
Drahtlose ATM-LANs für Multimedia im Büro- und Privatbereich

Christoph Herrmann*, Yonggang Du*, Peter May*, Andreas Hettich+, Matthias Lott+

*Philips GmbH Forschungslaboratorien,
Weißhausstraße 2, D-52066 Aachen

+Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, RWTH Aachen

1. Einführung

Öffentliche Netze für die drahtlose Übertragung organisieren die Funkausleuchtung über einen zentralisierten Vermittlungsansatz, bei dem ein zentraler Vermittlungsknoten Verbindungen zu Endgeräten und weiteren Vermittlungsknoten schafft.

Im lokalen Bereich, insbesondere für kleinere Büros oder den Heimbereich (SOHO: small offices and home offices) sind solche zentralisierten Vermittlungssysteme mit hoher Port-Zahl in der Regel zu teuer. Abhilfe schafft hier ein verteilter Ansatz, bei dem kleine, billige Vermittlungskomponenten in Form eines Duplexrings miteinander verbunden werden können. Gegenüber dem in der Regel teuren zentralisierten Ansatz bietet das verteilte Konzept neben der sehr viel niedrigeren Anfangsinvestition bei kleinerer gewünschter Port-Zahl zusätzlich die Skalierbarkeit in kleinen Schritten und den weit aus geringeren Verkabelungsaufwand [1]. Das im folgenden beschriebene Systemkonzept ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Vorhabens "Drahtlose ATM-LANs für Multimedia im Industrie- und Privatbereich", in dem neben den Konzeptstudien ein Vorführungsprototyp entwickelt wird. Die speziellen für den Industriebereich relevanten Aspekte werden in einem zweiten Beitrag behandelt.

2. Systemkonzept

Das drahtgebundene ATM LAN System in [1] stellt einen Ring dar, bei dem der User-Port jeder Vermittlungskomponente durch eine (UTOPIA [13] basierte) Interface-Karte mit dem eigentlichen Switch-Element verbunden ist. Diese Interface-Karte kann ausgetauscht und so auf verschiedene PHY-Layer angepaßt werden (z.B. SDH 155 elektrisch, optisch oder TAXI 100). Zur Unterstützung drahtloser Übertragung über Basisstationen (BSen) kann das elementare Switch-Element in die BS integriert werden, so daß die BSen ihrerseits Ringknoten werden, verbunden mit anderen BSen oder Knoten mit drahtgebundenem Teilnehmeranschluß. Funkübertragung erfolgt im TDMA-Verfahren mit Uplink- und Downlinkphase innerhalb desselben TDMA-Rahmens. Eine BS implementiert ein reservierungs-basiertes Medienzugriffsprotokoll (MAC-Protokoll, Medium Access Control). Durch Reservierung von Übertragungszeitschlitzen im nächstfolgenden Rahmen kann – soweit das für ein funkbasiertes System möglich ist - die für ATM charakteristische Dienstgütegarantie erreicht werden. Die BS beinhaltet ein zentrales Steuerungselement (Central Controller, CC), das alle drahtlosen Terminals (WTs: Wireless Terminals) im Versorgungsbereich dahingehend steuert, daß jedes WT die Zeitpunkte innerhalb eines TDMA-Rahmens kennt, zu denen es Daten absetzen kann bzw. empfangen soll. Sowohl Nutz- als auch Steuerungsdaten werden über die BS übertragen. Ein Scheduler im CC sorgt auch für die mit den Dienstgüteparametern der einzelnen Verbindungen abgestimmte Zuteilung von Übertragungslots für ATM-Zellen im Uplink oder Downlink.

