

Zuverlässige Gruppenkommunikationsdienste in ATM-Netzen

Georg Carle

1 Motivation

Mit der Einführung einer neuen Netzgeneration, die auf dem Übermittlungsprinzip des Asynchronen TransferModus (ATM) basiert, findet in der Telekommunikation in mehrerer Hinsicht ein Paradigmenwechsel statt. Konventionelle Datennetze sind geprägt durch eine verbindungslose Vermittlung von Paketen mit variabler Länge sowie durch Kommunikationsprotokolle, die für niedrige Übertragungsraten und für hohe Fehlerraten entworfen wurden. Im Gegensatz dazu basieren ATM-Netze auf verbindungsorientierter Vermittlung von Zellen einer konstanten Länge von 53 Bytes und ermöglichen hohe Übertragungsraten über weite Entfernungen.

Auch auf Seiten der Anwendung läßt sich ein deutlicher Wandel beobachten. Während in konventionellen Anwendungen Punkt-zu-Punkt-Kommunikation überwiegt, basieren viele fortgeschrittene Anwendungen auf Kommunikationsformen, welche eine Gruppe von Kommunikationsteilnehmern involviert. Beispiele finden sich in den Bereichen verteilte rechnergestützte Gruppenarbeit, Konferenzsysteme, Verteildienste und verteiltes Rechnen. Diese Anwendungen fordern vom Netz unter anderem Dienste für die Kommunikation eines Senders mit mehreren Empfängern, was als Multicasting bezeichnet wird, sowie Dienste für mehrere Sender in einer Gruppe (Multipeer-Kommunikation). Häufig benötigen diese Anwendungen einen zuverlässigen Gruppenkommunikationsdienst, der Protokolle mit Fehlerkontrollmechanismen erforderlich macht. Existierende Protokolle für zuverlässige Gruppenkommunikation wurden im Hinblick auf konventionelle Netze entworfen und sind für den Einsatz in ATM-Netzen wenig geeignet. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die beim Einsatz von ATM-Netzen geltenden neuen Randbedingungen sowie die neuen Anwendungsanforderungen der Gruppenkommunikation zu analysieren und darauf aufbauend neue Protokollmechanismen und neue ATM-Dienstkomponenten für die effiziente Erbringung zuverlässiger Gruppenkommunikationsdienste zu entwickeln.

2 Mechanismen für zuverlässige Gruppenkommunikation

Die zu entwickelnden Protokollmechanismen erbringen anwendungsspezifische Dienste und lassen sich somit gemäß der geschichteten Protokollarchitektur von ATM-Netzen der sogenannten ATM-Adaptionsschicht (ATM Adaptation Layer, AAL) zuordnen. Die Protokollmechanismen dieser Schicht operieren auf einzelnen Zellen sowie auf aus mehreren Zellen zusammengesetzten Rahmen. In dieser Arbeit werden erstmals multicastfähige Fehlerkontrollmechanismen für die Adaptionsschicht vorgestellt, während sich bisherige Arbeiten dieser Schicht auf zuverlässige Punkt-zu-Punkt-Kommunikation beschränkten. Vorhandene Arbeiten zu Protokollen dieser Schicht konzentrierten sich außerdem auf eine sehr geringe Zellverlustwahrscheinlichkeit. Wenn allerdings für Mehrpunktverbindungen mit einer sehr stoßartigen Verkehrscharakteristik eine geringe Zellverlustwahrscheinlichkeit garantiert werden soll, so müßten Netzressourcen in deutlich größerem Umfang reserviert werden, als im Mittel auch genutzt werden.

Gruppenkommunikationsdienste können in vielen Fällen somit nur dann effizient erbracht werden, wenn eine relativ hohe Zellverlustwahrscheinlichkeit in Kauf genommen wird. In diesen Fällen sind zur Behebung der Zellenverluste Kommunikationssysteme mit besonders effizienten Fehlerkontrollmechanismen dringend erforderlich. Heutige Realisierungen von Fehlerkontrollmechanismen führen allerdings häufig schon für den einfacheren Fall zuverlässiger Punkt-zu-Punkt-Kommunikation zu einem Leistungengpaß. Bei zuverlässiger Gruppenkommunikation wird dieses Problem besonders deutlich, da sowohl der Verarbeitungsaufwand zur Protokollbearbeitung als auch die Fehlerhäufigkeit mit wachsender Gruppengröße zunimmt.

