BREITBAND-NETZINFRASTRUKTUREN AUF DER BASIS VON METROPOLITAN AREA NETWORKS (MAN)

U. Gremmelmaier, P.J. Kühn

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung (IND) Universität Stuttgart, Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart

Kurzfassung

In dem vorliegenden Beitrag wird eine kurzgefaßte Einführung in die Breitband-Übermittlungstechnik gegeben, welche auf dem Prinzip des Zugriffs auf ein gemeinsames, hochratiges Übertragungsmedium beruht und eine Weiterentwicklung der bekannten LAN-Technik (LAN: Local Area Network) darstellt. Diese als Metropolitan Area Network (MAN) bezeichnete Technik bietet Übermittlungsbitraten von 34-140 Mbit/s, eine Netzausdehnung in den Bereich von 100 km und darüber sowie zwei prinzipielle Übermittlungsdienste: asynchrone Paketübermittlung sowie isochrone Datenübermittlung. Damit ist die MAN-Technik prädestiniert für Anwendungen wie die Interkonnektion von örtlich entfernten LANs oder Nebenstellenanlagen, als Backbonenetz zur Abwicklung höherratiger Dienste wie Videokommunikation, Multimedia oder schneller File-Transfers oder als Zugangsnetz für die sich derzeit noch entwickelnde Technik des Breitband-ISDN (B-ISDN). Gerade die bereits jetzt verfügbare Netztechnik, ihre weitgehende Kompatibilität zum zellbasierten B-ISDN und ihre Einrichtbarkeit auf verschiedenen übertragungstechnischen Systemen machen MAN's zu einem interessanten Träger für Breitband-Anwendungen. Öffentliche und private Netzbetreiber führen MAN's ein, um dem steigenden Bedarf an breitbandigen Diensten zu entsprechen; sie sind in den USA als SMDS (Switched Multi-Megabit Data Service), in Europa als CBDS (Connectionless Broadband Data Service) bekannt. Die Deutsche Telekom beginnt 1994, nach erfolgreichen Pilotversuchen, die Einführung eines entsprechenden Dienstes Datex M.

Der Beitrag ist in 5 Teile gegliedert: nach einem einleitenden Kapitel wird auf die MAN-Technik, MAN-Netzstrukturen und die Planung vernetzter MAN-Systeme ausführlicher eingegangen; die abschließende Zusammenfassung versucht eine wertende Stellungnahme zum Stand der Technik.

1. EINLEITUNG

1.1 Breitband-Anwendungen

Unter Breitband-Anwendungen werden alle Kommunikationsformen verstanden, die zu ihrer Abwicklung auf höherratige Übermittlungstechniken aufsetzen. Typische Breitband-Anwendungen sind:

• schneller File-Transfer zwischen Rechnern

• Übermittlung hochaufgelöster Festbilder

• Übermittlung von Bewegtbild-Szenen (Videokommunikation)

 Übermittlung von Audio-, Video- und Datensignalen (Multimedia-Kommunikation). Alle diese Anwendungen unterliegen Echtzeitbedingungen, d.h. es müssen kurzfristig Datenströme von mehreren Mbit/s mit geringer Verzögerung übermittelt werden. Der Bitratenbedarf gestaltet sich im allgemeinen darüberhinaus variabel; dies resultiert entweder aus der Natur der Anwendung, wie z.B. der büschelförmige Datentransfer aller Rechneranwendungen (Client-Server Anwendungen) oder aus der Quellcodierungstechnik, bei der durch moderne redundanzarme Codierverfahren im wesentlichen nur Änderungen übertragen werden.

1.2 Breitband-Dienste und -Netze

Anwendungen bauen auf möglichst standardisierte Dienste auf, welche von Kommunikationsnetzen angeboten werden. So bietet z.B. das Schmalband-ISDN Übermittlungsdienste an, über welche Wählverbindungen über durchschaltevermittelte 64 kbit/s-Kanäle zwischen Endeinrichtungen bereitgestellt werden.

In der Vergangenheit konnten Breitband-Dienste nur in eingeschränkter Form angeboten werden: schneller Paketdatentransfer über lokale Rechnernetze (LAN) und durchschaltevermittelte Kanäle für 2 bzw. 140 Mbit/s im Vorläufer-Breitbandnetz (VBN) der Deutschen Telekom. Beide Dienst- und Netzformen unterliegen entscheidenden Einschränkungen: Während die LAN-Technik im wesentlichen einen verbindungslosen paketvermittelten Datentransfer über kurze Entfernungen erlaubt, beschränkte sich die VBN-Weitverkehrstechnik auf die Bereitstellung von durchschaltevermittelten Kanälen fester Bitrate. Die Flexibilität hinsichtlich der Entfernung bzw. hinsichtlich variabler Bitraten war somit nicht durchgängig gegeben.