In einem weiteren, spektral effizienteren Ansatz kommunizieren die WTs direkt über die Luftschnittstelle miteinander, so daß ein drahtloses Ad-hoc ATM LAN entsteht. Die Vermittlungsfunktion wird quasi von der Luftschnittstelle realisiert. Hier übernimmt dann ein (ausgezeichnetes) WT die Rolle der zentralen Steuereinheit (CC). Steuerungsinformation wird immer über den CC übertragen (wie im Falle des Systems mit BS), während Nutzdaten auf direktem Wege zwischen den WTs ausgetauscht werden. Auch hier kann das reservierungs-basierte MAC-Protokoll eingesetzt werden. Der Unterschied besteht darin, daß der TDMA-Rahmen nun keine uplink- und downlink-Phase enthält sondern (neben den Steuerungsphasen) Phasen für jedes Paar von kommunizierenden WTs. Das Konzept sieht weiterhin vor, daß ad-hoc-fähige WTs auch von einer BS versorgt werden können, wenn diese vorhanden ist. In einem solchen Falle startet keines der WTs als CC. Die Anpassung der MAC-Spezifika an die jeweilige Situation (Ad-hoc Netz oder System mit BS) wird relativ einfach durch Konfiguration der Steuerungssoftware jedes WTs bei Anwesenheit einer BS erreicht.

Zur Überwindung von ungünstigen Mehrwegeausbreitungseffekten in geschlossenen Räumen wird das Mehrträgerübertragungsverfahren OFDM[2] (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) eingesetzt, so daß auf einen Entzerrer verzichtet werden kann. OFDM kann effizient mittels der FFT (Fast Fourier Transform) implementiert werden. Mittlerweile ist OFDM auch in ETSI-BRAN als Übertragungsverfahren für zukünftige drahtlose Breitbandübertragungssysteme insbesondere im

Business-Bereich (HIPERLAN/2, High PERFORMANCE LAN) festgeschrieben worden [8], und die Harmonisierung mit den vergleichbaren Aktivitäten in IEEE 802.11 ist im Gange .

Der Einsatz einer elementaren Switchkomponente im Falle des Systems mit BS erlaubt eine hohe topologische Flexibilität. Bei Integration mit Funkübertragungsteilen in ein Chipset kann das System mit BS zu relativ niedrigem Preis bei hohen Stückzahlen hergestellt werden. Damit sind die Voraussetzungen für die Verbreitung auch im Konsumer-Bereich geschaffen, wo als wichtige Aspekte eines Funkübertragungssystems der niedrige Preis (insbesondere bei Erstanschaffung), das Plug-and-Play-Merkmal sowie die Flexibilität im Sinne des schnellen Aufbaus von Teilnetzen oder der Veränderung der Netzkonfiguration gelten. Gerade diese Merkmale werden beim System mit BS in sehr günstiger Weise durch einen verteilten Ansatz realisiert.

3. Verteilte Switch-Architektur des Systems mit Basisstationen

Der verteilte ATM-Switch besteht aus nur einem Knotentyp, genannt ATM-Transceiver. Der ATM-Transceiver hat zwei bidirektionale Eingänge, die bis zu 155 Mbps für einen Duplexring bereitstellen, und einen weiteren bidirektionalen Eingang, der die Verbindung zum Endgerät schafft (ebenfalls bis zu 155 Mbps). Die auf jedem Knoten vorhandene Switchkomponente wurde als ein einzelner Chip realisiert (Chipfläche 140 mm², 2 Mio. Transistoren, 185 kbit RAM) und arbeitet nach dem *Shared Memory* Prinzip [14] . Von außen erscheint die Switchkomponente wie ein 3x3 Switchelement, das empfangene ATM-Zellen auf den Ringausgang, den Stationsausgang oder auf beide weiterleiten kann. Intern stellt sie sich als 4x4 Switch-Fabric dar, weil für Steuerungszwecke (ohne zusätzlichen separaten Kanal) auch Zellen an den Steuerungsprozessor weitergeleitet werden müssen. Darüber hinaus kann das Switchelement Zellen löschen, den ATM-Zellkopf manipulieren und einzelne Zellströme hinsichtlich ihrer vereinbarten Dienstgüte überwachen (Usage Parameter Control). Der externe Steuerungsprozessor kann zusätzlich zu reinen Firmwareaufgaben auch Signalisierungsaufgaben, Ressourcenvergabe, Verkehrssteuerung und andere OAM (Operation and Maintenance) Aufgaben übernehmen. Dazu läuft das Realzeitbetriebssystem pSOS auf dem Prozessor. Es wird keine Ringsynchronisation benötigt, weil physikalisch gesehen die Ringkabelverbindung zwischen zwei Knoten abgeschlossen ist, so daß nur Sender und Empfänger benachbarter Knoten zueinander synchron arbeiten müssen. Ein passives Relais schaltet Ringein- und ausgang kurz, falls ein Knoten ausgeschaltet wird oder die Spannungsversorgung ausfällt, so daß der Ring weiterhin betrieben werden kann.