Als wesentliche Einflußgrößen für den Leistungengpaß wurden die Parameter Empfängerzahl, Übertragungskapazität, Entfernung, Verlustwahrscheinlichkeit und Sendecharakteristik identifiziert [Car94a]. Sie können über mehrere Größenordnungen schwanken. Die Entwicklung von Protokollmechanismen mit einer guten Skalierbarkeit ist daher eine große Herausforderung. Wegen der stark unterschiedlichen Dienstanforderungen sowie der über einen großen Bereich schwankenden Randbedingungen bietet kein einzelner Protokollmechanismus für alle Fälle zufriedenstellende Leistungen, weshalb konfigurierbare und parametrisierbare ATM-Dienstkomponenten erforderlich sind [Car94b].

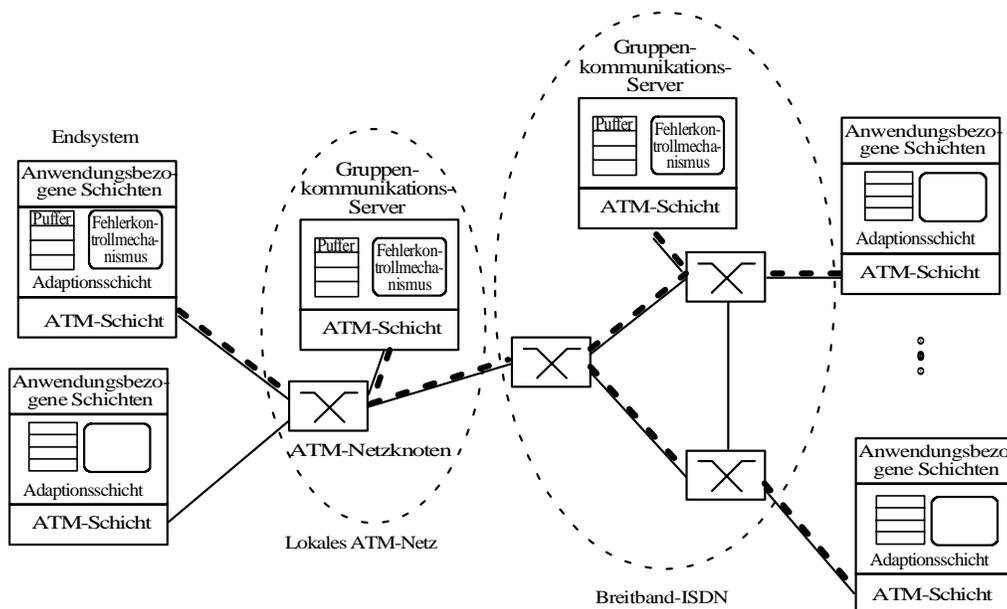


Abbildung 1. Adaptionsschicht und Gruppenkommunikationsserver mit Mechanismen zur Unterstützung zuverlässiger Multicast-Kommunikation

3 Erweiterte Adaptionsschicht und Gruppenkommunikationsserver

In dieser Arbeit wird das neuartige Konzept einer flexiblen, erweiterten Adaptionsschicht (Extended Adaptation Layer, XAAL) vorgestellt, die durch das Vorhandensein verschiedener Fehlerkontrollmechanismen für eine Vielzahl unterschiedlicher Szenarien die effiziente Erbringung zuverlässiger Gruppenkommunikationsdienste ermöglicht. Bisherige Konzepte sehen beim Auftreten von Zellverlusten üblicherweise eine Übertragungswiederholung des ganzen Rahmens vor. In dieser Arbeit werden leistungsfähigere Protokollmechanismen für zuverlässige Gruppenkommunikation entwickelt. Im Mittelpunkt steht eine systematische Untersuchung der Fehlerbehandlung auf Basis von Zellen bzw. Rahmen, der Nutzung von Redundanz für Vorwärtsfehlerkorrektur (Forward Error Correction, FEC) sowie der Verarbeitung von Quittungen.

