Netzen mit Internet-Anbindung

Oliver Stanze, Kilian Weniger, Simon Oser, Martina Zitterbart
Institut für Telematik
Universität Karlsruhe (TH)
{stanze,weniger,zit}@tm.uka.de, simon.oser@web.de

Abstract: In einem mobilen Ad-hoc-Netz mit mehreren Zugängen zu einem Infrastrukturnetz können zwei mobile Knoten entweder über reine Ad-hoc- oder gemischte Ad-hoc-Infrastruktur-Routen miteinander kommunizieren. Abhängig vom Szenario kann eine dieser Möglichkeiten deutlich günstiger sein. Bisherige Routingprotokolle wählen immer die Ad-hoc-Route, falls diese existiert oder aufgebaut werden kann. Diese Arbeit stellt das *Adaptive Ad hoc Infrastructure Route Selection (AIRS)*-Konzept als Erweiterung des Routingprotokolls AODV vor, welches immer eine für das jeweilige Szenario optimale Entscheidung treffen kann. Simulationsergebnisse zeigen die Leistungsfähigkeit des Ansatzes im Vergleich zu bisherigen Ansätzen.

1 Einleitung

Die Anbindung von mobilen Ad-hoc-Netzen (MANETs) an Infrastrukturnetze eröffnet neue Möglichkeiten, wie z.B. den Zugriff auf das Internet über WLAN-Zugangspunkte, die sich außerhalb der eigenen Funkreichweite befinden. In der Literatur sind daher verschiedene Vorschläge zu finden, wie eine Integration z.B. von Mobile IP mit Ad-hoc-Routingprotokollen ermöglicht werden kann [WMP⁺03] [JAL⁺00]. Mobile Knoten erfahren dabei über Internet-Gateways in ihrer Umgebung i.A. über Advertisement-Nachrichten, die die Gateways in einem bestimmten Umkreis periodisch im MANET fluten. Entsprechend können sich die mobilen Knoten beim nächsten Gateway registrieren und eine global routbare, zum Präfix des Gateways passende Care-Of-Adresse (CoA) erhalten. Möchten nun zwei mobile Knoten in einem MANET mit mehreren Infrastruktur-Zugängen miteinander kommunizieren, können sie entweder eine reine Ad-hoc- oder eine gemischte Ad-hoc-Infrastruktur-Route, fortan Internet-Route genannt, verwenden. Je nach Szenario und Metrik kann eine dieser Routen deutlich günstiger und damit besser geeignet sein. Abbildung 1 zeigt ein Beispielszenario, in dem für Knoten A und B die Ad-hoc-Route $\overrightarrow{AB}_{Ad-hoc}$ deutlich kürzer ist als die Internet-Route $\overrightarrow{AB}_{Internet}$, für Knoten C und D aber die Internet-Route $\overrightarrow{CD}_{Internet}$ deutlich kürzer ist als die Ad-hoc-Route $\overrightarrow{CD}_{Ad-hoc}$. Eine *adaptive Routenselektion* ist daher wünschenswert.

Die oben erwähnten Ansätze aus der Literatur wählen immer die Ad-hoc-Route, falls diese aufgebaut werden kann. Lediglich in [XB03] wird ein adaptiver Ansatz vorgeschlagen,

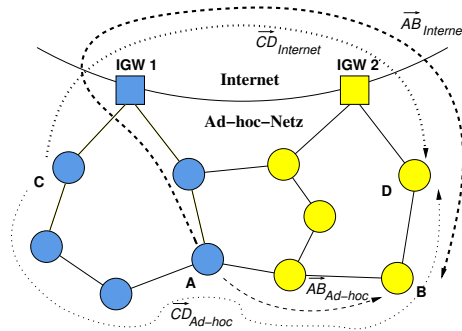


Abbildung 1: Beispielszenario mit unterschiedlicher Routenselektion

nach dem ein Knoten die Internet-Route wählt, falls der Zielknoten an einem anderen Gateway registriert ist und damit einen anderen Präfix besitzt. Als Optimierung wird außerdem vorgeschlagen, dass jeder Knoten einen Cache mit Präfixen verwaltet, von denen er z.B. über empfangene Advertisements erfahren hat. Ist der Präfix des Zielknotens in diesem Cache vorhanden, wird davon ausgegangen, dass der Zielknoten nicht weit entfernt ist. In diesem Fall wird die Ad-hoc-Route gewählt. Nachteil dieses Ansatzes ist jedoch, dass die Entscheidung nicht von den Entfernungen, sondern hauptsächlich von der Mobilität abhängt. So werden in hoch mobilen Szenarien eher Ad-hoc-Routen und in quasi-statischen Szenarien eher Infrastruktur-Routen verwendet, auch wenn evtl. deutlich kürzere Infrastruktur-/Ad-hoc-Routen existieren.