Die Realisierung als Duplexring erlaubt, das System mit Schutzmechanismen gegen Kabelbruch und Knotenausfall auszustatten: Dazu muß jeder Knoten lediglich in der Lage sein, Zellströme die er auf einem Ring empfangen hat, auf den anderen umzurouten, wenn z.B. der erstgenannte Ring hinter dem Knoten gebrochen ist. Hierzu wurde ein sehr schneller sog. *Self-Healing* Algorithmus entwickelt [10][5], der in der Lage ist, virtuelle Verbindungen gegen Einfach- und Duplexkabelbrüche sowie gegen Fehlerfälle mit mehr als zwei Kabelbrüchen (isolierte Knoten, und isolierte Gruppen von Knoten), aber auch Knotenausfall wirksam zu schützen.

3.1 Verteilte Software-Architektur

Damit der Ring sich unter Steuerungsgesichtspunkten wie ein zentralisierter ATM-Switch verhält, wurde eine verteilte Softwarearchitektur entwickelt. Eine (logische) Verteilplattform ist zwischen allen Transceivern aufgespannt. Auf dieser Plattform existieren sogenannte *Embedded Objects* (EmbOs), die über einen einheitlichen Mechanismus miteinander kommunizieren können, indem sie *Methoden* eines entfernten EmbOs mittels eines *Remote Procedure Calls* aufrufen können. Ein EmbO kann mit einem oder mehreren *Threads* (parallele Prozesse, die auf demselben Speicherbereich arbeiten) gestartet werden, je nachdem ob gleichzeitig ein oder mehrere Methoden parallel ausgeführt werden sollen. Im zweiten Fall würde ein *Remote Procedure Call* nicht blockieren. Das Programmierinterface der EmbOs ist so gestaltet, daß der physikalische Ort des EmbOs mit geringem Zusatzaufwand verändert werden kann. Die Verteilungsplattform kann auch auf angeschlossene Endgeräte ausgedehnt werden, z.B. einen Server, der dann größere Switchsteuerungsaufgaben übernimmt, die einen einzelnen Transceiver-Prozessor überfordern würden, oder um extern verfügbare Steuerungssoftware ohne Zusatzaufwand zugänglich machen zu können (z.B. LAN Emulation Server zur einfachen Unterstützung der LAN Emulation). Damit können EmbOs auf ATM-Transceivern mit EmbOs auf angeschlossenen WTs (und umgekehrt) kommunizieren.

Als Beispiel wird kurz auf das Signalisierungssystem eingegangen, das unter Anpassung des Bellcore Signalisierungsstack [4] durch eine Koordinierungsschicht, die an die Gegebenheiten der Verteilplattform anpaßt, auf einer UNIX Workstation implementiert wurde, die als Signalisierungsserver fungiert.

Signalisierungsnachrichten, die auf einem Stationseingang eines Transceivers empfangen wurden, werden unter Einsatz der Kommunikationsmechanismen der Verteilplattform zum Signalisierungsserver geleitet. Ein sog. CallHandler-EmbO, das ebenfalls auf einer Workstation läuft verwaltet die Switch-Ressourcen und muß über die Zulassung oder Ablehnung der neu-

en Verbindung entscheiden, falls das gerufene WT die Verbindung aufbauen will. Wenn die Verbindung aufgebaut werden kann, ruft das CallHandler-EmbO eine Methode des sog. Firmware-Interface-Objektes (FIO, zur Abschirmung der speziellen HW-Eigenschaften) in den beiden beteiligten Ringknoten auf, um die entsprechenden Routingtabellen zu setzen. Außerdem wird die Policing-Funktion auf dem eingangsseitig beteiligten Transceiver geeignet konfiguriert.

