

Digitale Netze für den AV-Medienbereich

Netzstrukturen und Hierarchien

Das PCM Grundsystem

Die Digitalisierung der Telefonnetze beginnt mit der Entwicklung der PCM, der Pulsmodulation, einem Verfahren zur digitalen Übertragung von Sprache. Ein digitalisierter Fernsprechkanal mit 4 kHz Abtastfrequenz und 8 bit Codierung erzeugt einen Datenstrom, der die Grundeinheit der Systemwerte für alle darauf aufbauenden digitalen Netze des ISDN und im Telecombereich darstellt:

Datenstrom-Grundwert: $2 \times 4 \times 8 = 64 \text{ kbit/s}$ (B — Kanal, Basiskanal)

(Faktor 2, da der Basiskanal 2 Fernsprechkäle enthält). Im Grundsystem werden 30 Telefonkanäle und 2 Steuerkanäle im Zeitmultiplex zusammengefasst (PCM 30/32); das ergibt in der ersten Konzentrationsstufe einen Datenstrom von

$64 \text{ kbit/s} \times 32 \text{ Kanäle} = 2,048 \text{ Mbit/s}$ (PRA — Primary Rate Access).

Alle höheren Konzentrationsstufen verwenden einen einheitlichen Zeitmultiplexfaktor von 4; d. h., darauf bauen die weiteren Hierarchiestufen des PDH-Netzes auf.

Zahlenwerte zur Stufenbildung der PCM-Hierarchien:

Stufe	Datenstrom	Anzahl der Nutz- und Dienstkanäle
I	2,048 Mbit/s	$30 \times 64 = 1920 + 2 \times 64$ [kbit/s]
II	8,448 Mbit/s	$120 \times 64 = 7680 + 12 \times 64$ [kbit/s]
III	34,368 Mbit/s	$480 \times 64 = 30720 + 57 \times 64$ [kbit/s]
IV	139,264 Mbit/s	$1920 \times 64 = 122\,880 + 256 \times 64$ [kbit/s]
V	564,922 Mbit/s	$7680 \times 64 = 491\,520 + 146 \times 64$ [kbit/s]

PDH — Plesiochrone Digitale Hierarchie

Dies ist die älteste Form eines digitalen Netzes mit den festen Hierarchiestufen des Zeitmultiplex. PDH wird seit 1972 für die digitale Telefontechnik eingesetzt und bezeichnet die Art, in der die verschiedenen Anteile der PCM zu Gruppen höherer Datenraten in Hierarchien zusammengefasst sind. Die höheren Hierarchiestufen unterscheiden sich durch den Faktor 4 im Datenstrom. Die Teildatenströme müssen nicht streng synchron zueinander sein (plesiochron = fast oder beinahe synchron), die einzelnen Datenströme sind unabhängig getaktet (selbsttaktend), und es werden Ausgleichs- oder Stopfbits zur Taktanpassung eingefügt. Es ist Echzeitbetrieb möglich, und die höheren Stufen erkennen Übertragungsfehler.

PDH wurde, für Punkt-zu-Punkt Verbindungen mit festen Datenraten von 155,55 Mbit/s innerhalb der Netze entwickelt. Die Datenraten der Hierarchiestufen sind gleichzeitig die möglichen Zugangsdatenraten für den Nutzer, abweichende Datenraten werden mit Stopfbits an die starren Werte angepasst und führen zu Verschnitt. Einzelne

Teildatenströme aus niedrigen Hierarchiestufen sind in den höheren Stufen nicht direkt zugänglich, der Multiplex muss zerlegt werden, was einen hohen Geräteaufwand erfordert. Damit entspricht PDH nicht den vielfältigen Möglichkeiten, die für ISDN und die zukünftige Multimedia-Kommunikation vonnöten sind.

Die PDH—Multiplexstufen beruhen auf Vielfachen von 64 kbit/s. In Europa sind die Zugänge über die Schnittstellen E1 und E3 üblich:

E1 = 2,048 Mbit/s und E3 = 34,368 Mbit/s.

In USA und Kanada beruhen die Zahlenwerte für die Schnittstellen zwar auch auf Vielfachen von 64 kbit/s, es werden aber andere Faktoren bei der Bildung der höheren Hierarchiestufen verwendet:

T1 = 1,544 Mbit/s und T3 = 44,736 Mbit/s.

Japan verwendet wieder andere Faktoren zwischen den Hierarchiestufen.

