

W. Zirwas, J. Habetha und H. Karl

Ziel-orientierter Entwurf von Multi-hop Medienzugriffsprotokollen



Wolfgang Zirwas wurde am 29 August 1960 in Stuttgart geboren. Sein Elektrotechnik Studium mit Schwerpunkt Nachrichtentechnik schloss er an der TU München 1987 ab. Anschliessend arbeitete er im Zentrallabor für öffentliche Vermittlungstechnik der Firma Siemens in München in einem Labor für Hochfrequenztechnik und digitale Signalverarbeitung an verschiedenen Übertragungssystemen mit Datenraten bis zu 40 Gbit/s. Weitere Themen waren breitbandige Koax-, zweidraht und Funkssysteme. Die Arbeit beinhaltete neben reiner Forschung auch immer die Implementierung in Demonstrator- und Testsystemen. 1999 wechselte er zum Bereich Mobile Networks und war dort für das vom BMBF geförderte Projekt COVERAGE verantwortlich, das unter anderem die Forschungsthemen OFDM, Multihop und Radio Resource Management beinhaltet als auch die Entwicklung eines entsprechenden Demonstrators.

Die Benutzung von Relais in einem drahtlosen Kommunikationssystem kann unterschiedlichen Zielen dienen: der Erweiterung der Abdeckung oder der Erhöhung der Kapazität einer Zelle, aber auch zur Verbesserung der Energieeffizienz. Zu diesem Zweck müssen unterschiedliche Probleme, z.B. der Wegwahl und Weiterleitung, gelöst werden. Hier wird aufgezeigt, wie sich das Ziel in der Gestaltung eines geeigneten Medienzugriffsprotokoll für drahtlose multi-hop Kommunikationssysteme niederschlägt. Dabei werden die einschlägigen Ergebnisse dreier Projekte – Coverage, ClusterNet und IBMS2 – zusammengefasst.



Dr. Jörg Habetha erhielt 1996 den Grad des Dipl.-Ing. der Ecole Centrale Paris, 1997 den Grad des Dipl.-Ing. der RWTH Aachen und 2001 den Grad des Dipl.-Kfm. der RWTH Aachen. Von 1997 bis 2000 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH Aachen. Seine Dissertation zum Dr.-Ing. über „cluster-basierte Ad-hoc-Funknetze“ schloss er im Jahr 2002 ab. Er hat zahlreiche Auszeichnungen erhalten, u.a. den Vodafone Förderpreis für Mobilkommunikation 2003. Seit 2000 ist er Mitarbeiter der Philips GmbH Forschungslaboratorien Aachen. Er war Projektleiter des BMBF-ClusterNet-Projekts und ist derzeit Projektleiter des Philips-Vorhabens im BMBF-Projekt „WIGWAM“ (Wireless Gigabit with Advanced Multimedia). Er ist aktiv an der Standardisierung von WLAN- und WPAN-Systemen beteiligt und war u.a. „Editor“ der „HiperLAN/2 Home Extension“ und „Rapporteur“ der entsprechenden Testaktivitäten. Sein wissenschaftliches Interesse gilt der Selbstorganisation drahtloser Netze im Heimbereich sowie im Bereich der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation.

Holger Karl promovierte 1999 an der Humboldt-Universität zu Berlin über Fehlertoleranz und Echtzeitfähigkeit im Cluster Computing. Seit 2000 ist er wissenschaftlicher Assistent am Fachgebiet Telekommunikationsnetze der Technischen Universität Berlin. Seine Forschungsinteressen sind Architekturen und Protokolle für drahtlose und mobile Kommunikationssysteme, insbesondere



ad hoc und Sensornetze sowie All-IP-basierte mobile Kommunikationssysteme. Dabei bilden Fragestellungen der Medienzugriffs- bis Transportschicht, schichtenübergreifende Optimierung sowie mobile verteilte Systeme den Schwerpunkt. (Siehe <http://www.tkn.tu-berlin.de/~karl> für weitere Details.)

ZUSAMMENFASSUNG

1 EINLEITUNG

Die Integration des „multi-hop“ Gedankens in drahtlose Kommunikationssysteme eröffnet viele Gestaltungsmöglichkeiten: Teilnehmer kommunizieren mit Hilfe anderer Teilnehmer mit einer Basisstation, die ins Festnetz vermittelt; ad-hoc aufgebaute Systeme können eine größere Anzahl Teilnehmer in einem größeren Gebiet bedienen als dies mit lediglich direkten Kommunikationsverbindungen der Fall wäre; Teilnehmer können in schwierigen, zeitlich variablen Übertragungsbedingungen, z.B. innerhalb von Gebäuden, indirekt kommunizieren wenn dies in direkter Weise nicht möglich wäre. Dabei ist die Benutzung von Zwischenknoten zur Kommunikation in keinem Fall ein Selbstzweck: Bei der Integration in ein zelluläres Netz soll die Kapazität einer Zelle erhöht werden (im Hinblick auf Durchsatz oder maximale Anzahl Teilnehmer) oder der Abdeckungsbereich einer Basisstation vergrößert werden. In den reinen ad-hoc Szenarien ist multi-hopping ebenfalls zur Erweiterung der Reichweite oder auch zur Erhöhung der Kapazität bei lokalen Verkehrsmustern das Mittel der Wahl.