Diese Situation hat zu punktuellen Erweiterungen geführt, wie die höherratige Paketübermittlung über Weitverkehrsnetze (wie z.B. X.25 Paketvermittlung über 2 Mbit/s-Kanäle oder Frame Relay Datenübermittlung über festgeschaltete Verbindungen) oder Hochgeschwindigkeits-LANs (HSLAN, High Speed LAN), bei denen Paketübermittlung mit Raten von 100 Mbit/s bis einige Gbit/s ermöglicht wird. Diese Dienst- und Netzformen werden auch mittelfristig Bestand haben, da sie für ein eingeschränktes Anwendungsspektrum wirtschaftlich sind oder durch Netzkopplung mit neuen Netztechniken weiterverwendbar bleiben.

Die neuen Netztechniken sind allgemein gekennzeichnet durch die Integration möglichst aller Dienste und die Aufhebung der Ausdehnungsbeschränkung. Zwei Hauptvertreter haben sich in den letzten Jahren hierzu entwickelt: Metropolitan Area Networks (MAN) und das diensteintegrierende Breitbandnetz (B-ISDN). Zur weiteren Diskussion werden einige wesentliche Funktionsprinzipien der Kommunikationstechnik zusammengestellt. Die Darstellung der beiden Netztechniken erfolgt in Kapitel 2.

1.3 Funktionsprinzipien

Moderne Kommunikationssysteme bauen auf einer Reihe von Funktionsprinzipien und Merkmalen auf, die eine präzise Definition erlauben und ihrerseits selbst Gegenstand der internationalen Standardisierung sind.

Geschichtete Protokollarchitektur

Der logische Aufbau eines Netzes erfolgt nach Funktionsschichten, welche aufeinander aufbauen, jeweils einen bestimmten Satz von Funktionen ausführen und diese als sogenannte abstrakte Dienste der nächsthöheren Schicht bereitstellen. So ist die prinzipielle Architektur in 7

Schichten festgelegt: Bitübertragung, Datensicherung, Vermittlung, Transport, Kommunikationssteuerung, Datendarstellung und Verarbeitung. Für die Kommunikationsnetze spielen vorwiegend die unteren Schichten eine Rolle, welche im allgemeinen noch durch Teilschichten verfeinert werden. Die Funktionalität einer Schicht wird im allgemeinen durch ihre Protokolle spezifiziert.

Übertragungsmedien und -technik

Als Übertragungsmedien kommen je nach Netztyp in Betracht: Zweidrahtleitungen, Koaxialkabel, Lichtwellenleiter, Funkkanäle und Infrarotkanäle. Auf diesen Medien wird heute im allgemeinen eine digitale Übertragungstechnik eingesetzt mit unterschiedlichen Modulations- und Leitungscodiertechniken.

Multiplextechnik

Durch Multiplexen werden mehrere Kanäle oder Verbindungen über ein Übertragungsmedium geführt. Beim Kanalmultiplex wird die Bandbreite des Mediums in Einzelkanäle fester Bandbreite oder Bitrate unterteilt; je nach Prinzip werden Frequenz-, Zeit-, Wellenlängen- oder Codemultiplex unterschieden. Beim Nachrichtenmultiplex werden Nachrichtenblöcke (Pakete, Zellen) unterschiedlicher Kommunikationsbeziehungen im asynchronen Zeitmultiplex übertragen; es ist auch als statistisches Multiplexen bekannt.

Transfermode

Der Transfermode gibt die Art und Weise des Informationstransfers an. Beim synchronen Transfermode (STM) werden Kanäle fester Bitrate durch Reservierung von periodisch wiederkehrenden Zeitschlitzen innerhalb des Pulsrahmens benutzt. Der asynchrone Transfermode (ATM) beruht auf der Übermittlung von asynchron eintreffenden Blöcken (Pakete konstanter Länge, sog. Zellen), welche in freien Zeitschlitzen nach dem virtuellen Verbindungskonzept übermittelt werden.

Verbindungen

Die Kommunikation zwischen Partnern kann verbindungslos (connectionless, CL) in Form der Übermittlung von Einzelpaketen mit expliziter Zieladresse oder verbindungsorientiert (connection-oriented, CO) erfolgen. Die Verbindung stellt eine zeitweilige Kommunikationsbeziehung dar, der ein durchgeschalteter Kanal oder eine Kette von virtuellen Kanälen über eine Verbindungsaufbauprozedur zugeteilt ist. Bei virtuellen Verbindungen erfolgt der Informationstransfer mittels Paketen (oder Zellen), welche durch die Nummer des zugeteilten virtuellen Kanals (virtual channel identifier, VCI) identifiziert und über VCI-Tabellen vermittelt werden.