Durch das einfache Ortsverwaltungskonzept der Verteilplattform kann nun das Signalisierungs-EmbO und/oder das Call-Handler-EmbO auch auf einen Transceiver verschoben werden, wodurch sich die Zeit für einen Signalisierungsvorgang verkürzen läßt.

3.2 Location Management und Handover

WTs im Ringsystem mit BSen können den Zugangspunkt wechseln. Damit diese WTs nach einem Wechsel weiterhin erreichbar sind, muß der Switch-Steuerungssoftware bekannt sein, wohin sich ein WT bewegt hat. Diese *Location Management* Funktion ist aus Vereinfachungsgründen ins CallHandler-EmbO integriert. Die Alternative zum Nachverfolgen des Aufenthaltsortes wäre das Paging, was allerdings zu unerwünschtem zusätzlichen Signalisierungsverkehr führt und deshalb vermieden wurde. Das CallHandler-EmbO muß lediglich die eindeutige ATM-Adresse des WT in der *Location-Management*-Tabelle unter dem aktuellen Zugangspunkt (wenn sich das WT im selben Ring an einer anderen BS befindet) oder unter dem Ring-Port abspeichern, über den das WT in einem anderen angeschlossenen ATM-Switch erreichbar ist. Die WTs unterstützen Multimedia-Verkehr und sind daher als intelligent anzusehen, so daß ihre Rechenleistung ausreicht, um selbst einen Handover zu initiieren. Im gegenwärtigen Prototypen vergleicht ein WT die RSSI-Werte (Received Signal Strength Indicator) verschiedener benachbarter BSen (die über ihre Frequenzen unterschieden werden), um die günstigste auszuwählen, falls der RSSI-Wert der gerade benutzten BS eine vorgegebene Schwelle unterschreitet. Diese Lösung erlaubt die Vereinfachung des Empfangsteils der WTs, die sich nicht gleichzeitig auf zwei BSen synchronisieren müssen. Das hat andererseits zur Folge, daß nur *backward* Handover (d.h. die zugehörige Handover-Signalisierung erfolgt über die alte BS) und damit verbunden *hard* Handover (d.h. während des Handover ist mit einer merklichen Übertragungsunterbrechung zu rechnen) möglich sind, womit aber den Mindestanforderungen des ATM-Forums Rechnung getragen wird [6].

4. Funkzugriff im WATM-System mit Basisstation

Mit großer Wahrscheinlichkeit werden WATM-Systeme im 5 GHz Band betrieben werden. Das 5.2 GHz Band wurde in Europa für HIPERLAN mit einer Bandbreite von 100-150 MHz (abhängig von nationaler Regulierung) reserviert. In den Vereinigten Staaten wurde im 5 GHz Band ein Bereich mit 300 MHz Bandbreite, das U-NII-Band (Unlicensed National Information Infrastructure; 3 Subbänder: 5.15-5.25 GHz, 5.25-5.35 GHz, 5.725-5.825 GHz, jeweils unterschiedliche maximale Sendeleistungen zulässig) für die lizenzfreie Nutzung freigegeben.

