

Adaptive Datenverteilung in mobilen Ad-hoc Netzen unter Verwendung des Area Graph basierten Bewegungsmodells

Sven Bittner Wolf-Ulrich Raffel Manuel Scholz

Institut für Informatik
Freie Universität Berlin
Takustr. 9
D-14195 Berlin
{bittner, raffel, mscholz}@inf.fu-berlin.de

Abstract: Bei der Untersuchung von Verteilungsprotokollen in mobilen Ad-hoc-Netzen spielt das zugrundeliegende Bewegungsmodell eine wichtige Rolle, da von ihm auch die Leistung der Protokolle beeinflusst wird. Bisher wurde in vielen Untersuchungen das *Random Waypoint* Bewegungsmodell verwendet. In diesem Beitrag wird ein neues Bewegungsmodell, das *Area Graph* basierte Bewegungsmodell, vorgestellt, welches viele Eigenschaften realer Szenarien berücksichtigt. Anhand von Simulationen mit verschiedenen probabilistischen Verteilungsprotokollen und einem Vergleich mit dem *Random Waypoint* Bewegungsmodell werden die Eigenschaften des *Area Graph* basierten Bewegungsmodells untersucht. Weiterhin wird gezeigt, dass in einem realistischeren Modell wie dem *Area Graph* basierten Bewegungsmodell nur die Verwendung von adaptiven Verteilungsprotokollen sinnvoll ist, da sonst eine effiziente Verteilung bei sich in Topologie und Dichte unterscheidenden Bereiche nicht möglich ist.

1 Einleitung

In den letzten Jahren ist durch die zunehmende Verkleinerung der Computer (Laptops, PDAs) und durch das immense Wachstum der drahtlosen Datenübertragung (WLAN, Bluetooth) das Thema Mobilität in den Vordergrund gerückt. Deshalb findet sich gerade im Bereich der mobilen Datenverarbeitung eine Vielzahl an neuen Möglichkeiten. Ein aktuelles Beispiel sind *Mobile Ad-hoc-Netze* (MANETs). Dabei handelt es sich um dezentral organisierte und unstrukturierte Peer-to-Peer-Netze, die sich per Funkübertragung spontan zwischen mehreren mobilen Rechnern bilden können. Eine Besonderheit ist dabei die durch die Mobilität hervorgerufene hohe Dynamik. Durch die ständige Aktivität der einzelnen Netzteilnehmer hat das MANET keine feste Struktur (Topologie), sondern ändert diese kontinuierlich. Somit lassen sich viele bekannte Algorithmen aus den bisher stärker untersuchten (statischen) Netzen oft gar nicht oder nur bedingt umsetzen. Es gibt für MANETs viele bisher wenig erforschte Problemstellungen, wie z.B. die Verteilung von Daten (Broadcast, Multicast etc.). Der Broadcast (Verteilung an alle Knoten im Netz), ist eine in MANETs häufig verwendete Operation, welche in diesem Beitrag experimentell untersucht wird.

Bisher wurden bei solchen Untersuchungen oft einfache Bewegungsmodelle wie das *Random Waypoint* Modell als Grundlage verwendet [Ni99,WC02]. Diese Modelle haben die Eigenschaft, in ihrer Topologie und ihrer Netzdichte sehr homogen zu sein. Betracht-

tet man jedoch realistische Szenarien, wie z.B. eine Messe oder den Campus einer Universität, in denen sich mobile Netze bilden, so sieht man, dass diese sehr heterogen sind. Es gibt viele Bereiche wie große Hallen und Hörsäle im Gegensatz zu schmalen Gängen und langen Wegen, die eine unterschiedliche Topologie und Netzdichte besitzen. In diesem Beitrag werden die Untersuchungen deshalb mit einem neuen Modell, dem *Area Graph* basierten Bewegungsmodell durchgeführt. Dieses Modell verwendet eine Graphenstruktur mit Bereichen verschiedener Dichte und erhält somit die heterogene Struktur der realen Szenarien. Es stellt dabei eine Erweiterung des graphbasierten Bewegungsmodells dar, welches in [Ti02] anhand von Untersuchungen mit Routingprotokollen in MANETs eingeführt wurde.