Vermittlung

Es werden zwei prinzipielle Vermittlungsarten unterschieden: Durchschaltevermittlung (circuit switching, CS) und Paketvermittlung (packet switching, PS). Bei CS wird einer Verbindung ein durchgeschalteter Kanal fester Bitrate bereitgestellt. Bei PS werden Pakete entweder verbindungslos einzeln übermittelt oder innerhalb einer virtuellen Verbindung übermittelt; die virtuelle Verbindung kann weitere Funktionen unterstützen (Reihenfolgesicherung, Datenflußsteuerung, Fehlererkennung und -behebung). Abwandlungen sind die Mehrkanal-

Durchschaltevermittlung, die schnelle Paketvermittlung (Fast PS) und die schnelle Durchschaltevermittlung (Fast CS). Bei der schnellen Paketvermittlung werden Zellen hardwareunterstützt auf besonders effektive Weise vermittelt.

Verkehrslenkung

Die Verkehrslenkung (Routing) bestimmt den Weg durch das Nachrichtennetz, entlang dessen die Verbindung geführt oder Einzelpakete übermittelt werden.

Netzstruktur

Die Netzstruktur beschreibt den topologischen Aufbau des Nachrichtennetzes aus Netzknoten (Vermittlungsstellen, Verzweigungseinrichtungen), Endstellen und Verbindungs- bzw. Anschlußleitungen. Netze können hierarchisch strukturiert sein. Zum Aufbau des Netzes werden elementare Strukturen wie Stern-, Maschen- oder Ringstrukturen angewandt.

Netzkopplung

Unter Netzkopplung wird das Zusammenwirken von Netzen unterschiedlicher Protokollarchitektur verstanden. Die Kopplung erfolgt über ausgezeichnete Punkte, die Netzkoppel-Einrichtungen (Netzkoppeleinheit, interworking unit, IWU); spezielle Formen von IWU's sind Repeater, Bridge, Router oder Gateways.

Verkehr

Der (Nachrichten-) Verkehr beschreibt die Inanspruchnahme der Netzressourcen (Kanäle, Vermittlungs- und Speichereinrichtungen) durch die Benutzer. Er wird durch Merkmale wie Verbindungsraten, Paket-/Zellraten, Verbindungsdauern, Paketlängen, Ursprungs-/Zielmatrix gekennzeichnet. Verkehrsgrößen sind im allgemeinen zufallsabhängig, wodurch zeitweilig Engpässe entstehen können.

Dienstgüte (-qualität)

Die Dienstqualität (Quality of Service, QOS) beschreibt die Güte, mit der ein Dienst bereitgestellt wird. Typische Maße sind die Zellverlustwahrscheinlichkeit, die Zelltransferzeit oder die Verfügbarkeit eines Dienstes. QOS-Maße sind die Vorgabewerte, an denen sich die Netzgestaltung und der Netzbetrieb orientieren.

Netzmanagement

Das Netzmanagement stellt die Funktionen bereit, welche zum geordneten Betrieb eines Netzes erforderlich sind. Die Hauptziele konzentrieren sich auf die Konfiguration, die Fehlererkennung und -behebung, die Überwachung der Leistungsfähigkeit, die Sicherheit und die Abrechnung der Netz-Dienstleistungen.

Zur Vertiefung der allgemeinen Gesichtspunkte zu Breitband-Anwendungen, -Diensten und -Netzen sei auf das Schrifttum verwiesen [1-3].

2. BREITBAND-NETZTECHNIKEN

2.1 Metropolitan Area Networks (MAN)

MAN's sind aus der Technik der LANs entstanden. Sie basieren auf folgenden Prinzipien:

- Nutzung eines gemeinsamen breitbandigen Übertragungsmediums
- · Netzausdehnung in der Größenordnung von bis zu einigen hundert Kilometern
- Lichtwellenleiter-Übertragungsmedium
- Bereitstellung von PS-Diensten und (isochronen) CS-Diensten
- Realisierung des PS-Dienstes durch Segmentierung von längeren Paketen in einheitliche Segmente und ein Medien-Vielfachzugriffsverfahren (Media Access Control (MAC)-Protokoll). Neben diesem CL-Paketdienst ist ein CO-Paketdienst für später vorgesehen.
- Realisierung des CS-Dienstes über eine Pulsrahmenstruktur und zentrale Reservierung von Zeitschlitzen für eine CS-Verbindung
- Einrichtung und Betrieb durch einen i.a. öffentlichen Netzbetreiber sowie Ankoppelung der Zugangsnetze über spezielle Knoten, welche die Beobachtbarkeit des Gesamtverkehrs durch Benutzer ausschließen.

Die erste Generation von MAN's hat nur eingeschränkte Leistungsmerkmale (PS-Dienste, geringe Übermittlungsraten). Es wurden verschiedene Vorschläge zur Standardisierung eingebracht. Im Standard IEEE 802.6 [4] wurde das Verfahren DQDB (Distributed Queue, Dual Bus) akzeptiert, welches durch eine Weiterentwicklung aus dem urspringlichen Vorschlag QPSX der Australian Telecom hervorgegangen ist. Dieser Netztyp soll als wesentlichster stellvertretend näher beschrieben werden. Zu Details wird auf das Schrifttum [4] verwiesen.