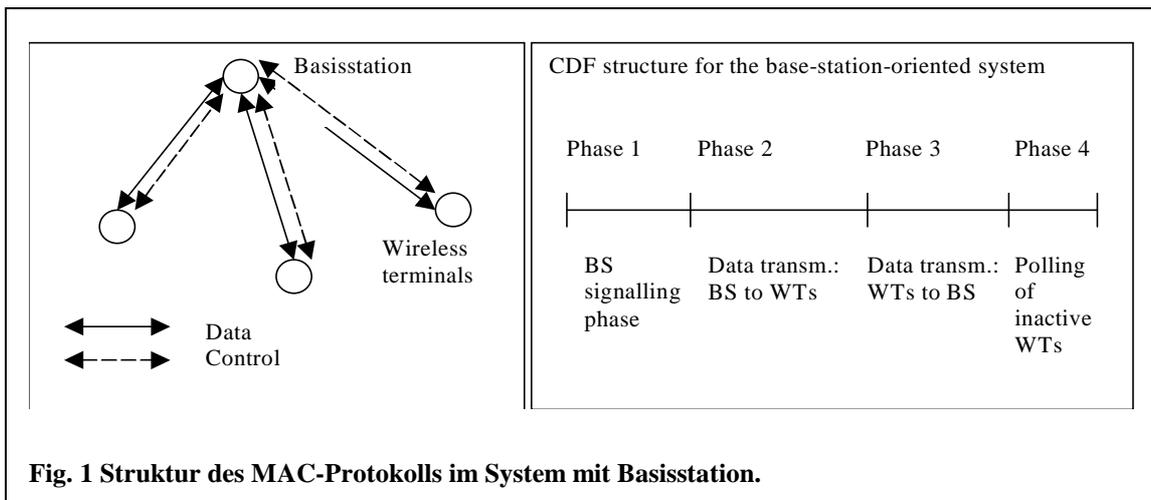
Für den *Inhouse*-Betrieb mit relative vielen Wänden können in einem solchen Frequenzband Entfernungen bis zu 15 m überbrückt werden, im Bürobereich bis zu 50 m.

4.1 Medienzugriffsverfahren und Fehlerkorrektur

Die wichtigste Anforderung an das Medienzugriffsverfahren (MAC) ist die Fähigkeit eine Dienstgüte trotz der Unregelmäßigkeiten der Luftschnittstelle zu garantieren. Kollisionsbehaftete Verfahren, wie CSMA (Carrier Sense Multiple Access), können diese Forderung nicht erfüllen, weil infolge der nicht vorhersagbaren Kollisionen eine solche Garantie nicht möglich ist. Dies gelingt erst, wenn eine zentrale Einheit den Zugriff der WTs auf das von den WTs gemeinsam genutzte Medium koordiniert [11]. Andererseits wird die Dienstgütegarantie auch durch die Unwägbarkeiten des Funkkanals erschwert, die durch eine leistungsfähige Kanalkodierung (FEC, Forward Error Correction) abgemildert werden müssen, was wiederum mit erhöhtem Overhead (geringere Nutzbitrate als bei einfacher Kodierung, größere Grundverzögerungen durch komplexeres *Processing* in den Sende- und Empfangskomponenten) erkauft werden muß.

Übertragungsfehler, die durch FEC nicht ausgeglichen werden konnten, können durch erneute Übertragung (Automatic Repeat Request Protokoll) bereinigt werden, bei Realzeitdiensten allerdings nur sehr eingeschränkt, da zusätzliche Verzögerungen entstehen. Diese Funktion wird als Logical Link Control (LLC) bezeichnet. Zur Unterstützung von Übertragungswiederholungen benötigt man eine Nummerierung der zu sendenden Dateneinheiten (hier ATM-Zellen), damit Empfänger und Sender sich über die evtl. erneut zu übertragenden Dateneinheiten austauschen können.

Fig. 1 zeigt die MAC-Rahmenstruktur im Falle des Systems mit BS. Der sog. *Control Data Frame (CDF)* besteht aus verschiedenen Phasen: In der ersten Phase informiert die BS alle dem System schon bekannten WTs über die genauen Zeitpunkte innerhalb der nächsten beiden Phasen (2. Phase: BS zum WT) bzw. (3. Phase: WT zur BS), zu denen sie empfangsbereit sein müssen bzw. Daten an die BS senden können. Angehängt an die Dateneinheiten können WTs Reservierungsan-