Um zu zeigen, wie unterschiedlich das Verhalten verschiedener Verteilungsprotokolle im realistischeren *Area Graph* basierten Bewegungsmodell im Gegensatz zum *Random Waypoint* Bewegungsmodell ist, werden im folgenden Beitrag experimentelle Untersuchungen unter Berücksichtigung der beiden Bewegungsmodelle durchgeführt. Weiterhin wird aufgrund der Verwendung des *Area Graph* basierten Bewegungsmodells die Notwendigkeit eines adaptiven Verteilungsverfahrens dargelegt.

Dieser Beitrag ist wie folgt gegliedert: Abschnitt 2 beschreibt die verwendeten Verteilungsprotokolle und Abschnitt 3 die Bewegungsmodelle. Abschnitt 4 diskutiert die durchgeführten experimentellen Untersuchungen. Abschnitt 5 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsvorhaben.

2 Verteilungsprotokolle

Bei der Verteilung von Daten an alle Netzteilnehmer (Broadcast) ist das primäre Ziel, so viele Knoten wie möglich zu erreichen. Zusätzlich muss die Netzlast, d.h. die Anzahl der dafür benötigten Nachrichten betrachtet werden. Gerade in mobilen Netzen ist die Netzlast ein wichtiger Faktor, da die Netzteilnehmer oft nur über begrenzte Ressourcen (Bandbreite, Energie) verfügen. Deswegen sollte ein effizientes Verteilungsprotokoll möglichst viele Knoten erreichen und dabei ein gutes Verhältnis von gesendeten Nachrichten zu den erreichten Knoten besitzen.

Im Folgenden werden die in den experimentellen Untersuchungen betrachteten Protokolle erläutert. In allen untersuchten Protokollen verwalten die Netzknoten eine Nachrichtenhistorie, mit deren Hilfe sie feststellen können, ob sie die Daten bereits erhalten haben. Ist das der Fall, so verteilt der Netzknoten diese nicht weiter.

2.1 Einfaches Fluten

Werden Daten von einem Startknoten aus durch einfaches Fluten verteilt, so versendet dieser die Daten an all seine Nachbarn, d.h. an alle von ihm aus erreichbaren Knoten. Jeder Knoten, der die zu verteilenden Daten erhält, versendet sie ebenfalls an all seine Nachbarn weiter. Durch die oben angegebene Nachrichtenhistorie terminiert die Verteilung spätestens, wenn alle im Netz erreichbaren Knoten die Daten erhalten haben.

Das einfache Fluten ist eine simple und durch seine große Menge an Nachrichten sehr zuverlässige Art, Daten in einem Netz zu verteilen und deswegen besonders für sehr dynamische und unzuverlässige Netze geeignet [Ho99].

2.2 Probabilistisches Fluten

Werden Daten von einem Startknoten aus durch probabilistisches Fluten [Ni99] verteilt, so versendet dieser ebenfalls die Daten an all seine Nachbarn. Jeder Knoten, der diese Daten erhält, schickt diese jedoch nur mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeit weiter. Wird entschieden, die Daten weiterzuschicken, so werden sie an alle Nachbarn weitergegeben. Durch die Eigenschaften der Funktechnik ist das Senden einer Nachricht an alle Nachbarn nicht mit Mehraufwand verbunden. Die probabilistische Beschränkung der weitersendenden Nachbarn ist somit effektiver als die Beschränkung der zu adressierenden Nachbarn. Der Wahrscheinlichkeitswert für das Weitersenden der Daten ist fest. Beträgt dieser Wert 1, so entspricht dies genau dem einfachen Fluten.

2.3 Adaptives probabilistisches Fluten

Die Verteilung der Daten basiert beim adaptiven probabilistischen Fluten ebenfalls auf einem Wahrscheinlichkeitswert. Im Gegensatz zum probabilistischen Fluten ist der Wert jedoch nicht fest, sondern hängt von der Anzahl der Nachbarn n_s des sendenden Knotens s und der Anzahl der Nachbarn n_e des empfangenden (und eventuell weitersendenden) Knotens e ab. Die Verwendung beider Werte ermöglicht ein differenziertes Verhalten des Protokolls. Da sich in ersten Untersuchungen die Verteilung besonders an Übergängen zwischen Gebieten mit hoher und niedriger Knotendichte als schwierig erwiesen hat, wurde ein zusätzlicher Faktor hinzugefügt, der an diesen Übergängen den Wahrscheinlichkeitswert erhöht.