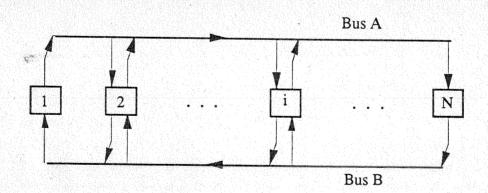


Bild 1 Struktur des DQDB-MAN

N Stationen sind an jeweils zwei gerichtet betriebene Bussysteme lesend und schreibend angeschlossen. Die beiden Stationen 1 und N bilden Kopfstationen; sie erzeugen eine Pulsrahmen- und Zeitschlitzstruktur auf Bus A bzw. Bus B. Die linear angeordnete Struktur wird im allgemeinen als Ring ausgeführt mit physisch vereinigten Stationen 1 und N; prinzipiell

kann jede Station durch Umkonfigurierung zur Kopfstation umfunktioniert werden im Fehlerfalle.

DQDB erlaubt CS- und PS-Dienste. Für CS-Verbindungen wird die der angeforderten Bitrate entsprechende Anzahl von Zeitschlitzen reserviert; die sendende Station fügt in diese Zeitschlitze auf Bus A bzw. Bus B je nach Lage der Zielstation ihre Daten ein. Auf diese Weise entsteht ein verlustfreier, isochroner Dienst mit garantierter Bitrate und Transferzeit.

Für PS-Dienste existieren drei Prioritätsklassen. In jeder Klasse erfolgt die Übermittlung von Segmenten verbindungslos nach dem DQ-Protokoll mittels freier Zeitschlitze auf Bus A bzw. Bus B, je nach Lage der Zielstation. Das Prinzip des MAC-Protokolles beruht auf dem Aufbau einer verteilten Warteschlange jeweils für Bus A und Bus B in jeder der N Stationen durch Reservierungs-Anforderungen, welche über den jeweils anderen Bus an alle "stromaufwärts" gelegenen Stationen gesendet werden. Auf diese Weise entsteht im idealen Falle eine globale FIFO-Warteschlange, die den Zugriff auf freie Zeitschlitze konfliktfrei regelt. Realisiert wird das DQMAC-Protokoll durch jeweils zwei Zähler in jeder Station pro Bus (und pro Prioritätsklasse): ein Request und ein Countdown Counter. Durch eine Reservierungsanforderung wird jeweils der Request Counter inkrementiert und durch das Passieren eines freien Zeitschlitzes dekrementiert; der aktuelle Inhalt des Request Counters zeigt die momentane Anzahl von Sendewünschen der "stromabwärts" gelegenen Stationen an. Wünscht eine Station das Senderecht, so erzeugt sie eine Reservierungs-Anforderung und lädt den aktuellen Inhalt des Request Counters in den Countdown Counter; letzterer wird mit jedem freien Zeitschlitz dekrementiert. Ist der Countdown Counter bei Null, kann die Station den nächsten freien Zeitschlitz benutzen. Währenddessen wird der Request Counter durch neue Anforderungen wieder von Null an inkrementiert.

Das geschilderte DQMAC-Protokoll kann bei sehr lang ausgedehnten Bussystemen zu Unfairness und schlechter Ausnutzung führen. Abhilfe kann durch einen sog. Bandwidth-Balancing-Mechanismus bzw. durch Einfügen von sogenannten Erasure Nodes geschaffen werden, durch die der Vorteil der am Busanfang gelegenen Stationen reduziert wird bzw. benutzte Zeitschlitze, deren Inhalt bereits gelesen wurde, wiederverwendbar gemacht werden.

2.2 Breitband-ISDN (B-ISDN)

Das B-ISDN [1], [2], [5] entsteht durch Weiterentwicklung von Prinzipien des Schmalband-ISDN. Zur flexiblen Bandbreitennutzung mußte allerdings das STM-Prinzip aufgegeben werden zugunsten des ATM. B-ISDN kann durch folgende Prinzipien kurz charakterisiert werden:

- Vernetzte Struktur aus ATM-Vermittlungsstellen (Netzknoten) und Verbindungsleitungen im Kernnetz
- Netzzugang zu den Netzknoten entweder sternförmig über Einzelleitungen oder über LAN/MAN-Zugangsnetze
- Verbindungsorientierte Kommunikation mittels virtueller Verbindungen und kleinen Paketen konstanter Länge (Zelle, 53 Oktetts) nach dem asynchronen Transfermodus (ATM)
- Schnelle Paketvermittlung, realisiert in Form hochgradig paralleler Koppelnetze für ATM-Zellen

- Verbindungsmanagement mittels eines erweiterten Zentralkanal-Signalisierverfahrens, welches sich ebenfalls auf die Transportfunktionen des ATM-Netzes abstützt
- Wahlweiser Aufbau des ATM-Netzes auf dem Übertragungsnetz der Synchronen Digitalen Hierarchie (SDH) oder über andere digitale Übertragungskanäle
- Bereitstellung sog. virtueller Pfadverbindungen, welche als temporäre Festverbindungen über das Netzmanagement eingerichtet werden und mehrere virtuelle Verbindungen enthalten können
- Aufbau einer flexibel änderbaren Netzstruktur mittels schaltbaren Übertragungsnetzknoten (Crossconnects)
- Anpassung aller Benutzer sowie der Signalisierungs-Informationsströme an ATM mittels der ATM-Adaptionsschicht (ATM Adaptation Layer, AAL). Es werden 5 Klassen von AAL bereitgestellt für stromförmige, verbindungsorientierte Daten (AAL 1), verbindungsorientierte Daten variabler Bitrate (AAL 2), verbindungsorientierte Paketdaten (AAL 3, 5) und verbindungslose Paketdaten (AAL 4).