forderungen für den nächsten CDF an die BS verschicken. In der vierten Phase, werden diejenigen WTs von der BS *gepollt*, die im aktuellen CDF keine Dateneinheiten übertragen haben (sog. inaktive WTs). Hierzu wurde das Verfahren des sog. E-Burst entwickelt: Ein inaktives Terminal sendet zu dem von der BS mitgeteilten Zeitpunkt innerhalb der Phase 4 lediglich einen Energieimpuls, mit dem es signalisiert, daß es im nächsten CDF eine Dateneinheit (einschließlich Reservierungsinformation für den dann folgenden CDF) versenden möchte. Durch den kurzen Energieimpuls kann die 4. Phase insgesamt kurz ausfallen. WTs, die der BS noch unbekannt sind, melden sich innerhalb einer sog. Beacon-Phase, die sich immer nach mehreren (etwa 20) CDFs wiederholt, bei der BS. Der Zugriff auf den Kanal in der Beacon-Phase erfolgt nach *Slotted ALOHA*, d.h. kollisionsbehaftet. Für den seltenen Vorgang der Anmeldung bei einer BS ist der kollisionsbehaftete Zugriff vertretbar; er ist allerdings auch nicht vermeidbar, weil die BS diese WTs noch nicht kennt. Da ein WT immer zu Beginn eines CDF darüber informiert wird, zu welchen Zeitpunkten es senden oder empfangen soll, kann es zu den übrigen Zeiten in den *Sleep-Modus* umschalten (insbesondere für den Betrieb von Laptops von Bedeutung). Sowohl Nutzdaten als auch Steuerungsdaten werden immer über die BS empfangen.

4.2 Physikalische Übertragungsschicht

Das Mehrträger-Verfahren OFDM [2] bietet eine einfache Methode zur Verminderung von ungünstigen Mehrwegeausbreitungseffekten. Die Zerlegung eines Breitbandsignals in mehrere Schmalbandsignale, die auf verschiedenen Trägern parallel übertragen werden, bedingt eine größere Dauer der Symbole auf den Trägern, so daß Verzögerungen desselben gesendeten Symbols auf den verschiedenen langen Pfaden zum Empfänger gegenüber der Symboldauer nicht ins Gewicht fallen. Andererseits bedingt die parallele Übertragung auf mehreren benachbarten Kanälen sowohl Intersymbol – als auch Interkanalinterferenzen. Durch künstliche Vergrößerung der Sendesymboldauer können unter geringem Verlust in der spektralen Effizienz diese Interferenzen wirksam reduziert werden, wobei die Sendesymbolverlängerung (sog. *Guard Time*) größer als die Länge der jeweiligen Kanalimpulsantwort gewählt werden muß. Aus diesem Grund wurde der Entwicklungsprozeß des Modems durch Funkkanalsimulationen unterstützt [3]. Typische Werte für die Zeitdispersion (rms Delay-Spread) innerhalb von Räumen, wie sie im Heimbereich auftreten, liegen im Bereich von 20 ns. Lediglich in sehr großen Gebäuden oder Hallen bzw. außerhalb von Gebäuden liegen die Werte oberhalb von 50 ns. Für den Einsatz im Heimbereich ist daher eine *Guard Time* von 140 ns ausreichend, was dem 7-fachen Wert des rms Delay-Spread entspricht. Simulationen der Bitfehlerwahrscheinlichkeiten mit den gewählten Parametern des Prototypen ergaben Werte für den uncodierten Fall von weniger als 1 % bei Signal-zu-Rauschleistungsverhältnissen pro Bit von 20dB [12]. Als Modulationsverfahren für die Schmalbandteilsignale auf den einzelnen Trägern wird das inkohärente DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying) verwendet, welches keine Kanalschätzung erfordert und somit eine kostengünstige Realisierung verspricht. Implementiert wurde das OFDM-Verfahren mittels IFFT (inverse Fast Fourier Transform) auf der Senderseite und mittels FFT auf der Empfängerseite jeweils bei Verwendung eines DSP. FEC wurde unter Berücksichtigung der ATM-Zellgröße mittels eines (76,56) Reed-Solomon-Codes implementiert, d.h. aus der um 3 Byte (nutzbar für LLC-Zwecke, z.B. Nummerierung der Dateneinheiten) ergänzten ATM-Zelle wird direkt ein Codewort erzeugt. Die Bits eines Codewortes werden über die einzelnen Träger verteilt (Interleaving), damit Schwundeffekte, die nur wenige Träger betreffen, durch die mittels Codierung eingeführte Redundanz ausgeglichen werden können. Bislang besteht die Basisband-Implementierung aus 3 Boards mit einer Reihe von FPGAs. Im nächsten Schritt soll sie in einen einzigen Chip integriert werden.