Die Bestimmung des Wahrscheinlichkeitswertes p , mit der der empfangende Knoten die Daten weitersendet, geschieht durch folgende Funktion:

$$f : (\mathbb{N}_0, \mathbb{N}_0) \rightarrow (0, 1]$$
$$f : (n_s, n_e) \mapsto p = \min \left(1, \frac{x}{\min(n_s, n_e)} \cdot \frac{\max(n_s, n_e)}{\min(n_s, n_e)} \right)$$

Liegt n_s oder n_e unterhalb des Schwellenwertes x , so beträgt der Wahrscheinlichkeitswert für das Weitersenden 1, d.h. alle Nachbarn des Sendeknotens senden die Nachricht wie beim einfachen Fluten weiter. Ist der Wert x überschritten, so wird der Wahrscheinlichkeitswert so berechnet, dass im Falle $n_s = n_e$ der Erwartungswert der Anzahl der weitersendenden Nachbarn x beträgt.

3 Verwendete Bewegungsmodelle

In diesem Abschnitt werden kurz die beiden verwendeten Bewegungsmodelle eingeführt. In den folgenden experimentellen Untersuchungen wird nicht nur das *Area Graph* basierte Bewegungsmodell betrachtet, sondern zum Vergleich auch das bisher häufig verwendete *Random Waypoint* Bewegungsmodell.

3.1 Random Waypoint Bewegungsmodell

Das *Random Waypoint* Bewegungsmodell [Be01] ist ein häufig verwendetes Modell, das die Bewegung von Netzknoten anhand zufällig gleichverteilt gewählter Wegpunkte (*Waypoints*) in einer rechteckigen Ebene simuliert. Auch die Bewegungsgeschwindigkeit und die Verweildauer an einem Wegpunkt wird zufällig gleichverteilt aus einem vorgegeben Intervall bestimmt.

3.2 Area Graph basiertes Bewegungsmodell

Das *Area Graph* basierte Bewegungsmodell ist ein hier eingeführtes Modell, das die Bewegung von Netzknoten auf einen gegebenen Graphen einschränkt. Betrachtet man reale Szenarien, so stellt man häufig fest, dass diese nicht nur einen Bereich mit gleichbleibender Knotendichte besitzen, sondern dass es häufig mehrere Ballungsräume (mit hoher Knotendichte) und feste Wege (mit geringerer Knotendichte) zwischen diesen Ballungsräumen gibt. Beispiele aus der Realität sind Universitätsgelände (Gebäude / Wege), Städte (Einkaufszentren, Kinos / Straßen, Wege) und Messezentren (Messehallen / Gänge). Die Eigenschaften dieser Szenarien werden durch das *Area Graph* basierte Bewegungsmodell erhalten. Ein *Area Graph* besteht aus mehreren rechteckigen Flächen (Knoten), und direkten Verbindungen (Kanten) zwischen diesen, so dass ein zusammenhängender Graph entsteht. Die Flächen stellen dabei die Ballungsräume und die Verbindungen die Wege zwischen diesen dar.

Ein *Area Graph* ist gerichtet und besitzt gewichtete Kanten. Das Gewicht einer Kante bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, mit der sie beim Verlassen des Knotens gewählt wird, so dass sich für die Summe aller ausgehenden Kanten eines Knotens 1 ergeben muss. Für jeden Knoten des *Area Graph* gibt es ein Intervall, innerhalb dessen die Verweildauer eines den Knoten betretenden Netzknotens gleichverteilt bestimmt wird.

Die Bewegung im *Area Graph* basierten Bewegungsmodell besteht aus zwei Teilen: Bewegung innerhalb der Knoten und Bewegung zwischen den Knoten. Die Bewegung innerhalb der Knoten entspricht dem zuvor beschriebenen *Random Waypoint* Bewegungsmodell. Das knotenübergreifende Bewegungsmuster verhält sich ähnlich. Wenn ein Netzknoten einen Knoten des Graphen betritt, wird die entsprechende Verweildauer des Netzknotens bestimmt, innerhalb der er sich im Knoten bewegt. Ist die Verweildauer überschritten, so wird eine der ausgehenden Kanten entsprechend der Gewichtung zufällig gewählt. Dann bewegt sich der Netzknoten zum Verbindungspunkt des Knotens und der gewählten Kante und begibt sich von dort aus mit einer vorgegeben Geschwindigkeit auf dieser Kante zum ausgewählten Knoten.