2 AIRS mit dem Routingprotokoll AODV

Die grundlegende Idee des AIRS-Konzepts ist, dass der Quellknoten die Entscheidung zwischen Ad-hoc- und Infrastruktur-Route auf Basis der globalen Adresse des Zielknotens und der Distanzen der beiden Kommunikationspartner zu deren Internet-Gateways bestimmt. Dazu wird davon ausgegangen, dass sich die Knoten auf Basis von periodischen Advertisement-Nachrichten der Internet-Gateways eine topologisch korrekte CoA bilden. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass diese Nachrichten Auskunft über die Distanz zum entsprechenden Internet-Gateway geben. Somit kann sich jeder Knoten immer am nächsten Gateway anmelden. Entspricht der Präfix des Zielknotens D dem des Quellknotens S, dann befinden sich beide im gleichen Subnetz und die Ad-hoc-Route wird verwendet. Andernfalls sollen die Länge der Routen entscheiden. Gilt Formel 1, dann ist die Ad-hoc-Route kürzer als die Internet-Route und die Ad-hoc-Route wird verwendet.

$$d(S, IGW1) + d(D, IGW2) + d(IGW1, IGW2) > d(S, D) \quad (1)$$

$d(S, IGW1)$ bezeichnet dabei die Distanz zwischen Quellknoten S und dem Internet-Gateway seines Subnetzes, $d(D, IGW2)$ die Distanz zwischen Zielknoten D und dem zugehörigen Internet-Gateway, $d(IGW1, IGW2)$ die Distanz zwischen den beiden Internet-

Gateways und $d(S, D)$ die Distanz zwischen Quell- und Zielknoten. Bevor der Quellknoten S seine Entscheidung treffen kann, muss er zuerst diese vier Distanzen kennen. Nach der obigen Annahme ist $d(S, IGW1)$ Knoten S und $d(D, IGW2)$ Knoten D bereits bekannt. Die Kosten der Route zwischen den beiden Internet-Gateways wird gegenüber den Ad-hoc-Routen als eher konstant und vernachlässigbar angesehen. Aus diesem Grund wird $d(IGW1, IGW2)$ als Konstante c angenommen. Startet nun Knoten S die Route Request (RREQ)-Phase von AODV, um eine Route zu Knoten D aufzubauen, erfährt er anhand empfangener Route Reply (RREP)-Nachrichten die Entfernung $d(S, D)$. Es fehlt ihm also lediglich die Distanz $d(D, IGW2)$. Um diese zu erfahren, fügt Knoten S ein AIRS-Flag in den RREQ ein. Empfängt Knoten D den RREQ, kann er die Distanz $d(D, IGW2)$ mit einer AIRS-Erweiterung der RREP-Nachricht an Knoten S senden. Knoten S kann daraufhin die Entscheidung nach der obigen Formel treffen und die Daten entweder direkt oder durch IP-Tunneling zum Gateway über das Internet senden. Empfängt jedoch Knoten D den RREQ nicht, da ein Zwischenknoten diesen bereits beantwortet hat, muss Knoten S einen speziellen RREQ mit Destination-Only (D)-Flag per Unicast über die Ad-hoc-Route an Knoten D senden, der ihm dann mit einer erweiterten RREP-Nachricht die Distanz mitteilen kann.

Der oben beschriebene Vorgang verursacht wenig, aber zusätzlichen Protokoll-Overhead. Daher soll die Entscheidung nicht bei jedem Routenbruch neu getroffen werden, sondern eine gewisse Zeit gültig sein. Dazu wird ein zusätzlicher Timer eingeführt, der je nach Mobilität der Knoten eingestellt werden kann. Nach Ablauf des Timers muss Knoten S eine neue Entscheidung erst dann treffen, wenn auf Grund eines Routenbruchs oder des Ablaufs der Route eine neue Route zu Knoten D bestimmt werden muss. Des Weiteren muss Knoten S auch eine neue Entscheidung treffen, wenn Knoten D sein Internet-Gateway und damit auch seine CoA ändert.