1 EINLEITUNG

Die wesentlichen Probleme bei der Umsetzung dieses Gedankens stellen sich dabei in der Form der Wegwahl – über welchen Teilnehmer soll eine Nachricht an ihr Ziel weitergeleitet werden? – und der geeigneten Sicherungsschicht eines solchen Systems, insbesondere die Frage des Medienzugriffes. Beide Probleme werden durch die für drahtlose Systeme typische Mobilität der Teilnehmer sowie, ggf., durch nur lokal vorhandene Information deutlich erschwert.

Ein Großteil der bisherigen Forschungsanstrengungen in multi-hop Netzen war dabei auf Wegwahl-Protokolle konzentriert,

die für häufige Wegeänderung geeignet sind. Das Problem einer für multi-hop Netze geeigneten Sicherungsschicht bzw. eines Medienzugriffsverfahrens fand im Vergleich weniger Aufmerksamkeit.

Überwiegend beruhten diese Arbeiten auf der IEEE 802.11-Systemfamilie [1]. Übereinstimmend wurde dabei deren eher schlechte Eignung für multi-hop Systeme festgestellt. Dies ist wesentlich auf die ineffiziente, unkoordinierte Art des Medienzugriffs zurückzuführen, bei der sich ein Paket bei jedem Weiterleitungsschritt erneut um den Medienzugriff bewirbt, was zu einer deutlichen Reduktion der Kapazität des Systems führt. Es stellt sich damit die Frage, inwieweit multi-hop Systeme in ihrer Leistungsfähigkeit verbessert werden können, wenn die Sicherungsschicht der einzelnen Teilnehmer zumindest partiell koordiniert ist.

Dies ist eine der Fragen, die in den Projekten ClusterNet, Coverage¹ und IBMS2² des Förderschwerpunktes HyperNet des Bundesministeriums für Bildung und Forschung untersucht wurden. Als Grundlage wurde dabei einheitlich HiperLAN/2 (kurz H/2) verwendet, das durch seine zentral koordinierte Struktur als sinnvolle Ausgangsbasis erschien. Anders als IEEE 802.11 ist HiperLAN/2 allerdings nicht ohne weiteres in der Lage, multi-hop Kommunikation zu unterstützen; entsprechende Erweiterungen für HiperLAN/2 mußten hierfür von uns entwickelt werden.

Dabei verfolgt jedes dieser Projekte ein anderes Ziel durch multi-hop Kommunikation: Coverage strebt die Erweiterung des Abdeckungsbereiches einer Basisstation an, ClusterNet die Entwicklung eines selbstorganisierenden multi-hop Netzes mit erweiterter Abdeckung und erhöhter Kapazität innerhalb von Gebäuden, und IBMS2 widmet sich dem Ziel der Erhöhung der Kapazität und Energieeffizienz innerhalb einer Zelle, ohne dabei die Abdeckung zu vergrößern. Aus diesen unterschiedlichen Zielen erwachsen unterschiedlichen Anforderungen an ein multi-hop geeignetes Medienzugriffsprotokoll, und entsprechend wurden unterschiedliche Protokolle entwickelt. Dieser Artikel soll darlegen, wie diese unterschiedlichen Ziele zum Entwurf unterschiedliche Protokolle geführt haben und welche Überlegungen dabei wesentlich waren.

Im nächsten Abschnitt 2 werden zunächst die wesentlichen Ziele – Abdeckungserweiterung und Kapazitätserhöhung – illustriert. Abschnitt 3 stellt die prinzipiellen Entwurfsentscheidungen vor, auf die die im Kapitel 4 dargestellten Sicherungsschicht-Erweiterungen für HiperLAN/2 aufbauen. Abschnitt 5 faßt diese Arbeiten zusammen.

2 ZIELE

2.1 Abdeckung

Breitbandige Funkssysteme erfordern in der Regel ein breites Frequenzband und werden typischerweise für Funkfrequenzen im Bereich mehrerer GHz angedacht, für die noch ausreichend Spektrum zur Verfügung steht (H/2 z.B. arbeitet im 5-GHz-Band). Bei diesen Frequenzen verhalten sich die Funkwellen jedoch zunehmend wie Licht, d.h. es gibt kaum noch Beugungs- oder Streueffekte. Als Konsequenz liegt die erzielbare Reichweite durch Abschattungseffekte für Systeme wie H/2

und Outdoor-Anwendungen lediglich im Bereich von 100-200 m. Für eine Line-of-Sight-Verbindung (LOS), d.h. bei einem Ausbreitungskoeffizienten von $\gamma=2$, wären theoretisch bis zu 2 km möglich. Der Ausbreitungskoeffizient γ ist dabei der Exponent, mit dem die Empfangsleistung P über der Entfernung d abnimmt: $P(d) = \text{const} \cdot (1/d)^\gamma$.