4 Experimentelle Untersuchungen

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen unter Verwendung der beiden Bewegungsmodelle dargestellt werden. Für jedes Bewegungsmodell werden die folgenden Protokolle betrachtet: Einfaches Fluten, probabilistisches Fluten mit den Wahrscheinlichkeitswerten 20%, 40%, 60% und 80% und adaptives probabilistisches Fluten mit den Schwellenwerten 5, 6, 7, 8 und 9. Protokolle mit

anderen Schwellenwerten werden nicht weiter betrachtet, da Voruntersuchungen gezeigt haben, dass diese entweder zu wenig Knoten erreichen (< 5) oder zu viel Nachrichten benötigen (> 9).

Folgende Zielgrößen werden bei den experimentellen Untersuchungen betrachtet:

- **Erreichte Knoten:** Durch die Anzahl der erreichten Knoten wird bestimmt, in wie weit das Verteilungsprotokoll die Daten im Netz verteilen kann. Die erreichte Anzahl wird dabei vom Grad der Mobilität und der Dichte des Netzes beeinflusst.
- **Dauer der Verteilung:** Durch die Dauer der Verteilung kann die Schnelligkeit des jeweiligen Protokolls bestimmt werden. In allen durchgeführten Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Protokolle, die insgesamt mehr Knoten erreicht haben, auch zu jedem Zeitpunkt während der Verteilung bereits mehr Knoten erreicht hatten. Dies wird für ein Szenario beispielhaft an drei verschiedenen Protokollen in Abbildung 1 gezeigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Verteilungsdauer nicht weiter diskutiert.
- **Anzahl der Nachrichten:** Durch die Anzahl der Nachrichten wird verdeutlicht, wie effektiv ein Protokoll die Nachrichten verteilt, d.h. ein Protokoll sollte möglichst wenig Nachrichten versenden. Da die Protokolle jeweils unterschiedlich viele Knoten erreichen, wird die Anzahl der Nachrichten relativ zur Anzahl der erreichten Knoten betrachtet.

4.1 Simulationsparameter

Die experimentellen Untersuchungen wurden mit dem Simulator OMNeT++ [Va01] durchgeführt. Als Basis für das Simulationsmodell wurde der Ad-hoc-Modus im Wireless LAN gemäß dem Standard 802.11 gewählt. Für die Vermeidung von Kollisionen wurde ein dem CSMA/CA ähnliches Verfahren verwendet. Das *Hidden Node* Problem wird dabei nicht vermieden, so dass sich trotzdem noch Nachrichten durch Funksignalüberlagerung gegenseitig auslöschen können. Weiterhin wird im Simulationsmodell die Kenntnis über die Anzahl der Nachbarn eines Knotens vorausgesetzt. Dies ist in der Realität z.B. durch Nutzung von "Hello" Messages möglich, wie sie auch in Routingprotokollen (z.B. AODV [PR99]) verwendet werden.

Für jede Kombination eines Verteilungsprotokolls mit einem Simulationsszenario wurden 500 Einzelsimulationen durchgeführt. Bei jeder der Einzelsimulationen wurden die Werte der Zielgrößen für die Verteilung einer Nachricht eines zufälligen Knotens gemessen. Die Werte des Simulationsszenarios entsprechen dem arithmetischen Mittel der 500 Einzelsimulationen. In Tabelle 1 werden die technischen Simulationsparameter dargestellt.

<i>Simulationsparameter</i>	<i>Wert</i>
Knotenanzahl	2000
Sendereichweite	30 m
Bandbreite	11 Mbit/s
Nachrichtengröße	400 Byte

Tabelle 1: Simulationsparameter der Untersuchungen

<i>Kantenlänge</i>	<i>Durchschn. Anz. der Nachbarknoten</i>
400 m	32,73
600 m	14,97
800 m	8,47