Während in bisherigen Untersuchungen eine Fehlerkontrolle in den Endsystemen im Mittelpunkt stand, präsentiert diese Arbeit das Konzept eines Gruppenkommunikationsservers, mit dem die Fehlerkontrolle auch innerhalb des Netzes durchgeführt werden kann (Abb. 1). Dadurch läßt sich die Netzauslastung verbessern, ein Leistungsengpaß bei der Protokollverarbeitung vermeiden und eine geringere Auslieferungsverzögerung im Fehlerfall gewährleisten. Mit Mechanismen zum Multiplexen von Rahmen verschiedener Sender stellt der Server auch für die Multipeer-Kommunikation eine gute Skalierbarkeit sicher.

4 Implementierung und Leistungsuntersuchung

Quittungsverwaltung. Die Untersuchung von Mechanismen zur Quittierung ergab, daß eine Quittungsverwaltung auf Basis verketteter Listen mit wachsender Gruppengröße einen potentiellen Leistungsengpaß darstellt, für geringe Zellverlustwahrscheinlichkeiten aber einen sehr geringen Speicheraufwand besitzt. Eine Implementierung der listenbasierten Quittungsverwaltung in Software zeigt, daß diese Lösung nur für wenige Empfänger und niedrige Fehlerwahrscheinlichkeiten geeignet ist. Mit dem Entwurf eines speziellen Hardware-Koprozessors wird nachgewiesen, daß sich dieser Engpaß deutlich verringern läßt [CSS94]. Der Einsatz einer zusätzlichen Hardwarekomponente für die Quittungsverarbeitung ist allerdings wegen des erhöhten Realisierungsaufwandes in vielen Fällen unerwünscht.

Unter Vermeidung des teilweise hohen Verarbeitungsaufwands listenbasierter Quittungsverwaltung wurden für unterschiedliche Einsatzbereiche zwei neue Protokollmechanismen entwickelt. Beide zeichnen sich durch die Verwendung von Binärfeldern für die Quittungsverarbeitung aus, was auch für große Gruppen zu einem geringen Verarbeitungsaufwand führt. Die entwickelten Protokollmechanismen lassen sich in die XAAL und den Gruppenkommunikationsserver einbetten. Sie können anforderungsgesteuert selektiert und parametrisiert werden, woraus sich die geforderte Flexibilität der Gruppenkommunikationsdienste für eine Vielzahl von Anwendungen ergibt.

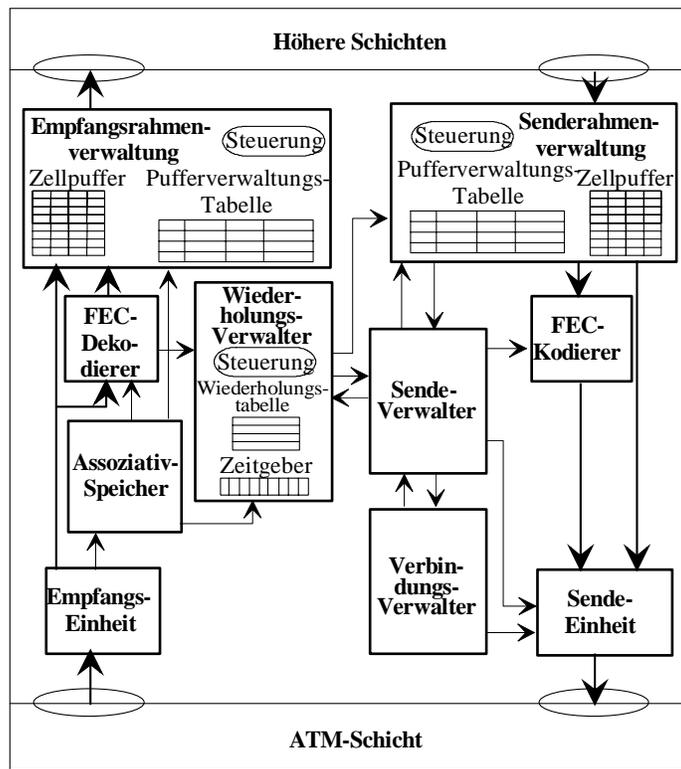


Abbildung 2. Funktionale Architektur der Adaptionsschicht für zuverlässige Multicast-Kommunikation RMC-AAL