Bei Mobilfunksystemen der zweiten bzw. dritten Generation wie z.B. GSM (Global System Mobile) ist es möglich, die Zellengröße an die erwartete Nutzerdichte durch Regelung der Sendeleistung zwischen mehreren 10 km bis zu wenigen 100 m an die erwartete Nutzerdichte und das Verkehrsaufkommen anzupassen. Bei Systemen wie H/2 verhindern die Abschattungen (z.B. durch Gebäude), dass der Zellradius nennenswert mit zunehmender Sendeleistung steigt.

Wie die Ray Tracing Simulation in Abb. 1 beispielhaft zeigt, ist im innerstädtischen Bereich die Verwendung von multi-hop Netzen mit sog. Extension Points (EP) sehr wirkungsvoll, wenn diese z.B. an Straßenkreuzungen bislang nicht direkt erreichbare Seitenstrassen ausleuchten. Der Vorteil von drahtlosen EPs ist, dass die hohen Infrastrukturkosten zur Anbindung von APs über neu zu verlegende Kabelverbindungen entfallen und dennoch die andernfalls sehr hohe Kapazität eines APs (bei H/2 z.B. 54Mbit/s) auf eine höhere Anzahl von Terminals verteilt werden kann.

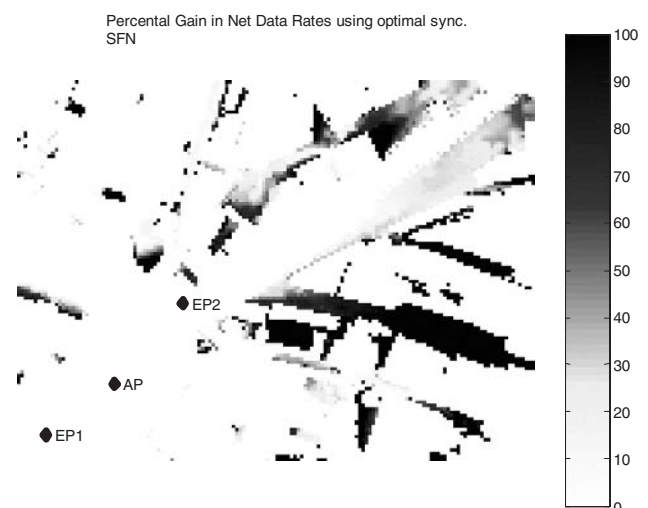


Abb. 1 Relativer Gewinn der maximal erzielbaren Summendatenrate durch einen zusätzlichen EP in % für Karlsruhe/Stachus in München

2.2 Kapazität

Intuitiv kann durch die Benutzung von Relaying die Kapazität – die Menge der bei der Basisstation ankommenden Daten pro Zeiteinheit – durch die geringeren zu überbrückenden Distanzen erhöht werden. Zum einen sind dabei über geringere Distanzen nur geringere Sendeleistungen notwendig, um bei gegebener Datenrate eine vorgegebene Fehlerrate zu erreichen. Durch die geringere Leistung sinkt die Interferenz zwischen Zellen (bei TDMA-basierten Systemen) oder auch die intra-Zellinterferenz bei CDMA. Diesem Vorteil steht gegenüber, dass ein Datenpaket zwei- oder mehrfach übertragen werden muss, was wiederum Zeit bzw. Kapazität kostet. Dennoch kann die Interferenzreduktion zur Steigerung der Kapazität beitragen, was ebenfalls im Rahmen von ClusterNet [4] und IBMS2 [10] untersucht wurde.

¹ <http://www.comnets.rwth-aachen.de/~cover/>

² <http://www.ibms-2.de>

In einem TDMA-System kann zusätzlich die Übertragung von/zu einem nahen Zwischenknoten mit einer höheren Rate erfolgen und erfordert daher weniger Zeit. Für die bei HiperLAN/2 verwendeten Raten zeigt sich, dass für viele Kombinationen von Entfernungen zwischen Basisstation, möglichem Weiterleitungs-Terminal und einem weit entfernten Terminal die Datenraten so gewählt werden können, dass die Relaiskommunikation eine größere Datenrate als die direkte Kommunikation hat – obwohl der Zeitschlitz der direkten Kommunikation in zwei Hälften geteilt werden muss, um die beiden Kommunikationsvorgänge der Relaiskommunikation abzuwickeln [8]. Abb. 2 zeigt ein Beispiel, in dem die Datenrate von 6 Mbit/s auf (wegen Fehlerakkumulation nur knapp) 12 Mbit/s erhöht wird, wenn der Zeitslot 2:1 auf die 18 bzw. 36 Mbit/s Verbindung aufgeteilt wird.