Zur Vertiefung sei auf das Schrifttum [1,2,3,5] verwiesen.

Im Vergleich zur MAN-Technik bietet B-ISDN direkt weder einen verbindungslosen Paketdienst noch einen isochronen (CS-) Dienst an. Verbindungslose Paketübermittlung kann jedoch entweder direkt über sog. Connectionless Servers oder indirekt mittels jeweils aufzubauender oder permanent eingerichteter virtueller Verbindungen/Pfade ermöglicht werden. Für konstant-bitratige Dienste muß über AAL 1-Funktionen die schwankende Netztransferzeit einzelner Zellen kompensiert und eine Ende-zu-Ende Synchronisation herbeigeführt werden.

Darüberhinaus sind ATM-basierte Netze durch weitere Verkehrsssteuerungsfunktionen ausgezeichnet wie verbindungsindividuelle Quellflußkontrolle entsprechend den beim Verbindungsaufbau definierten Verkehrsdeskriptoren (z.B. mittlere und Spitzen-Bitrate), Verbindungsannahme, Zellverlustkontrolle sowie Kontrolle der Zellverzögerungsschwankungen. Diese Funktionen erst ermöglichen einen geordneten Betrieb von großen Weitverkehrsnetzen; sie sind bei der Kopplung mit MAN's in den IWUs zu berücksichtigen.

Für viele Anwendungsfälle eignen sich beide Techniken gleichermaßen. Langfristig wird voraussichtlich das B-ISDN dominieren; die MAN-Technik hat ihre Einsatzberechtigung einmal aus ihrem zeitlichen und kostenmäßigen Vorsprung zur ATM-Technik sowie zur Abdeckung bestimmter Aufgabenbereiche wie Netzzugang oder LAN-LAN-Kopplung. Obwohl die Technik des B-ISDN zunächst unter dem Gesichtspunkt von Weitverkehrsnetzen gesehen und durch die internationale Standardisierung im CCITT wesentlich vorangetrieben wurde, deuten die aktuellen Entwicklungen auf einen wesentlich schnelleren Einsatzbereich der ATM-Technik im privaten Bereich; typisches Einsatzfeld hier ist ebenfalls die LAN-LAN-Kopplung über ATM-Vermittlungen oder die Entwicklung von LAN-Techniken, welche gänzlich auf ATM beruhen. Die internationale Standardisierung hierfür wird seit etwa 3 Jahren im ATM-Forum vorangetrieben. Die ersten Produkte sind bereits auf dem Markt. Die Angleichung der Funktionsmerkmale der MAN-Technik an die ATM-Technik, wie sie sich z.B. in der Festlegung der Segmentgröße (=Zellgröße) und in der Offenhaltung einer CO-Option widerspiegelt, deutet vielmehr auf eine Migration beider Techniken hin.

3. MAN-NETZSTRUKTUREN

Im folgenden werden verschiedene MAN-Netzstrukturen und die zugehörigen Netzelemente beschrieben, wie sie zur LAN-LAN-Kopplung eingesetzt werden. Die unterschiedlichen Varianten sind im wesentlichen auf Netzinfrastrukturen im Bereich öffentlicher Netzbetreiber beschränkt. Die beschriebene MAN-Architektur geht auf die Firmen Alcatel SEL und Siemens [6,7] zurück; allerdings gibt es Vorschläge zur Realisierung von SMDS [8] und CBDS [9], die eine ähnliche Architektur aufweisen.

3.1 MAN-Subnetz als Backbone

Die prinzipielle Architektur zur LAN-LAN-Kopplung zeigt Bild 2. LANs werden über sog. Customer Gateways (CGWs) an ein Customer Access Network (CAN) angeschlossen. Das CAN arbeitet ebenfalls nach dem DQDB-Protokoll. Mögliche Topologien sind hier Stern, Bus oder Ring. Über ein Edge Gateway (EGW) erhält das CAN Zugang zu einem MAN-Subnetz. Im einfachsten Fall (Bild 2) ist ein Backbone als Verbindungsnetz ausreichend, der in der Regel ringförmig die EGWs verbindet ("looped-bus"-Konfiguration). Damit kann beim einmaligen Fehlerfall eine Rekonfiguration des MAN-Subnetzes erfolgen, die den Netzbetrieb weiter aufrecht erhält. CGW's und EGW's besitzen neben der Medienzugriffsfunktion auch höhere Protokollfunktionen, die im wesentlichen dem Abrechnungsmanagement, der Verkehrslenkung und der Adreß-Validierung ("Address Screening") dienen. Für private Netze können CGW und EGW auch zu einer Funktionseinheit zusammengefaßt werden.