Tabelle 2: Netzdicke beim Random Waypoint Bewegungsmodell

4.2 Untersuchungen mit dem Random Waypoint Bewegungsmodell

Für die erste Reihe der Untersuchungen wird das *Random Waypoint* Bewegungsmodell verwendet. Es werden drei quadratische Ebenen mit den Kantenlängen 400 m, 600 m und 800 m untersucht. Die Geschwindigkeit der Knoten beträgt 1 m/s - 4 m/s. Für die Wegpunkte gibt es keine Wartezeit, die Knoten bewegen sich sofort weiter. Die Wahl des Wegpunktes geschieht durch einen zufälligen Richtungsvektor, wodurch eine Verdichtung der Netzknoten im Zentrum der Ebene [Be01] vermieden wird. Die jeweilige gemessene Netzdichte der einzelnen Szenarien wird in Tabelle 2 angegeben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in den Abbildungen 2 bis 4 gezeigt. Dabei wird jedes Protokoll durch einen Punkt dargestellt. Auf der waagerechten Achse ist die Anzahl der erreichten Knoten und auf der senkrechten Achse die Anzahl der Nachrichten pro erreichtem Knoten aufgetragen, daraus ergibt sich, dass ein Protokoll, das sich rechts unterhalb eines anderen Protokolls befindet, effizienter als dieses ist.

Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Algorithmen bezüglich der erreichten Anzahl von Knoten und der benötigten Nachrichten pro Knoten, so decken sich diese mit den Ergebnissen bisheriger Arbeiten [Ni99, WC02]. Mit zunehmender Dichte des Szenarios werden von den einzelnen Protokollen mehr Knoten erreicht, gleichzeitig steigt bei den probabilistischen Protokollen bzw. beim Fluten die Anzahl der Nachrichten pro Knoten proportional zu der Dichte des Szenarios. Weiterhin ist zu erkennen, dass mit steigendem Wahrscheinlichkeitswert die Anzahl der erreichten Knoten, aber auch die Anzahl der Nachrichten pro erreichtem Knoten ansteigt. Während man beim Szenario mit 400 m Kantenlänge (Abbildung 2) schon mit dem Wahrscheinlichkeitswert von 40% vergleichbar (weniger als 1% Abweichung) viele Knoten wie beim Fluten erreicht, dabei jedoch wesentlich weniger Nachrichten pro Knoten benötigt, so ist beim Szenario mit einer Kantenlänge von 600 m (Abbildung 3) schon ein Wahrscheinlichkeitswert von 60% nötig, um dies zu erreichen. Beim Szenario mit 800 m Kantenlänge (Abbildung 4) erreicht kein probabilistisches Protokoll vergleichbar viele Knoten wie das Fluten. Es verhält sich somit keines der untersuchten probabilistischen Protokolle in allen drei Szenarien effizient.