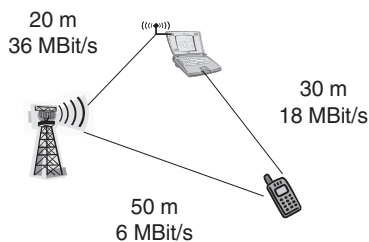


Abb. 2 Beispielkonfiguration zur Kapazitätserhöhung durch Relaying in einem TDMA-System

Die präzise Gestaltung der Relais-Kommunikation hängt dabei vom angestrebten Fairness-Modell ab: Relais sind besonders sinnvoll, wenn auch weit entfernten Terminals eine vergleichbar hohe Datenrate zugewiesen werden soll. Obwohl dies die Gesamtkapazität nicht maximiert, entspricht ein solches Fairness-Modell den intuitiven Erwartungen der Teilnehmer am besten.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, während des Relaisvorgangs weitere Frequenzen zu benutzen, quasi diese von anderen Zellen zu leihen und dabei „im Inneren“ der leihenden Zelle zu verstecken. Dadurch kann die Kapazität selbst mit herkömmlicher Hardware drastisch erhöht werden; die Auswirkungen auf die inter-Zellinterferenz werden derzeit untersucht.

2.3 Andere Ziele

Multi-hop Kommunikation kann auch zur Verbesserung folgender Systemmetriken dienen:

Eine Erhöhung der Energieeffizienz erscheint trivial, da durch den Ausbreitungskoeffizienten $\gamma > 1$ die benötigte Sendeleistung mehr als linear mit der Distanz fällt. Bezieht man aber konstante, nicht entfernungsabhängige Anteile beim Energieverbrauch mit ein, so sind Vorteile deutlich schwerer zu erzielen. Multi-hop Kommunikation kann dennoch die Gesamtfunktionszeit erhöhen, wenn Batteriereserven der Zwischenstationen mit einbezogen werden [9].

Durch reduzierte abgestrahlte Leistung kann auch die *eingestrahlte* Leistung gesenkt werden. Dies trägt gesundheitlichen Bedenken Rechnung [9].

3 ENTWURFSENTSCHEIDUNGEN

Beim Aufbau eines multi-hop basierten Kommunikationssystems, das als Erweiterung und Ergänzung einer zellularen Infrastruktur dienen soll, müssen einige grundsätzliche Entwurfsentscheidungen gefällt werden:

Systemarchitektur Eine grundsätzliche Entscheidung liegt in der Wahl der Zwischen-knoten: Bieten die Teilnehmer des Kommunikationssystems selbst die Möglichkeit des Weiterreichens an, oder sind es dedizierte Knoten, die in der Regel fest installiert sind; die Teilnehmer selbst werden mobil sein. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Komplexität der Wegewahl und Scheduling-Algorithmen.

Kontrollplatzierung Je nachdem, ob stationäre Zwischenknoten benutzt und der Abdeckungsbereich erweitert werden sollen, ergeben sich unterschiedliche Platzierungen der Kontrolle des Medienzugriffs und der Wegewahl. Ohne Abdeckungserweiterung kann die Kontrolle im Zugangspunkt verbleiben, stationäre Zwischenknoten können einen Teilbereich der Zelle bzw. einen Erweiterungsbereich kontrollieren, oder die Kontrolle wird komplett über alle Teilnehmer verteilt werden (entsprechend IEEE 802.11).

Weiterleitung Die Weiterleitung von Paketen kann in der Zeit getrennt sein, eine andere Frequenz oder in einem CDMA-System andere Codes können benutzt werden, oder durch gerichtete Antennen kann eine räumliche Trennung ausgenutzt werden. Die hier beschriebenen Projekte haben sich dabei auf die Optionen Zeit und Frequenz konzentriert.

Unterschiedliche Kombinationen dieser Ansätze wurden in diesen Projekten anhand von HiperLAN/2 und teilweise IEEE 802.11 untersucht. Insbesondere die TDMA-Rahmenstruktur ist dabei hilfreich: Am Anfang eines Rahmens wird beschrieben, welche Teilnehmer wann Senden und Empfangen dürfen; zusätzlich wird die Sendeleistung und die zu benutzende Modulation vorgegeben. Die Kommunikation kann dabei zwischen Teilnehmer und Zugangspunkt oder auch zwischen Teilnehmern vorgegeben werden.