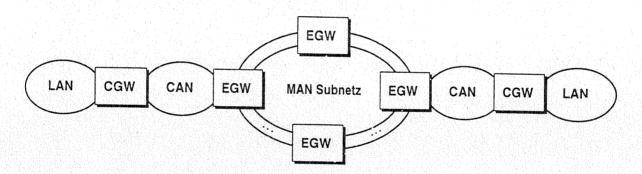


Bild 2 MAN-Subnetz als Backbone

3.2 Hierarchische MAN-Strukturen

Um einer größeren Zahl von Teilnehmern den Zugang zum MAN zu ermöglichen und, damit verknüpft, ausgedehnte geographische Gebiete zu verbinden, können mehrere MAN-Subnetze zu einem sog. MAN Switching System (MSS) zusammengefaßt werden. Bild 3 zeigt schematisch die hierarchische Aufteilung der MAN-Subnetze, die aber auch Querwege zuläßt. Zur Verknüpfung der Subnetze können Bridges oder Router eingesetzt werden. Die Entscheidung, welche Netzkopplungsart die günstigere ist, hängt vor allem von der Anzahl der Subnetze und vom verwendeten Adressierungsschema ab. Für größere Netze ist meist die Kopplung über Router günstiger, weil dann in einem großen Netzverbund, z.B. bei Corporate Networks, ein globales Adressierungsschema verwendet werden kann. Damit kann auch die administrative Aufteilung das Netzverbundes einfach und sicher vorgenommen werden. Darüberhinaus können auch mehrere MSS über Router gekoppelt werden. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß das Verkehrslenkungsverfahren eine möglichst wirtschaftliche Ausnutzung der Ressourcen ermöglichen sollte. Damit scheiden beispielsweise Verfahren nach IEEE 802.1 D (Spanning Tree Algorithmus) aus [10].

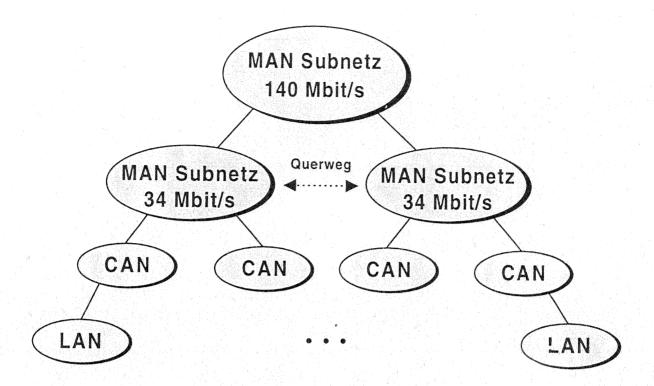


Bild 3 Hierarchisches MAN Switching System (MSS)

3.3 MAN/LAN-Kopplung über B-ISDN

Eine weitere Netzstruktur ergibt sich aus der Kopplung von MAN(LAN)-Netzen über virtuelle Verbindungen bzw. virtuelle Pfadverbindungen des B-ISDN. Die grundsätzliche Anordnung ist in Bild 4 dargestellt.

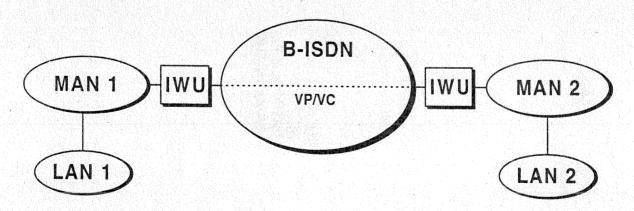


Bild 4 MAN/LAN-Kopplung über B-ISDN

Diese Variante ist unter dem Gesichtspunkt von Interesse, daß festgeschaltete, virtuelle Pfadverbindungen in dem sich im Aufbau befindlichen B-ISDN zuerst verfügbar sein werden. Zur Netzkopplung sind spezielle IWU's erforderlich, denen die Anpassungsaufgaben der unterschiedlichen Protokolle zufallen. Durch die Vereinheitlichung des Segmentbzw. Zellformats werden diese Anpassungsaufgaben und die damit verbundenen Speicherfunktionen

wesentlich vereinfacht. Generell können auf diese Weise viele MAN's über virtuelle Pfade bzw. Verbindungen gekoppelt werden, die aus der Sicht der privaten LAN-Anwender wie ein großes Privatnetz aussehen (Virtual Private Network), auf dessen Basis Corporate Networks aufgebaut werden können. Diese Variante steht in Konkurrenz zu den vernetzten MAN-Systemen (Abschnitt 3.2).