3 Evaluation und Vergleich mit anderen Ansätzen

Um die Leistungsfähigkeit des Konzepts zu evaluieren, wurde es in einer erweiterten Version des Netzwerksimulator GloMoSim 2.03 implementiert und untersucht. Insgesamt wurden vier unterschiedliche Szenarien mit jeweils 350 Knoten simuliert, die sich vor allem durch Anzahl und Position der Internet-Gateways unterscheiden (siehe Abbildung 2).

Die mobilen Knoten bewegen sich nach dem Random Walk-Mobilitätsmodell mit einer für Fußgänger typischen Geschwindigkeit von 0.5 bis 2 m/s. Jeweils zwischen zufällig gewählten Knoten werden 10 CBR-Verbindungen mit $1 \frac{KByte}{s}$ aufgebaut. Es wurde ein flaches Routing über das Ad-hoc-Netzwerk (AD-HOC), ein hierarchisches Routing über das Internet in Abhängigkeit vom Adress-Präfix der CoA (INTERNET) und die adaptive Routenselektion mit AIRS (Kostenfaktoren $c=0,2,4$) simulativ miteinander verglichen. Die Simulationen wurden mit jeweils 10 unterschiedlichen Seed-Werten durchgeführt.

Die in Abbildung 3 dargestellten Simulationsergebnisse zeigen Durchschnittswerte an. Sie bestätigen, dass ein Vorteil der adaptiven Routenselektion die geringere durchschnittliche Routenlänge ist. Es ist deutlich zu erkennen, dass in allen Szenarien AIRS die kürzesten

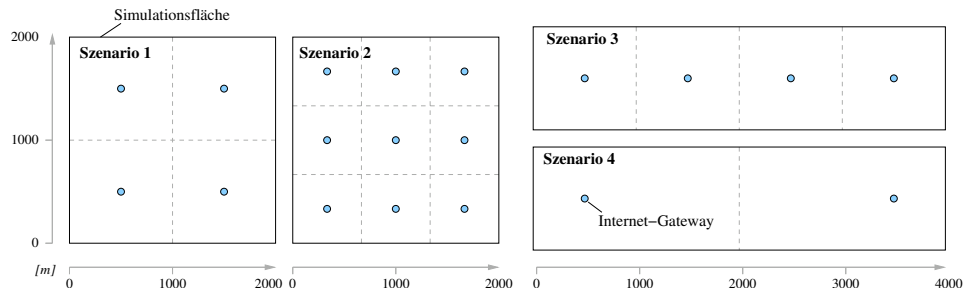


Abbildung 2: Untersuchte Simulationsszenarien

Routen bestimmt, wodurch Ressourcen im Ad-hoc-Netzwerk eingespart werden können. Im Vergleich zu AD-HOC sind die Routen im Schnitt 2-3 Hops kürzer und im Vergleich zu INTERNET 1 Hop. Die gemessene Internet-Rate, also der Anteil über das Internet versendeten Pakete, ist ebenfalls abhängig vom eingesetzten Verfahren und vom Kostenfaktor. Bei AD-HOC werden keine Datenpakete über das Internet-Gateway versendet. Bei INTERNET ist die Internet-Rate abhängig von der Anzahl der Internet-Gateways: je mehr Internet-Gateways, desto größer die Internet-Rate. Der Grund dafür ist, dass ein Knoten ein Datenpaket nur über eine Ad-hoc-Route sendet, wenn sich der Kommunikationspartner im gleichen Subnetz befindet. Je höher aber die Anzahl der Internet-Gateways ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich der Kommunikationspartner im gleichen Subnetz befindet. Die Internet-Rate ist auf Grund der Adaptivität bei AIRS immer deutlich geringer als bei INTERNET. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Internet-Rate mit steigendem Kostenfaktor c geringer wird, da die Route zwischen den beiden Internet-Gateways höher gewichtet wird. Der Vergleich der Ankunftsrate bestätigt, dass bei allen drei Ansätzen nahezu alle Pakete erfolgreich beim Kommunikationspartner ankommen. In allen Szenarien ist die Paketankunftsrate von AIRS am besten. Schließlich zeigt der Vergleich des Protokoll-Overheads als Verhältnis der gesendeten Kontrollbytes zu ausgelieferten Datenbytes, dass dieser bei AD-HOC in allen Szenarien deutlich höher ist als bei INTERNET und AIRS. Dies ist vor allem in dem höheren Anteil des AODV-Overheads begründet, denn dieser steigt durch die Ring-Search-Technik mit der Routenlänge. Weitere Ergebnisse sind in [Os04] zu finden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein neuartiger Ansatz zur adaptiven Routenselektion namens AIRS vorgestellt. AIRS ermöglicht es einem mobilen Knoten in einem MANET mit mehreren Internet-Gateways immer die optimale Entscheidung zwischen einer reinen Ad-hoc-Route oder einer Ad-hoc-Infrastruktur-Route zu einem mobilen Zielknoten zu treffen. Simulationen haben bestätigt, dass AIRS kürzere Routen als das klassische Ad-hoc-Routing bereitstellen kann. Dadurch kann AIRS im Gegensatz zum flachen Ad-hoc-Routing erheblich