4 WEITERLEITUNGS-KONZEPTE FÜR HIPERLAN/2

4.1 Intra-cell forwarding

IBMS2 widmet sich der Erhöhung von Kapazität und Energieeffizienz *innerhalb einer Zelle*. Aus dieser Zielsetzung ergibt sich unmittelbar die Platzierung der Kontrolle im Zugangspunkt einer Zelle selbst. Zusätzlich sollen mobile Teilnehmer einer Zelle zur Weiterleitung fremder Daten verwendet werden, gleichzeitig aber auch ihre Daten effizient kommunizieren können [8].

Zur Lösung dieses Problems bietet sich eine direkte Ausnutzung der HiperLAN/2 Rahmenstruktur an: Dieser Rahmen wird in vier Phasen unterteilt: eine kurze, initiale Kontrollphase, die den weiteren Inhalt des Rahmens beschreibt und diese Information per Broadcast an alle Zellteilnehmer verteilt; eine zweite Phase, in der Daten vom Zugangspunkt an die Teilnehmer gesendet werden; eine dritte Phase, in der Teilnehmer direkt miteinander kommunizieren können; und schließlich in der vierten Phase das Senden der Teilnehmer zum Zugangspunkt.

Die dritte, Teilnehmer-Teilnehmer Phase war ursprünglich zur Unterstützung multimedialer Anwendungen gedacht. Diese Phase kann aber auch zur Unterstützung von Relaiskommunikation ausgenutzt werden. Abb. 3 zeigt das Verfahren im Überblick. In dieser Abbildung ist der „downlink“ als direkte Kommunikation aufgezeigt, der „uplink“ als Relaiskommunikation: ein entfernter Teilnehmer schickt seine Daten in der dritten Phase an einen Relais Teilnehmer, der dann in der letzten Phase eines Rahmens die Daten an den Zugangspunkt weiterleitet.

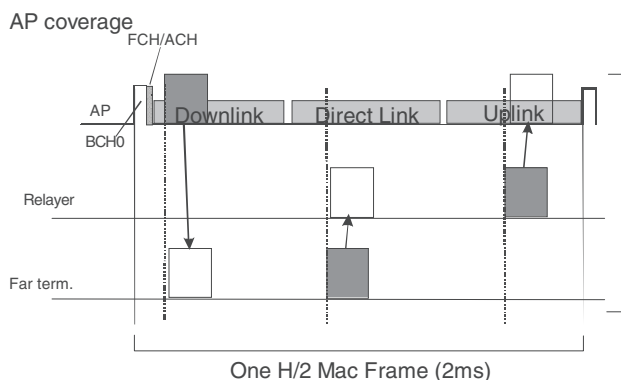


Abb. 3 Intra-cell relaying Protokoll

Analog dazu kann auch der „downlink“ als Relaisverbindung aufgespalten werden, indem der Zugangspunkt zunächst an den Zwischenknoten schickt und dieser dann in der direkten Phase weiterleitet. Dabei ist in der Zuweisung von Zeitscheiben innerhalb eines Rahmens darauf zu achten, dass dem Zwischenknoten genügend Zeit zum Umschalten zwischen Empfangs- und Sendebetrieb bleibt. Dies ist allerdings mit modernen Implementierungen durchaus möglich; bei problematischer Hardware kann das Weiterleiten auch zeitversetzt in einem späteren Rahmen erfolgen, was aber zusätzlichen Speicherbedarf in einem Zwischenknoten erfordert.

Um dem weiterleitenden Teilnehmer die Unterscheidung zwischen eigenen und fremden Daten zu ermöglichen und das Ziel der Weiterleitung bestimmen zu können, ist es notwendig, die Kontrollphase des Rahmens zu erweitern und neue „Information Elements“ einzuführen. Der zusätzliche Signalisierungsverkehr ist dabei sehr gering (9 Bytes pro Relaisvorgang und Rahmen) und die Relaisbeziehung kann flexibel und schnell von Rahmen zu Rahmen geändert werden.

Der Vorteil dieses Verfahrens ist die sehr flexible und leichtgewichtige Implementierung, die mit minimalen Änderungen am bestehenden Standard auskommt. Der geringe Signalisierungsaufwand ist der Kapazitätserhöhung förderlich. Allerdings ist es mit diesem Konzept nicht möglich, was aber auch nicht das Ziel, den Abdeckungsbereich eines Zugangspunktes zu erhöhen.

4.2 Cluster-basiertes Inter-cell Forwarding

Um das Problem versteckter Stationen in multi-hop Netzen zu umgehen, können gleichzeitige Übertragungen, wie zuvor erläutert, im Zeit, Frequenz oder Code-Bereich voneinander isoliert werden. Eine mögliche Umsetzung dieses Konzeptes besteht darin, die Stationen des Netzes in Terminal-Cluster zu gruppieren, wobei jedes Cluster auf einer anderen Frequenz operiert [15].