Rahmenbasierte Übertragungswiederholung. Der erste Protokollmechanismus (Reliable Multicast Service Specific Convergence Sublayer, RMC-SSCS [Car94d]) läßt sich mit dem bereits standardisierten Protokollmechanismus zur Fehlererkennung des Adaptionsschichttyps AAL5 kombinieren. Er verwendet eine Übertragungswiederholung auf Rahmenbasis mit veränderlicher Rahmengröße. Damit kann für Mehrpunktverbindungen in Bereichen niedriger Zellverlustrate ein besonders geringer Bandbreitenzusatzaufwand erzielt werden.

Zellenbasierte Übertragungswiederholung und Vorwärtsfehlerkorrektur. Der zweite Protokollmechanismus (Reliable Multicast ATM Adaptation Layer, RMC-AAL [Car94c]) wurde für Bereiche höherer Zellverlustwahrscheinlichkeit sowie für Anwendungen, die besonders niedrige Verzögerungszeiten fordern, entworfen. Als erster Protokollmechanismus für die Adaptionsschicht ermöglicht er die gleichzeitige Verwendung von Übertragungswiederholung und Vorwärtsfehlerkorrektur. Das neuentwickelte FEC-Verfahren besitzt eine hohe Robustheit gegenüber bündelartigen Zellenverlusten. Es zeichnet sich außerdem durch einen geringen Verarbeitungsaufwand aus, so daß leistungsfähige Softwareimplementierungen möglich sind. Zur Erzielung einer besonders hohen Leistungsfähigkeit wurde für den FEC-Mechanismus ein spezieller Hardwarebaustein spezifiziert und mit Hilfe eines Hardwaresynthesewerkzeugs bis auf Gatterebene entworfen. Abb. 2 zeigt eine funktionale Architektur zur Implementierung von RMC-AAL.

Das FEC-Verfahren von RMC-AAL läßt sich mit einer rahmenbasierten Übertragungswiederholung kombinieren (ARQ rahmenbasiert mit FEC), was zu sehr geringen Verarbeitungskosten führt. Das FEC-Verfahren kann auch mit einem speziellen, zellenbasierten Übertragungswiederholungsverfahren (ARQ zellenbasiert mit FEC) kombiniert werden. Die dabei verwendeten Rahmenfragmente erlauben es erstmals, Zellenverluste auch für Verbindungen mit großer Pfadkapazität und stark schwankender Verbindungsqualität effizient zu beheben. Als dritten Operationsmodus erlaubt RMC-AAL, das zellenbasierte ARQ-Verfahren ohne FEC einzusetzen (ARQ zellenbasiert), womit sich der Bandbreitenzusatzaufwand von FEC vermeiden läßt. Für jeden dieser drei Betriebsmodi gibt es Einsatzbereiche, für die sich Vorteile bezüglich nutzbarer Bandbreite, mittlerer Verzögerung oder der Verarbeitungskosten erzielen lassen.

Leistungsbewertung. Extensive Analysen und Simulationen konnten für eine Vielzahl von Szenarien die hohe Leistungsfähigkeit der neuentwickelten Adaptionsschichttypen und des Gruppenkommunikations-