Zur Kopplung von MAN und B-ISDN wurden speziell verschiedene Architekturen und Verkehrskontrollverfahren entwickelt und untersucht [11].

4. PLANUNG VERNETZTER MAN-SYSTEME

4.1 Problemstellung

Die flächendeckende Einführung von Netzinfrastrukturen auf der Basis von MAN's, wie sie z.B. die TELEKOM mit dem Dienst Datex M vorsieht, erfordert die systematische Anwendung rechnergestützter Planungsverfahren. Ziel solcher Planungsverfahren ist der Entwurf einer kostengünstigen Netzstruktur (Topologie), die die Verkehrsanforderungen der Teilnehmer unter Einhaltung von Randbedingungen erfüllt. Dazu zählen

- Dienstgüteparameter, z.B. die zulässige Ende-zu-Ende-Verzögerungszeit zwischen Teilnehmern,
- die Kapazität (maximale Auslastung) der MAN-Subnetze,
- die Eigenschaften von MAN-Netzelementen, wie beispielsweise der maximale Router-Durchsatz,
- Infrastrukturaspekte, etwa die vorhandenen Übertragungseinrichtungen (Verkabelung), die zu nutzen sind, und die geographische Lage von Vermittlungsstellen in Bezug auf den Teilnehmeranschluß,
- das Adressierungsschema und das Verkehrslenkungsverfahren,
- die exklusive Gruppierung bestimmter Teilnehmer an ein CAN aus Gründen der Sicherheit ("Closed User Groups").

Diese allgemeinen Randbedingungen können durch implementierungsspezifische Design-Regeln ergänzt werden.

4.2 Modellierung

Das Entwurfsproblem muß in geeigneter Weise modelliert werden. Dabei spielt neben der Berücksichtigung der Randbedingungen vor allem das Kostenmodell und das Verkehrsmodell eine wichtige Rolle. Das Verkehrsmodell beschreibt die Verkehrsanforderungen der Teilnehmer üblicherweise mit einer Verkehrsmatrix, die je nach Planungshorizont das Datenvolumen zu einer bestimmten Tageszeit repräsentiert. CS- und PS-Verkehr können unterschiedlich berücksichtigt werden: CS-Verkehr beansprucht immer einen festen Anteil an der Gesamtbandbreite (semipermanente Verbindungen); PS-Verkehr wird meist durch den Mittelwert der Paketrate und die Paketlängenverteilung gekennzeichnet. Auch die büschelförmige Charakteristik des PS-Verkehrs kann gegebenenfalls in das Modell einfließen. Wichtigen Einfluß auf die Netzstruktur hat das Kostenmodell. Zum einen umfaßt dieses die Anschaffungs- und Installationskosten für Netzelemente und Übertragungseinrichtungen, zum

anderen die zeitabhängigen Mietkosten von Übertragungsleitungen, also die Tarife für digitale Festverbindungen. Diese können i. d. Regel durch eine abschnittsweise lineare Funktion in Abhängigkeit von der Entfernung und der Leitungskapazität dargestellt werden.

4.3 Planungsverfahren

Die Planung und der Entwurf eines MAN Switching Systems stellen ein komplexes Optimierungsproblem dar. Sinnvoll ist daher zunächst eine Aufteilung in Planungsschritte, die sich an den unterschiedlichen Hierarchieebenen des MSS orientiert. Folgende Planungsschritte können unterschieden werden:

- 1) Zuweisung der LAN's an CGW's.
- Entwurf des CAN und Zuweisung an ein EGW. Dabei muß sowohl die Kapazität des CAN als auch der maximal zulässige Durchsatz des EGW berücksichtigt werden.
- Zusammenfassung von EGW's zu MAN-Subnetzen der untersten Hierarchiestufe und optimale Anordnung der EGW's im MAN-Subnetz.
- 4) Vernetzung der MAN-Subnetze unter Berücksichtigung weiterer Hierarchiestufen, d.h. Einfügen eines oder mehrerer Backbone-Netze.

Die ersten beiden Planungsschritte unterliegen sehr häufig administrativen und ökonomischen Einschränkungen und können daher nicht in allgemeiner Form bearbeitet werden. So ist z.B. die Frage, ob die LAN's eines Teilnehmers an verschiedene CGW's, an ein CGW oder direkt (über eine geeignete Funktionseinheit) an das MAN-Subnetz angeschlossen werden sollen, nur im jeweiligen Anwendungsfall zu beantworten.