Innerhalb eines Clusters teilen sich die Stationen die Kapazität des Frequenzkanals im Zeitvielfachverfahren. Ähnlich einer Ba-

sisstation ist ein sog. „Central Controller“ (CC) für die Zuweisung der Kapazität an die einzelnen Mitglieder des Clusters verantwortlich. Im Gegensatz zu einem rein infrastrukturbasierten Netz kann in einem Ad-hoc-Netz die Funktion des „Central Controller“ von einem Endgerät übernommen werden. Dieses Endgerät kann die CC-Funktion während des Betriebs an ein anderes Endgerät übergeben. Die beiden Hauptvorteile der cluster-basierten Struktur sind die gute Dienstgüteunterstützung durch den zentral gesteuerten Medienzugriff sowie die Möglichkeit, Protokolle infrastruktur-basierter Systeme wiederzuverwenden. Letzteres erleichtert außerdem die Kompatibilität zwischen infrastruktur-basierten und Ad-hoc-Netzen.

Um innerhalb von Gebäuden und in größeren Gebieten eine vollständige Abdeckung zu erreichen, müssen mehrere Cluster gebildet werden. Wenn vollständig auf eine Infrastruktur verzichtet werden soll, müssen die Cluster funktechnisch miteinander verbunden werden. Zu diesem Zweck fungieren einzelne Endgeräte, die sich in der Reichweite von zwei unterschiedlichen CCs befinden, als sog. Forwarding Terminals (FTs) zwischen den betreffenden Clustern. Ein FT ist somit Mitglied in beiden benachbarten Clustern. In Abb. 4 werden die beiden linken Cluster über das graue Terminal miteinander verbunden.

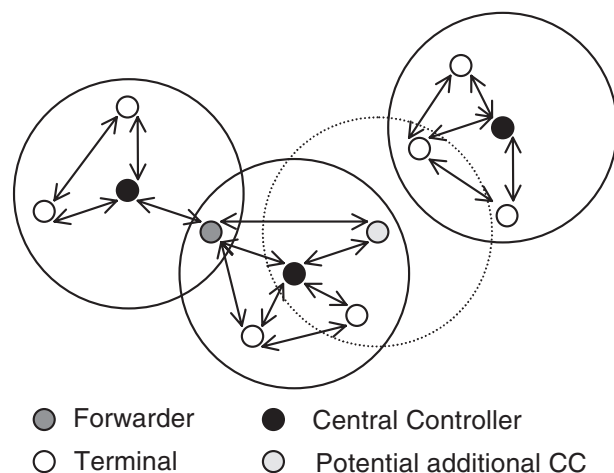


Abb. 4 Cluster-basierte Netzarchitektur

Im ClusterNet Projekt wurden Lösungen für die drei wichtigsten Probleme in cluster-basierten Netzen entwickelt [3]

1. Clusterbildung der Stationen („Clustering“) [4],
2. Verbindung der Cluster, bzw. Weiterleitung der Daten („Forwarding“),
3. Wegewahl der Pakete („Routing“).

Im vorliegenden Artikel konzentrieren wir uns auf die Weiterleitungsmechanismen. Wie zuvor erwähnt, operieren zwei benachbarte Cluster auf unterschiedlichen Frequenzkanälen. Das Forwarding muss somit im Frequenzbereich erfolgen. Setzt man voraus, dass ein Endgerät mit nur einem Send- und Empfangsteil (Transceiver) ausgestattet ist, muss ein FT zwischen den Frequenzkanälen hin- und herschalten.

Die Frequenzwechselzeit kann je nach Güte des Transceivers bis zu 1ms betragen. Das Hin- und Herschalten kann somit eine Abwesenheitszeit des FT vom Betrieb eines Clusters von bis zu 2ms implizieren. Während der Abwesenheitszeit ist das FT im betroffenen Cluster nicht zu erreichen. Aus diesem Grund muss der CC während dieser Zeit entweder jegliche

Übertragung an das FT unterbinden oder an das FT gerichtete Pakete zwischenspeichern.

Da die (bei H/2 2ms langen) MAC-Rahmen in den unterschiedlichen Clustern nicht synchronisiert sind, treten bei einem Frequenzwechsel des FT nicht nur Frequenzwechselzeiten T_S sondern auch Wartezeiten T_W auf den Beginn des jeweils nächsten MAC-Rahmen im Nachbarcluster auf. Dies ist in Abb. 5 dargestellt.

In Abb. 5 wird davon ausgegangen, dass das FT jeweils einen Rahmen in jedem der benachbarten Cluster verweilt. Der Abbildung kann entnommen werden, dass in diesem Fall die Kapazität, die dem FT zur Weiterleitung zur Verfügung steht, nur ein Viertel der maximal auf einer Frequenz verfügbaren Kapazität beträgt. Durch ein längeres Verweilen des FT in jedem der beiden benachbarten Cluster oder durch Reduzierung der Frequenzwechselzeit kann die Weiterleitungskapazität auf die halbe Clusterkapazität gesteigert werden. Wenn zwei Transceiver verwendet würden, könnte die Weiterleitungskapazität auf nahezu die gesamte Kapazität eines Frequenzkanals gebracht werden. Die Verwendung zweier Transceiver sowie weitere Verbesserungen des Weiterleitungsmechanismus sind z.B. in [5] beschrieben. Die Kapazität des Systems wurde in [6] analytisch abgeleitet. Es wurde insbesondere gezeigt, dass die Systemkapazität durch Erhöhung der Clusterzahl und damit der Hopzahl gesteigert werden kann.