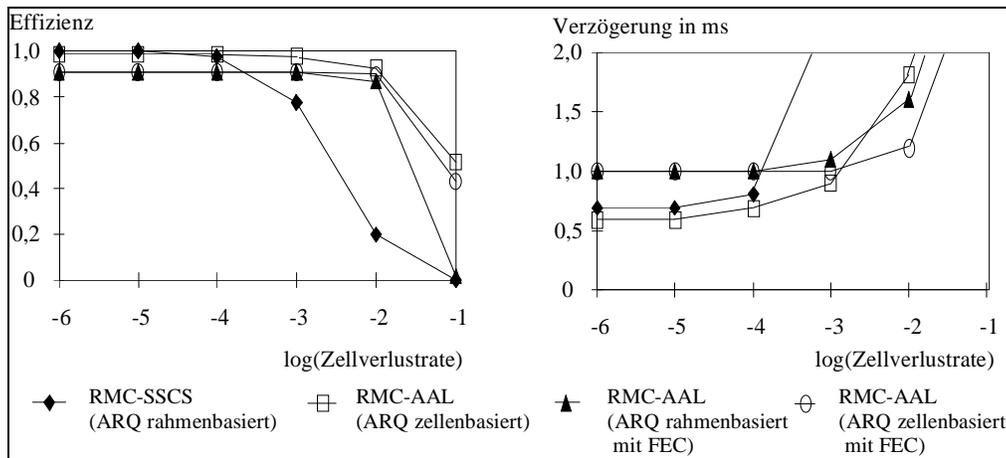


Abbildung 3. Simulationsergebnisse für Effizienz und mittlere Verzögerung

tionsserver voll belegen [CZ95]. Beim Einsatz von RMC-AAL kann gegenüber einem existierenden Vorschlag [Gol90], der zudem lediglich zuverlässige Punkt-zu-Punkt-Kommunikation unterstützt, der zusätzliche Bandbreitenbedarf von 8,3% auf 2,1% gesenkt werden. Außerdem wird simulativ gezeigt, daß beim Einsatz von RMC-AAL gegenüber einem rahmenbasierten Verfahren in einem Szenario mit 16 Empfängern eine Ausnutzung der Netzressourcen von mindestens 95% auch bei einer mehr als 30fach größeren Zellverlustwahrscheinlichkeit ($10^{2,7}$ anstatt von $10^{4,2}$) möglich ist. Zur Simulation wurden mit dem Simulationswerkzeug BONEs (Block Oriented Network Simulator) detaillierte Modelle des Servers und der Endsysteme erstellt, die neben der Leistungsuntersuchung auch eine Validierung des entworfenen Systems ermöglichten [Dre94]. Eine umfangreiche Leistungsbewertung der Kombinationen aus Vorwärtsfehlerkorrektur und Übertragungswiederholung erfolgte analytisch und simulativ, woraus Leistungsfunktionen für Durchsatz und Verzögerung ermittelt werden. Daraus werden Entscheidungskriterien für die Konfiguration der XAAL, für die optimale Dimensionierung der Rahmengröße und für den Umfang der Redundanz in Abhängigkeit von Empfängerzahl und Zellverlustwahrscheinlichkeit abgeleitet. Um auch den Realisierungsaufwand berücksichtigen zu können, wurden Kostenfunktionen für eine Implementierung von RMC-SSCS, RMC-AAL und des Gruppenkommunikationsservers mit Universalprozessoren und FEC-Hardwarebausteinen aufgestellt.

Abb. 3 zeigt Simulationsergebnisse für eine Gruppe mit 4 Empfängern und einer Entfernung von 100 km zwischen Sender und Empfängern sowie einer mittleren Datenrate von 100 Mbit/s. Die Simulationen ermöglichen einen Vergleich von RMC-SSCS und den drei Betriebsmodi von RMC-AAL bezüglich Effizienz (Verhältnis aus nutzbaren Zellen zur Gesamtzahl übertragener Zellen) und den mittleren Verzögerungszeiten. Für die Simulationen wurden eine Rahmengröße von 50 Zellen sowie zusätzliche 5 Redundanzzellen beim Einsatz von FEC verwendet. Die Simulationsergebnisse zeigen, daß für höhere Zellverlustwahrscheinlichkeiten eine zellenbasierte Übertragungswiederholung spürbare Vorteile gegenüber einer rahmenbasierten Übertragungswiederholung besitzt [Car95]. Die Simulationen zeigen ebenfalls, daß der Einsatz von FEC für einen weiten Bereich der Zellverlustwahrscheinlichkeit zu einer deutlichen Verringerung der Effizienz führt, jedoch Schwankungen der Auslieferungsverzögerung bis hin zu großen Zellverlustwahrscheinlichkeiten deutlich begrenzen können. Die Randbedingungen der Simulation führten beim Einsatz von FEC zu einer konstanten Grundverzögerung von 0,4 ms, was bei der vorliegenden Entfernung in ähnlicher Größenordnung wie die Übertragungsverzögerung liegt. Demgegenüber führen reine ARQ-Verfahren bei niedrigen Zellverlustraten und geringen Entfernungen zu einer geringeren mittleren Verzögerung. Mit wachsender Entfernung und wachsenden Zellverlustraten führt der Einsatz von FEC allerdings zu einer verringerten mittleren Verzögerung.