Die Planungsschritte 3 und 4 können sowohl getrennt als auch durch ein iteratives Verfahren gemeinsam ausgeführt werden. Das Verfahren soll dabei möglichst niedrige Gesamtkosten bei einer günstigen Aufteilung der Verkehrsflüsse im MSS erzielen, wobei die oben genannten Randbedingungen einzuhalten sind. Ein besonderes Problem stellt das Einfügen eines oder mehrerer Backbone-Netze dar, also MAN-Subnetze mit einer höheren Bitübertragungsrate, die den Verkehr geeignet bündeln und damit andere MAN-Subnetze entlasten können. Das wiederholte Ausprobieren von unterschiedlichen Konfigurationen mit oder ohne Backbone-Netze führt zu keiner vernünftigen Lösung, da hier eine fast unbegrenzte Kombinationsvielfalt besteht. Bereits die günstigste Anordnung der EGW's zu einem Bussystem ist ein komplexes Optimierungsproblem. Die Vorgabe günstiger Topologien kann das Verfahren dagegen entscheidend verbessern. Die Auswahl geeigneter Netzelemente, also z.B. eines Routers einer bestimmten Durchsatzklasse und mit bestimmtem Transferzeitverhalten, wird meist vom Planer getroffen und nicht in einem rechnergestützten Selektionsverfahren ermittelt.

Das oben skizzierte Entwurfsverfahren wird in Zusammenarbeit mit der Firma Alcatel SEL vom Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung (IND) entwickelt. Weitere Forschungsarbeiten des IND konzentrieren sich auf die Untersuchung und Entwicklung fortgeschrittener Optimierungsverfahren für LAN's und MAN's.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag wurde eine kurzgefaßte Darstellung der Breitband-Netzinfrastrukturen gegeben, welche vorwiegend auf der Technik der MAN'sberuhen oder in Verbindung mit dem sich entwickelnden B-ISDN auftreten. Obwohl beide Entwicklungen aus gänzlich unterschiedlichen Ansätzen (nämlich der LAN-Technik bzw. dem Schmalband-ISDN) heraus entstanden sind, sind beide Techniken für den Aufbau flächendeckender diensteintegrierender Breitbandnetze prinzipiell geeignet. Eine Angleichung von Elementen (Informationseinheiten, Verbindungskonzepte) und Dienstspezifikationen weisen vielmehr auf eine Migration beider Techniken hin.

Aus der Sicht der Anwender sind jedoch zeitliche, kosten- und produktbedingte Unterschiede festzustellen. Insbesondere zur Deckung des bestehenden Bedarfs an Breitband-Datenkommunikation hat die MAN-Technik zwischenzeitlich Vorteile, obwohl die reiferen Konzepte Ende der 90er Jahre auf dem B-ISDN aufbauen werden. Deshalb scheint eine Planung, in der die Vorteile beider Netztechniken zusammengefaßt werden, sehr aussichtsreich.

Für reine MAN-Netzinfrastrukturen wurde ein Planungsinstrument entwickelt, welches aufgrund von vorgegebener Lage und vorgegebenem Verkehr auf kostenoptimale Netzstrukturen führt. Dieses Verfahren ist geeignet zur Planung von hierarchisch und nichthierarchisch strukturierten MAN-Netzen, wie sie z.B. bei der DBP Telekom (Datex M) oder bei der Planung größerer privater Netze auftreten. Für die Netzkopplung zwischen MAN und B-ISDN wurden geeignete Protokolle und Verkehrssteuerungsverfahren entwickelt und untersucht.

SCHRIFTUM

- [1] R. Händel, M.N. Huber: Integrated Broadband Networks. An Introduction to ATM-Based Networks. Addison-Wesley Publ. Limited, 1991.
- [2] M. de Prycker: Asynchronous Transfer Mode. Solution for Broadband ISDN. Ellis Horwood, New York, 1991.
- [3] P.J. Kühn: Future Networking.
 Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation (PIK), 15. Jahrgang,
 H. 1 (1992), S.3-10.
- [4] IEEE 802.6: Distributed Queue Dual Bus (DQDB)
 Subnetwork of a Metropolitan Area Network (MAN).
 ANSI / IEEE Standard 802.6, July 1991.
- [5] CCITT Recommendations
 - I.121: Broadband Aspects of ISDN.
 - I.211: B-ISDN Service Aspects.
 - I.321: B-ISDN Protocol Reference Model and its Application.
 - I.327: B-ISDN Functional Architecture.
 - I.364: Support of Broadband Connectionless Data Service on B-ISDN.
 - I.371: Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN.
 - Geneva, 1989-1992.

- [6] Alcatel 1190: Metropolitan Area Network, Systemübersicht, Alcatel SEL
- [7] A. Gerges et al.: A MAN System based on the DQDB Protocol Proceedings EFOC / LAN '91, London, UK, June 19-21, 1991, S. 367-373.
- [8] Bellcore TR-TSY-000772: Generic System Requirements in Support of Switched Multimegabit Data Service. Issue 1, May 1991.
- [9] ETSI: European Telecommunication Standard 300217: Connectionless Broadband Data Service (CBDS), Nov. 1991.
- [10] IEEE: Local Area Networks: MAC Bridges ANSI / IEEE 802.1D, 1990.
- [11] W. Schödl: Kopplung von DQDB-Regionalnetzen mit ATM-Weitverkehrsnetzen: Architektur, Steuerungsstrategien und Leistungsverhalten.
 Dissertation Universität Stuttgart. 58. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten, IND, Universität Stuttgart, 1994.