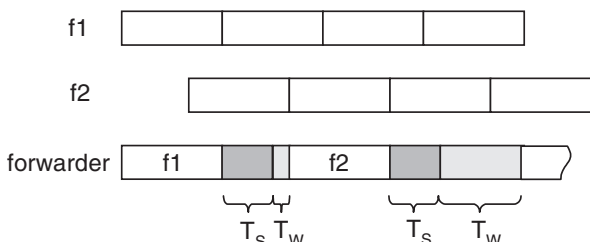


Abb. 5 Forwarding Mechanismus

4.3 Forwarding über Zellgrenzen

Ist eine Reichweiterehöhung das Ziel, ist fast immer ein Forwarding über die Zellgrenze hinaus erforderlich. Andernfalls könnte der AP das MT ja direkt erreichen und ein EP wäre überflüssig. Mit EP ist hier ein fest installierter Weiterleitungsknoten gemeint.

Soll eine multi-hop-Verbindung über mehrere Zellen hinweg aufgebaut und verwaltet werden, bietet sich ein Data Link Control (DLC)-Protokoll entsprechend Abb. 6 an. Um eine möglichst große Leistungsfähigkeit zu gewährleisten, d.h. um die Verluste auf der Funkschnittstelle zu minimieren, werden die EPs auf das DLC-Protokoll des APs synchronisiert. Zur Synchronisation dienen die regelmäßigen Beacon-Signale des APs, die im Falle von H/2 mit BCH bezeichnet werden. Damit sich weitere EPs bzw. die dem EP zugeordneten Endgeräte auf diesen EP synchronisieren können, sendet jeder EP ebenfalls einen eigenen BCH aus. Die BCHs des AP und der EPs müssen allerdings zeitversetzt gesendet werden um Interferenzen zwischen den Signalen auf der Luftschnittstelle zu vermeiden. Nach den BCHs werden seriell die sogenannten FCHs des APs und der EPs gesendet, die den Aufbau für den aktuellen 2-ms-Rahmen bestimmen, d.h. wer wann welche Information senden

darf. Das Beacon-Konzept bildet dabei einen sogenannten Super-Rahmen bestehend aus einem AP- und einem EP-Rahmen. Im AP-Rahmen werden die Daten zwischen AP und den EPs ausgetauscht, während im EP-Rahmen die EPs die Daten seriell nacheinander jeweils an die gewünschten Endgeräte weiterleiten bzw. in Uplink Richtung von den MTs abfragen. Innerhalb des vorher festgelegten Teilrahmens eines EPs kann dieser frei wie ein AP planen. Generell gilt, dass sich der EP gegenüber einem Terminal wie ein AP verhält, so dass immer standardkonforme MTs genutzt werden können. Das Terminal hört lediglich auf den FCH des EPs und leitet daraus ab, wann es senden bzw. empfangen muss. Der EP-FCH kündigt im AP-Rahmen einen Leerrahmen für alle Terminals an und verhindert dadurch, dass die Übertragung zwischen AP und EPs gestört wird.

Gegenüber den weiter oben beschriebenen Verfahren kann hier ein AP nicht alle Terminals direkt erreichen, sondern nur indirekt über die EPs. Das gilt speziell auch für die Kontrolle des Zugriffs auf das Funkmedium für jede multi-hop-Verbindung und führt zu einem entsprechend aufwändigeren Management der Luftschnittstelle. Generell können die EPs mit der vollen AP Funktionalität ausgestattet werden. In diesem Fall können die EPs auch autonom unabhängig vom AP arbeiten und z.B. auch Radio Link Kontrollfunktionen wie die Anmeldung eines Terminals übernehmen. Der AP steuert dann nur indirekt, indem er Daten an einen EP weiterleitet. Wollen Terminals innerhalb einer EP-Zelle miteinander kommunizieren, kann der EP dafür eine direkte Verbindung aufmachen. Alternativ könnte der EP auch sehr einfach aufgebaut sein und lediglich die Daten vom/zum AP weiterleiten. In diesem Falle muss der AP den Super-Rahmen für alle EPs vollständig planen. Diese Lösung ist weniger flexibel, reduziert dafür aber den Aufwand für einen EP erheblich. In [3] finden sich Simulationsergebnisse z.B. für die Delay-Verteilung des Protokolls unter anderem auch für hohe Teilnehmerzahlen. Ein OFDM-Demonstrator mit EP-DLC-Funktionalität ist inzwischen lauffähig.