Das RF-Frontend benutzt noch konventionelle Technologie für die Transformation in den 5GHz-Bereich. Auch hier ist höhere Integration in ein Multi-Chipmodul angestrebt.

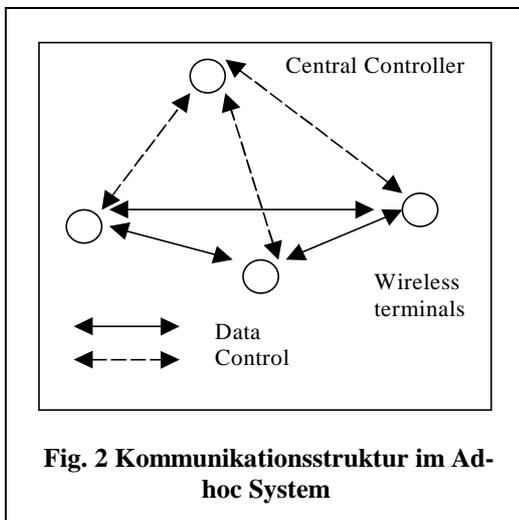


Fig. 2 Kommunikationsstruktur im Ad-hoc System

5. Ad-hoc-System

Um den Anwendungsbereich des drahtlosen ATM LANs zu erweitern, wird unter Beibehaltung der Anforderungen die Systemarchitektur um einen Ad-hoc Modus [7] ergänzt. Bei Ad-hoc Netzen muß auf vorhandene Netzinfrastruktur, wie z.B. BSen, verzichtet werden. Um aber weiterhin auch im Ad-hoc Netz die ATM-typische Dienstgüte garantieren zu können, wird bei Netzinstallation ein WT zum CC bestimmt.

Der CC übernimmt nun einen Teil der Funktionen einer BS, unter anderem die Terminalregistrierung (Terminal Association Control, TAC), die Verbindungsannahmesteuerung (Call Admission Control, CAC), sowie Kanalzugriffssteuerung (MAC). Der Zugriff auf das Medium wird somit vollständig vom CC kontrolliert. Kommunikationswillige Teilnehmer müssen sich zunächst beim CC anmelden, dann ihren Verbindungswunsch äußern und bekommen schließlich im Erfolgsfall vom CC Kapazität zugewiesen.

Im Gegensatz zu Systemen mit BS, bei denen die Nutzdaten vor allem zwischen WTs und dem Festnetz ausgetauscht werden, bleiben die Daten

beim Ad-hoc Netz naturgemäß in der eigenen Funkzelle. Dieser Verkehr müßte im System mit BS über die BS geleitet und somit zweifach übertragen werden. Um im Ad-hoc Netz zum einen den CC von Aufgaben zu entlasten und andererseits die knappen Funkressourcen optimal auszunutzen, wird die direkte Kommunikation zwischen WTs eingeführt.

Fig. 2 zeigt die entstehende Kommunikationsstruktur. Während weiterhin der Kontrollpfad zentralisiert über den CC führt, ist der Datenpfad dezentral und erlaubt den direkten Austausch von Nutzdaten. Die Zeitschlitz werden weiterhin vom CC den WTs zugeteilt, diese können aber nun die Nutzdaten direkt an ihre Nachbarn schicken (Peer-to-Peer Kommunikationsbeziehung). Kontrolldaten, wie z.B. Kapazitätsanforderungen, müssen weiterhin zum CC gesendet werden. Zur Zugriffskoordination würde es nun ausreichen, daß der CC den jeweiligen Sendern die zugehörigen Sendezeitschlitz mitteilt, die übrigen WTs in diesen Phasen alle ATM-Zellen empfangen und diejenigen ausfiltern, die zu den vom jeweiligen WT aufgebauten virtuellen Kanälen gehören. Zur Ermöglichung eines *Sleep-Modus* müssen jedoch für jeden Zeitschlitz Sender und Empfänger signalisiert werden. Phase 2 und 3 in Fig. 1 werden dann zu einer einzigen, sogenannten Peer-to-Peer Phase zusammengefaßt.