Internet

Daten werden über das öffentliche Telekomzugangsnetz, wie ISDN oder per analoge Telefonleitung übertragen. Erweitert wurde das digitale Netz mit der Einführung von DSL (Digital Subscriber Line). DSL-Netze gibt es in abgewandelter Form z.B. als VDSL mit einer Datenrate von 13 bis 52 Mbit/s, SDSL mit 52 Mbit/s für Up- und Downstreamrate und das ADSL (Asymmetrical Subscriber Line)-Netz mit Frequenzen unterhalb von 4 KHz. Bei ADSL wird für die Datenübertragung das Discrete Multitone-verfahren (DMT) verwendet, mit einer DMT-Bandbreite von 1MHz. Die Downstreamrate-Datenrate beträgt bis zu 8Mbit/s und die Upstream-Datenrate bis 1Mbit/s.

SDH — Synchroner Digitale Hierarchie

SDH ist die Weiterentwicklung von PDH. SDH wurde seit 1988 abschnittsweise eingeführt und verbessert die netzinternen Multiplexverfahren durch eine neue Organisation der Teildatenströme und eine Synchronisation. Die Standardbitrate für den Netzzugang ist 155,52 Mbit/s, sie wird bezeichnet mit:

STM-1 = Serieller Transfer Mode (Synchroner Transport-Modul)

Der SDH-Datenstrom ist in Standardcontainer unterschiedlicher Größe aufteilbar, dabei sind aber die ursprünglichen Bitraten der PDH als Untermenge vorgesehen. Die Datenströme der Hierarchiestufen in SDH unterscheiden sich ebenfalls um den Faktor 4. Die derzeit größte Stufe ist STM-64 mit ca. 10 Gbit/s. SDH soll langfristig und weltweit PDH ersetzen.

Die Standardcontainer enthalten Zusatzinformationen zum Erkennen des Multiplexrahmens und zur Überwachung der Qualität des Netzabschnitts sowie Informationen über die Abwicklung der Übertragung. In SDH werden in regelmäßigen Abständen Korrekturinformationen zur Synchronisation der Empfängeroszillatoren übertragen (Pointer). Asynchrone Signale werden durch Stopftechnik an die Container angepasst.

Anders als bei PDH ist ein *selektiver* Zugriff auf einzelne Untermengen des Datenstroms in den Containern *ohne* Demultiplexen möglich. Dies erlaubt eine vielseitigere Verteiltechnik, „ADD and DROP“ ist möglich. SDH bringt deshalb einige Verbesserungen gegenüber PDH im Blick auf ISDN, ist aber aufgrund der festen Containerstruktur mit den vorgegebenen Datenraten der Untermengen immer noch zu starr bezüglich einer flexiblen Aufteilung des Datenstroms.

In SDH gibt es noch keine variable Kapazität oder irgendwelche Vorrangschaltungen zwischen Echtzeitbetrieb und Datenströmen niederer Priorität im Sinne einer kostensparenden Aufteilung eines Datencontainers zwischen unterschiedlichen Diensten.

SDH wird im Zuspieldnetz der ARD eingesetzt. Hat aber als universelles Netz kaum Chancen, weil es keine Variante für lokale Netzwerke gibt, wie auch die Datenraten schlecht zu den videotypischen Datenraten passen und der synchrone Übertragungsablauf bei Weiterverkehrsverbindungen Probleme bereiten kann. Das Zuspieldnetz der ARD ist ein sich geschlossenes Netzwerk, mit dem alle öffentlich rechtlichen Rundfunkanstalten vernetzt sind.

ATM — Asynchronous Transfer Mode

Seit 1990 wird an Pilotprojekten zur Steigerung der Effizienz der Datenübertragung in den digitalen Netzen gearbeitet. In SDH sind die Container sehr häufig nur teilweise genutzt, da oft einzelne kleine Bitströme zu angebrochenen Containern mit hoher Restkapazität führen, die dann mit Ballast (Stopfbits) gefüllt werden müssen.

Ziel für ATM ist die bessere Nutzung der großen Container durch Einbringen kleiner, paketierter Informationseinheiten, den Zellen. Sie sind unabhängig voneinander und können deshalb unterschiedliche Datenströme transportieren. ATMZellen bestehen aus 48 Informationsbytes und 5 Bytes Zellkopf. Der Zellkopf enthält genügend Informationen, die eine sehr schnelle Übertragung und Vermittlung der Zellen im Netz erlauben.