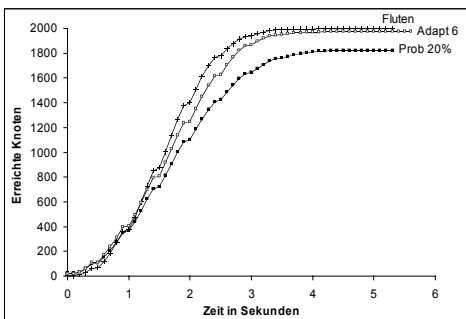


Abbildung 1: Random Waypoint,
400m × 400m Fläche, Zeitverlauf

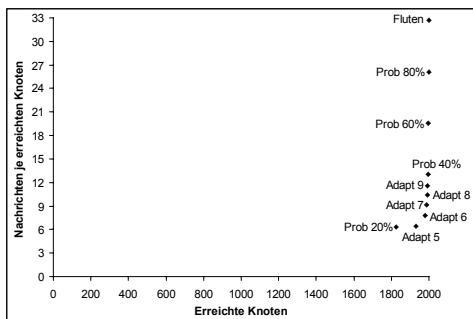


Abbildung 2: Random Waypoint,
400m × 400m Fläche

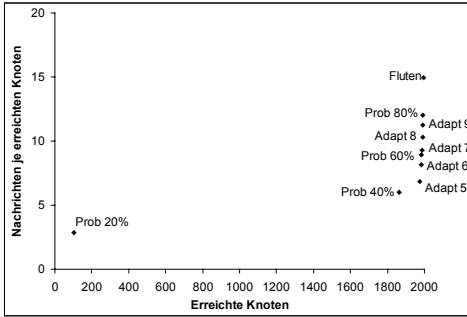


Abbildung 3: Random Waypoint,
600m × 600m Fläche

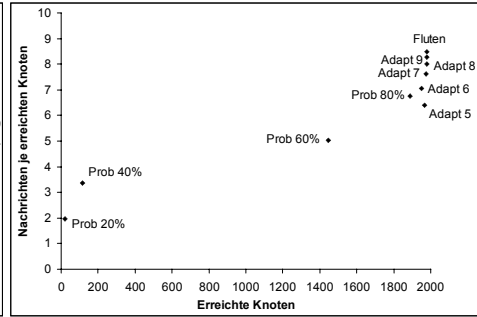


Abbildung 4: Random Waypoint,
800m × 800m Fläche

Betrachtet man die adaptiven probabilistischen Protokolle, so stellt man fest, dass sich die Anzahl der Nachrichten pro Knoten in den einzelnen Szenarien nicht wie bei den probabilistischen Protokollen proportional zur Dichte verhält, sondern nur leichte Unterschiede (maximal 20%) aufweist, was auf die adaptive probabilistische Begrenzung der Anzahl der weiterSENDENDEN Nachbarn zurückzuführen ist. Trotz der gerade bei sehr dichten Szenarien wesentlich geringeren Nachrichtenmenge erreichen alle der untersuchten adaptiven probabilistischen Protokolle in den meisten Fällen nur eine unwesentlich geringere Anzahl (maximal 3,3%) an Knoten als das Fluten. Am wenigsten Nachrichten pro Knoten werden dabei von den Protokollen mit den Schwellenwerten 5 und 6 benötigt.

Betrachtet man die Effizienz, also das Verhältnis von erreichten Knoten zu der dafür benötigten relativen Nachrichtenanzahl der Protokolle, so lässt sich insgesamt erkennen, dass diese bei den probabilistischen Protokollen je nach Dichte sehr stark schwankt und das sich in den untersuchten Szenarien oft nur ein Protokoll als effizient erweist. Die adaptiven probabilistischen Protokolle dagegen verhalten sich in allen drei Szenarien fast unabhängig von der jeweiligen Dichte effizient.

4.3 Untersuchungen mit dem Area Graph basierten Bewegungsmodell

Für die zweite Reihe der Untersuchungen wird als Bewegungsmodell das *Area Graph* basierte Bewegungsmodell verwendet. Dabei wird ein Szenario mit vier Ballungsräumen und vier Wegen verwendet. Das Szenario wird in Abbildung 5 grafisch dargestellt.

Es werden insgesamt vier verschiedene Szenarien (mit Ballungsraumkantenlängen von 200 m bzw. 300 m und mit Verweildauern von 1000 s – 1400 s bzw. 300 s – 700 s) untersucht. Die Parameter für das *Random Waypoint* Bewegungsmodell innerhalb der Ballungsräume entsprechenden denen aus der ersten Untersuchungsreihe. Die Szenarien wurden so gewählt, dass deren Eigenschaften (Gesamtfläche, Dichte) in etwa mit den Werten der Szenarien der ersten Untersuchung vergleichbar sind. Die gemessene Netzdichte der vier untersuchten Graphen wird in Tabelle 3 angegeben.

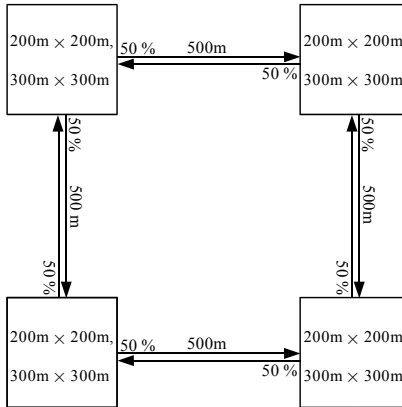


Abbildung 5: Verwendeter Area Graph

Kantenlänge	Verweildauer	Durchschnittliche Anzahl der Nachbarknoten		
		auf dem Weg	im Ballungsraum	Gesamt
200 m	300 - 700 s	20,85	32,76	28,99
200 m	1000 - 1400 s	11,84	30,56	27,36
300 m	300 - 700 s	20,22	23,94	22,79
300 m	1000 - 1400 s	11,44	18,06	16,93

Tabelle 3: Parameter und Netzdichte der Area Graph Bewegungsmodelle

Der grundsätzliche Unterschied zur ersten Untersuchungsreihe besteht darin, dass beim *Area Graph* basierten Bewegungsmodell kein homogenes Gesamtszenario wie beim *Random Waypoint* Bewegungsmodell vorliegt. In jedem der hier untersuchten Szenarien gibt es sich sowohl in der Dichte als auch in der Topologie (Fläche, Linie) unterscheidende Bereiche. Es folgt in den Abbildungen 6 bis 9 eine grafische Darstellung der Ergebnisse.