5 Zusammenfassung

Mit dem in dieser Arbeit entwickelten Gruppenkommunikationsserver und den neuen Protokollmechanismen für die Adaptionsschicht können zuverlässige Gruppenkommunikationsdienste in ATM-Netzen mit einer bisher nicht möglichen Dienstqualität und Effizienz erbracht werden. Die Ergebnisse für Leistungsfähigkeit und Implementierungsaufwand stellen umfassende Entscheidungskriterien für die Konfiguration und Dimensionierung der neuen ATM-Dienstkomponenten und für den Entwurf zukünftiger ATM-Gruppenkommunikationssysteme zur Verfügung.

Literatur

- [Car94a] Georg Carle. Adaptation Layer and Group Communication Server for Reliable Multipoint Services in ATM Networks. In *R. Steinmetz (Ed.): Advanced Teleservices and High Speed Communication Architectures; Lecture Notes in Computer Science 882, Springer-Verlag, S. 124-138*, Second International Workshop, IWACA '94, Heidelberg, September 1994.
- [Car94b] Georg Carle. Einsatz von Übertragungswiederholung und Vorwärtsfehlerkorrektur für zuverlässige Multicastkommunikation in ATM-Netzen. In *ITG Fachtagung Codierung für Quelle, Kanal und Übertragung*, München, Oktober 1994.
- [Car94c] Georg Carle. Error Control for Reliable Multipoint Communication in ATM Networks. In *Proceedings of Third International Conference on Computer Communications and Networks ICCCN'94, S. 33-37*, San Francisco, CA, U.S.A., September 1994.
- [Car94d] Georg Carle. Reliable Group Communication in ATM Networks. In *Proceedings of Twelfth Annual European Fibre Optics Communications and Networking Conference EFOCN'94, S. 30-34*, Heidelberg, Juni 1994.
- [Car95] Georg Carle. Provision of Reliable Multipoint Services in ATM Networks. In *Proceedings of International Conference on ATM Developments '95, Vol.2, S. 25-34*, Rennes, Frankreich, März 1995.
- [CSS94] Georg Carle, Jochen Schiller und Claudia Schmidt. Support for High-Performance Multipoint Multimedia Services. In *D. Hutchison, A. Danthine, H. Leopold, G. Colson (Eds.): Multimedia Transport and Teleservices; Lecture Notes in Computer Science 868, Springer-Verlag, S. 219 - 240*, International COST 237 Workshop, Wien, Österreich, November 1994.
- [CZ95] Georg Carle und Martina Zitterbart. ATM Adaptation Layer and Group Communication Servers for High-Performance Multipoint Services. In *Proceedings of 7th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, S. 98-106*, Marathon, Florida, U.S.A., März 1995.
- [Dre94] Stefan Dresler. Komponenten zur Unterstützung zuverlässiger Gruppenkommunikation in ATM-Netzen. In *Diplomarbeit, Institut für Telematik, Universität Karlsruhe*, Oktober 1994.
- [Gol90] Fred Goldstein. Compatibility of BLINKBLT with the ATM Adaptation Layer. In *Technical report, Digital Equipment Corporation, ANSI Technical Subcommittee T1S1.5 Working Group Contribution T1S1.5/90-009*, Februar 1990.