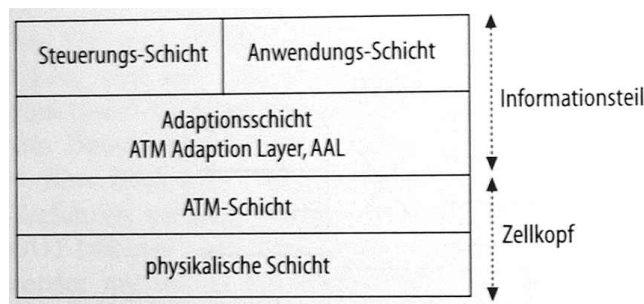


Bild: ATM-Schichtenstruktur

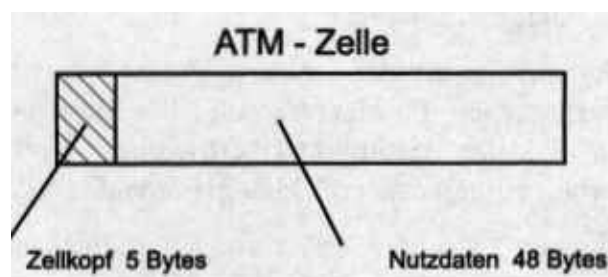
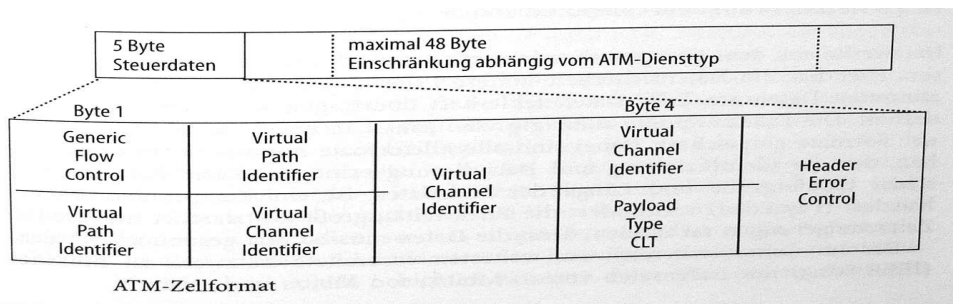


Bild: ATM-Zelle



Durch diese vergleichsweise kleinen Zellen kann ATM dem Netz jede beliebige Bitrate effizient anpassen. Wenn genügend ATM-Zellen unterschiedlicher Nutzer vorliegen, können sie so günstig zusammengefasst werden, dass es zu sehr viel weniger Ballast in den SDH-Netzen mit fester Containergröße kommt. Es können zeitkontinuierliche oder burstartige Informationen transportiert werden. Wegen der relativ kleinen Zellen lassen sich beliebige Datenraten (variabel oder konstant) bewältigen. ATM wird derzeit als einzige Möglichkeit angesehen, im Netz Video, Audio und Daten gleichzeitig preiswert zu übertragen. Es müssen nicht Punkt-zu-Punkt Verbindungen geschaltet werden, auch Konferenz-, Bus- oder Mehrfachverteilung ist möglich.

ATM hat keine eigenen Hierarchien, es ist nur ein einheitliches Multiplexverfahren für alle Arten des Datenverkehrs. ATM-Zellen können auch in Netzen der PDH oder SDH transportiert werden; dann müssen die Multiplexer die Zellen zu den üblichen Datenraten der Hierarchiestufen zusammenfassen. Es sind aber auch separate ATM-Netze möglich. ATM charakterisiert deshalb noch keine besondere Hardware, es ist eine Organisationsform der Datenübertragung. Insofern kann es sowohl im lokalen Bereich als auch im Weitverkehrsnetz eingesetzt werden.

Die ATM-Zellübertragung bietet viele Freiheitsgrade, die vom Anwender wählbar sind. Sie betreffen die Kosten der Übertragung, aber auch die gewünschte Qualität (QoS = Quality of Service). Dies ist ein Novum im Leitungswesen der Rundfunkanstalten, denn bisher war die Qualität einer Leitung eine feste Größe mit dem bisherrigen VBN (vermittelndes Breitbandnetz), bei ATM wird Qualität ein Bestandteilparameter. Die ATM-Übertragung muss nicht zeitlich transparent sein, die Zellen treffen auch nicht zwangsläufig in gleichen Abständen ein. Die Transportzeit einzelner Zellen kann differieren durch Warteschlangen an den Knoten; dadurch entsteht ein Zelljitter, der durch Speicher im Empfänger aufgefangen werden muss, und es ergibt sich eine Verweilzeit der Daten im Übertragungssystem. Bei Überlauf am Knoten gehen möglicherweise auch Zellen verloren. Deshalb kann eine Datensicherung „über alles“ erforderlich werden oder es muss eine Übertragung mit konstanter Verweilzeit und fester Fehlerrate bestellt werden.