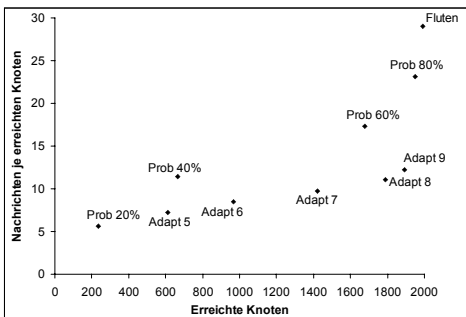


Abbildung 6: Area Graph, 200m × 200m Fläche, Verweildauer 300s - 700s

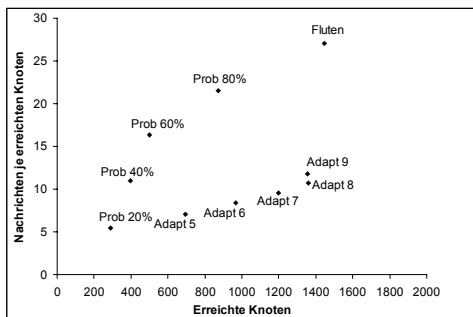


Abbildung 7: Area Graph, 200m × 200m Fläche, Verweildauer 1000s - 1400s

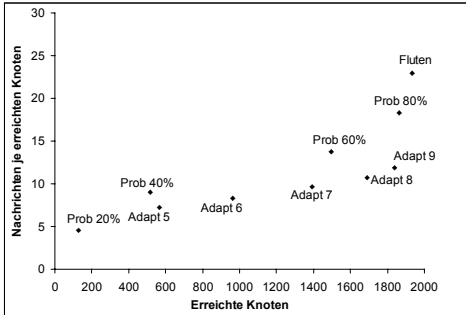


Abbildung 8: Area Graph, 300m x 300m Fläche, Verweildauer 300s - 700s

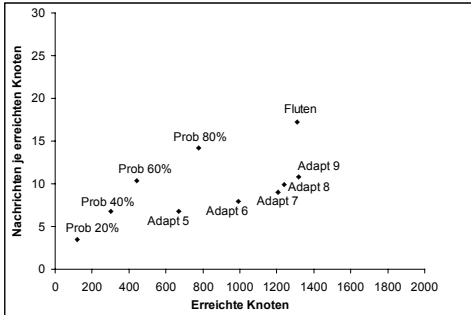


Abbildung 9: Area Graph, 300m x 300m Fläche, Verweildauer 1000s - 1400s

Betrachtet man in allen vier Szenarien die Anzahl der erreichten Knoten, so stellt man fest, dass in den Szenarien mit einer geringeren Dichte auf den Wegen (Abbildung 7 und 9) von allen Protokollen mindestens 25% bis 30% der Knoten nicht erreicht werden.

Von den untersuchten probabilistischen Protokollen erreicht nur eines (Wahrscheinlichkeitswert 80%) annähernd (95%) so viele Knoten wie das Fluten und das auch nur in den Szenarien mit höherer Dichte auf den Wegen (Abbildung 6 und 8). Es erreicht also keines in allen vier Szenarien den Bereich der Maximalwerte. Betrachtet man die vom Fluten verursachten Nachrichten pro Knoten, so liegen diese um den Faktor 1,5 bis 2,5 höher als die der adaptiven Protokolle, welche vergleichbar viele Knoten erreicht haben.