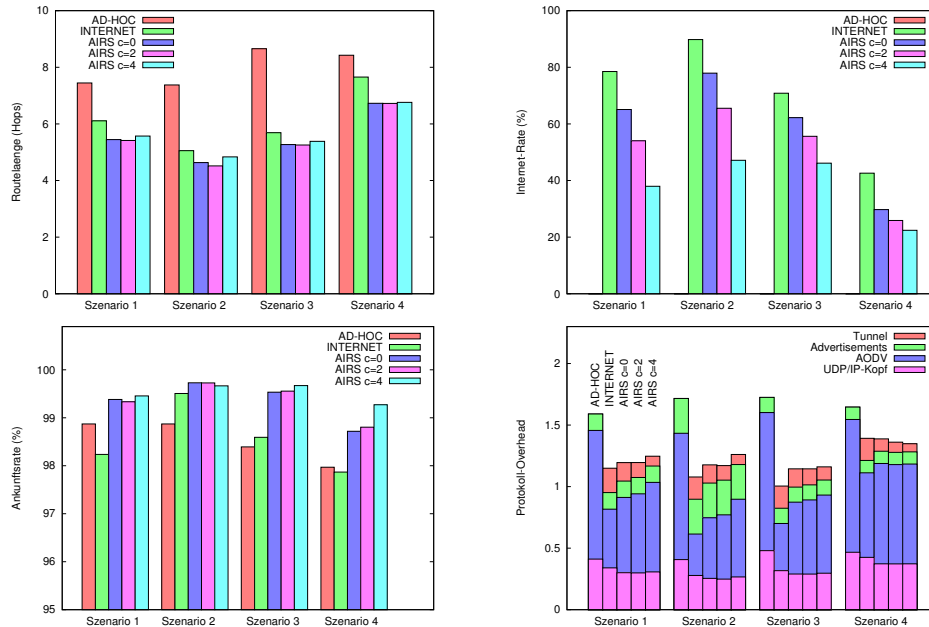


Abbildung 3: Ergebnisse der Simulationen

Protokoll-Overhead einsparen und gegenüber dem hierarchischen Routing die Auslastung des drahtlosen Mediums beim Gateway deutlich reduzieren. In weiterführenden Arbeiten könnten in den Faktor c der Kostenfunktion weitere Kriterien einfließen, wie z.B. die Auslastung der Gateways. Des Weiteren könnten anwendungsspezifische Kriterien verwendet werden, um die Suche nach einer Ad-hoc-Route bei eindeutig im Internet liegenden Zielen zu vermeiden (z.B. WWW-Zugriffe).

Literatur

- [JAL⁺00] Jönsson, U., Alriksson, F., Larsson, T., Johansson, P., und Maguire, Jr., G. Q.: MIP-MANET: mobile IP for mobile ad hoc networks. In: *Proceedings of the 1st ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*. S. 75–85. IEEE Press. 2000.
- [Os04] Oser, S.: Routing in mobilen Ad-hoc-Netzen mit Internet-Anbindung. In: *Diplomarbeit am Institut für Telematik, Universität Karlsruhe*. April 2004.
- [WMP⁺03] Wakikawa, R., Malinen, J. T., Perkins, C., Nilsson, A., und Tuominen, A. J. Global connectivity for ipv6 mobile ad hoc networks. Draft, Internet Engineering Task Force. Oktober 2003.
- [XB03] Xi, J. und Bettstetter, C.: Wireless multi-hop internet access: Gateway discovery, routing and addressing. In: *In Proc. Intern. Conf on Third Generation Wireless and Beyond (3Gwireless)*. San Francisco, CA, USA. May 2003.