6. Schlußbemerkungen

Im September 1998 konnte erstmals drahtlose Übertragung bei 5 GHz auf dem Prototyp des Systems mit Basisstation durchgeführt werden. Das Funksubsystem bestand noch aus einem OFDM-Modul, das mit nur 4 Trägern arbeitet. Dieses wird gegenwärtig auf 16 Träger erweitert. Bei der Entwicklung des MAC-Protokolls auf einem separaten Board mit eigenem Prozessor zeigte sich in der Vergangenheit, daß ohne Verwendung eines Betriebssystems die Entwicklung der zugehörigen Steuerungssoftware zu erheblichen Schwierigkeiten führt, der relativ geringe Geschwindigkeitsgewinn bei Verzicht auf ein Betriebssystem aber die Nachteile bei der Software-Entwicklung keineswegs rechtfertigt.

Das Forschungsprojekt "Drahtlose ATM-LANs für Multimedia im Industrie- und Privatbereich" wird von den Partnern Philips GmbH, Daimler-Benz AG, Ulm, RWTH Aachen gemeinsam bearbeitet. Es wird vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie im Rahmen des Förderschwerpunktes "ATMmobil – Breitbandige Mobilkommunikation für Multimedia auf ATM-Basis" [9] gefördert.

7. Literatur

- [1] Y. Du and R. Krämer. *ATM local area networks using distributed switch architecture*, Proc. IEEE GLOBECOM'94, San Francisco, USA, Nov. 1994, pp. 1832-1838
- [2] M. Alard, R. Lasalle. *Principles of Modulation and Channel Coding for Mobile Receivers*, European Broadcasting Union, Review Technical, No. 224, 1987.
- [3] M. Lott, R. Fifield, D. Evans, and S. Hulyalkar. *Radio Channel Characteristics for Typical Environments at 5.2 GHz*, ACTS Mobile Summit, Aalborg, Denmark, 7-10 Oct 1997.
- [4] Bellcore, Q.port. *Portable ATM Signalling Software*, Release 2.0, 1996.

-
- [5] K. P. May, P. Semal, Y. Du, and C. Herrmann. *A Fast Restoration System for ATM-Ring-Based LANs*. IEEE Communication Magazine, Sept. 1995, pp. 90-98.
- [6] H. Mitts, K. Rauhala, B. Rajagopalan, G. Bautz. *Proposed Handover Signaling Architecture for Release 1.0 WATM Baseline*, ATMF 97-0845, Sept. 1997
- [7] Y. Du, C. Herrmann, P. May, S.N. Hulyalkar, and D. Evans. *Adhoc Wireless ATM with Bandwidth Reservation*, wmATM'98, Hangzhou, China, April 1998
- [8] ETSI EP BRAN Plenary, Document PLN1109a, "Alignment of physical layer specification between HIPERLAN/2 and IEEE 802.11", Nov. 3, 1998.
- [9] B. Walke: Breitbandige Mobilkommunikation für Multimedia auf ATM-Basis. Ntz Nachr.- techn. Z. 51 (1998) H. 8, S. 58-61.
- [10] C. Herrmann, Y. Du, P. May, „ATM Local Area Network with Fast Reconfiguration in the Event of Line-Breaks or Node Failures“, IFIP ATM'98 Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks, July 21-23 1998, Ilkley, UK.
- [11] C. Ngo, S. Hulyalkar, Y. Du, A. Hettich. "Contention-free MAC Protocol for Wireless ATM LAN", ACTS Mobile Summit, Aalborg, Denmark, 7-10 Oct 1997.
- [12] M. Lott, S. Mangold, D. Evans, R.Fifield, „Radio Transmission at 5.2 GHz: Channel Modelling and Performance Results for the Wireless ATM LAN Prototype“, In Proc. MTT-S Wireless'98, Amsterdam, Niederlande, 8.-9. Oktober 1998, S.181-185.
- [13] The ATM Forum, "Universal Test & Operations PHY Interface for ATM (UTOPIA)", Level 1 March 1994, Level 2, June 1995.
- [14] F. Tobagi, "Fast Packet Switch Architectures For Broadband Integrated Services Digital Networks", Proceedings of the IEEE, Vol. 78, No.1, Jan 1990.