Bei den adaptiven probabilistischen Protokollen ist festzustellen, dass zwei der untersuchten Protokolle (mit Schwellenwert 8 und 9) vergleichbar viele Knoten wie das einfache Fluten erreichen. Die adaptiven Protokolle mit den Schwellenwerten 5 bis 7 bleiben z.T. weit unter diesen Werten. Im Vergleich zu den Untersuchungen mit dem *Random Waypoint* Bewegungsmodell hat sich hier der minimale Schwellenwert für ein effizientes Protokoll von 5 und 6 auf 8 und 9 angehoben. Dies liegt an der Topologie der Wege und an den Übergängen zwischen Wegen und Ballungsräumen, an denen mehr Nachrichten gesendet werden müssen, um eine Weiterverteilung zu gewährleisten. Insgesamt ist festzuhalten, dass in dieser Untersuchung nur die adaptiven probabilistischen Protokolle mit den Schwellenwerten 8 und 9 als effizient bezeichnet werden können. Alle anderen Protokolle erreichen entweder wesentlich weniger Knoten oder benötigen wesentlich mehr Nachrichten pro erreichten Knoten, um eine vergleichbare Zahl an Knoten zu erreichen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden experimentelle Untersuchungen von unterschiedlichen Verteilungsprotokollen in MANETs durchgeführt. Dabei wurde besonders die Problematik der Heterogenität realistischer Szenarien berücksichtigt und anhand des eingeführten *Area Graph* basierten Bewegungsmodells betrachtet. Im Vergleich dazu wurden Untersuchungen mit dem bisher häufig verwendeten *Random Waypoint* Bewegungsmodell durchgeführt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich das Verhalten der Protokolle bezüglich des zugrunde liegenden Bewegungsmodells grundsätzlich unterscheidet. Das liegt hauptsächlich daran, dass im Gegensatz zum *Random Waypoint* Bewegungsmodell

im *Area Graph* basierten Bewegungsmodell sowohl Bereiche mit einer anderen Topologie (Wege) als auch mehrere Bereiche mit unterschiedlichen Dichten vorhanden sind.

Weiterhin wurde festgestellt, dass für solche realistischeren Bewegungsmodelle wie das *Area Graph* basierte Bewegungsmodell in jedem Fall adaptive Verteilungsprotokolle verwendet werden müssen, da ohne eine Anpassung des Verteilungsprotokolls an die aktuelle Dichte keine effiziente Verteilung im gesamten Netz möglich ist.

Um die Eigenschaften des *Area Graph* basierten Bewegungsmodells noch genauer zu untersuchen, werden in der Zukunft weitere Untersuchungen durchgeführt. Dabei sollen sowohl weitere Protokolle als auch weitere Szenarien untersucht werden. Der Schwerpunkt wird dabei auf Protokollen, welche über ein Wissen über ihre nähere Umgebung verfügen (*Neighbour Knowledge* basiert [PL00]) und auf positionsbasierten Protokollen liegen.

Bei der Untersuchung weiterer Szenarien sollen auch komplexere Graphen mit mehr Ballungsräumen und Wegen untersucht werden. Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Untersuchung von Wegen, die nur eine sehr geringe Dichte besitzen und somit zu einem häufig partitionierten Netz führen.

Literaturverzeichnis

- [Be01] C. Bettstetter. Smooth is Better than Sharp: A Random Mobility Model for Simulation of Wireless Networks. In *Proceedings of the ACM Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp. 19-27, 2001.
- [Ho99] C. Ho, K. Obraczka, G. Tsudik, K. Viswanath. Flooding for Reliable Multicast in Multi-Hop Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications*, 1999.
- [Ni99] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen, J. Sheu. The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp. 151-162, 1999.
- [PL00] W. Peng and X. Lu. On the reduction of broadcast redundancy in mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the 1st ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing (MOBIHOC)*, 2000
- [PR99] C.E. Perkins and E.M. Royer. Ad hoc On Demand Distance Vector Routing. In *Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA)*, New Orleans, pp. 90-100, 1999.
- [Ti02] J. Tian, J. Haehner, C. Becker, I. Stepanov, K. Rothenmel. Graph-Based Mobility Model for Mobile Ad Hoc Network Simulation. In *Proceedings of the Annual Simulation Symposium*, pp. 337-344, 2002.
- [Va01] A. Varga. The OMNeT++ Discrete Event Simulation System. In *Proceedings of the European Simulation Multiconference(ESM '2001)*, Prague, 2001.
- [WC02] B. Williams and T. Camp. Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks. In *Proceedings ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC)*, pp. 194-205, 2002.