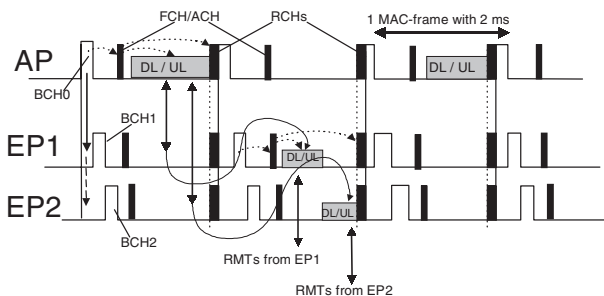


Abb. 6 Typisches synchronisiertes Forwarding-Konzept

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den drei verschiedenen Lösungsansätzen der Projekte ClusterNet, Coverage und IBMS2 folgt, dass die Wahl des Weiterleitungsverfahrens maßgeblich durch das Ziel bzw. die Anwendung des Netzes bestimmt sein sollte.

Ziel der Weiterleitung innerhalb einer Zelle ist die Reduzierung des Leistungsverbrauchs bzw. die Erhöhung der mittleren Batteriedauer sowie die Kapazitätserhöhung.

Durch die dynamische Bildung von Clustern und die clusterübergreifende Weiterleitung wird ein selbstorganisierendes

Netz aufgebaut, das sich beispielsweise als privates Heimnetz eignet.

Schließlich dient die Weiterleitung außerhalb einer Zelle der Anbindung entlegener Stationen und dem Ziel der Kostenreduktion und dürfte vornehmlich in infrastruktur-basierten Netzen Anwendung finden.

Diese stark unterschiedlichen Ziele haben zu jeweils drei unterschiedlichen Arten der Organisation der Weiterleitung geführt. In der Fortführung dieser Arbeiten ist eine relevante Frage die Übertragung der hier entwickelten Konzepte auf andere Technologien, wie z.B. IEEE 802.11.

6 REFERENZEN

- [1] IEEE 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Standard, IEEE, New York, Nov. 1997.
- [2] W. Zirwas; T. Giebel; N. Esseling; E. Schulz; J. Eichinger: Broadband Multi Hop Networks with reduced Protocol Overhead, European Wireless 2002, February 2002.
- [3] N. Esseling; W. Zirwas; E. Weiss; A. Krämling: A Multihop concept for HiperLAN/2: Capacity and Interference. In Proc. Eur. Wireless, Florenz, 2002.
- [4] J. Habetha: Entwurf eines cluster-basierten ad hoc Funknetzes. PhD thesis, Aachen University of Technology, 2002, ISBN 3-86073-981-6.
- [5] J. Habetha; B. Walke: Fuzzy rule-based load and mobility management for self-organizing wireless networks. Journal of Wireless Information Networks, Special Issue on Mobile Ad hoc Networks (MANETS): Standards, Research, Applications, Vol. 9, No. 2, pp. 119-140, April 2002.
- [6] J. Habetha; J. Wiegert: A comparison of new single and multiple transceiver data forwarding mechanism for multihop ad hoc wireless networks. In: Proc. Int. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunications Systems (SPECTS), pp. 436-443, Orlando, July 2002.
- [7] J. Habetha; J. Wiegert: Analytical and simulative performance evaluation of cluster-based multihop ad hoc networks, Journal of Parallel and Distributed Computing, Vol. 63, Nr. 2, February 2003, pp. 166-181.
- [8] D. Hollos; H. Karl: A protocol extension to hiperlan/2 to support single-relay networks. In: Proc. of 1st German Workshop on Ad-Hoc Networks, pp. 91-108, Ulm, Germany, March 2002.
- [9] M. Kubisch; S. Mengesha; D. Hollos; H. Karl; A. Wolisz: Applying ad-hoc relaying to improve capacity, energy efficiency, and immission in infrastructure-based WLANs. In: Proc. Kommunikation in Verteilten Systemen, Leipzig, Germany, February 2003.
- [10] M. Bronzel; W. Rave; P. Herhold; G. Fettweis: Interference Reduction in Single-Hop-Relay Networks. In: 11th Virginia Tech Symposium on Wireless Personal Communications, June 2001.

IEEE International Conference on Software Maintenance 2004

Sponsored by IEEE

ICSM 2004, 11-17 September 2004, Chicago IL USA

<http://www.cs.iit.edu/~icsm2004>

Call for Papers

The International Conference on Software Maintenance (ICSM) is the world's major international conference for software and systems maintenance, evolution, and management. For the 20th ICSM 2004 we invite you to join us in exploring issues related to maintaining, modifying, enhancing, and testing operational systems and designing, building, testing, and evolving maintainable systems.

ICSM 2004 will address the major challenges confronting maintenance and evolution. We will concentrate on identifying new opportunities for collaboration between researchers and practitioners.