Die sehr unterschiedlichen Anforderungen an ein ATM-Netz müssen organisiert werden. Deshalb wurden zusätzliche Steuerinformationen neu eingeführt, die AAL:

„AAL — ATM Adaptation Layer“

AAL sind Steuerbytes, die auf den Zellkopf folgen und mindestens ein Byte Nutzinformation verbrauchen. Ihr Hauptzweck ist es, die Datenübertragung richtig zu organisieren und eine bestimmte Übertragungsart mit der erforderlichen Qualität und Sicherheit zu garantieren. Dazu gehören Anforderungen wie:

- Zeitbeziehungen zwischen Sender und Empfänger anpassen (Lippensynchronität zwischen Audio- und Videodatenstrom steuern),
- Bitraten steuern oder reservieren (variable oder konstante Werte),
- Verbindungsart signalisieren,
- die Segmentierung der Daten steuern.

Bisher werden die AAL 1 bis AAL 5 verwendet, wobei jede AAL auch zum nächst höheren Level überleitet.

Die Bedeutung der AAL 1 bis AAL 5

AAL 0

Wird oft scherzhaft für „ohne genaue Spezifikation“ verwendet.

AAL 1

Nachbildung der Schnittstellen zu PDH; enthält alle Schnittstellen, die über BISDN laufen können. Es können Taktinformationen oder Daten mit Zeitbezug übertragen werden. Die Übertragung ist verbindungsorientiert mit konstanter Bitrate (CBR), z. B. bei der Telefonie; ein Nutzbyte wird für den SAR-Header verwendet (SAR = Segmentation and Reassembly Sublayer). RS-FEC (ReedSolomon-Forward Error Correction, Fehlerschutz) ist möglich.

AAL 2

Echtzeitverkehr, variable Bitrate (VBR), auch Taktinformationen möglich, geeignet für Dienste mit schwankender Bitrate oder Datenbursts wie Video in JPEG. Die Spezifikation wird noch weiterentwickelt.

AAL 3 und 4

Paketorientierte Datenübertragung, z. B. X.25; kontrolliert eigene, feste Datenblöcke mit Header und Trailer, enthält Fehlerschutz gegen Bitfehler und Zellverlust, eigene Multiplexkontrolle, ist verbindungsorientiert. Die Nutzlast kann sich durch die Steuerbytes auf 36 Bytes pro Zelle reduzieren.

AAL 4

Wie AAL 3, aber verbindungslos, als Informationsangebot an viele Abnehmer.

AAL 5

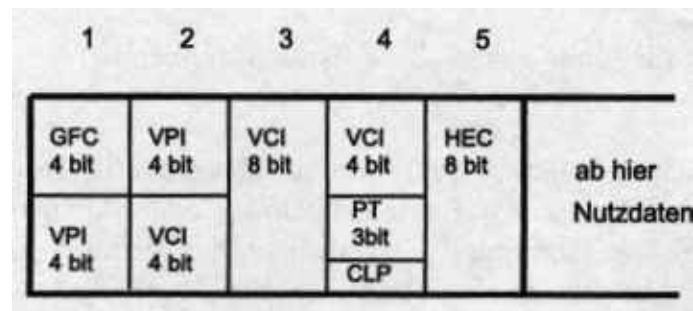
Verwendung wie AAL 3 und 4, aber stark vereinfacht, ohne Multiplexkontrolle; lediglich das Abarbeiten sequentieller Datenpakete unterschiedlicher Länge mit Beibehalten der Reihenfolge ist vorgesehen; pro Paket bis zu 40 Bytes Nutzlast mit 8 Bytes Trailer; Fehlererkennung ist möglich, verbindungsorientiert. Geeignet für den Filetransfer datenreduzierter Videosignale, die eigene Zeitstamps für die Wiedergewinnung der Synchronität und auch einen eigenen Fehlerschutz mitbringen wie MPEG, dadurch sehr

preisgünstig, aber nicht echtzeitfähig.

ATM-Datenschnittstellen existieren für die Datenraten

155 Mbit/s,
622 Mbit/s,
1,2 Gbit/s,
2,4 Gbit/s.

ATM-Informationen im Zellkopf



Erläuterung der Abkürzungen:

GFC Generic Flow Control, 4 bit

VPI Virtual Path Identifier, 8 bit Adressierung

VCI Virtual Channel Identifier, 16 bit Adressierung

PT Payload Type, 3 bit

CLP Cell Loss Priority Bit, 1 bit

HEC Header Error Control, 8 bit

IAT Inter Arrival Time (Zelljitter)

CBR Constant Bitrate

VBR Variable Bitrate

UBR Unassigned Bitrate

Vor- und Nachteile von ATM

Die Nutzdatenrate bei ATM ist skalierbar, variabel anpassbar, es entsteht weniger Verschchnitt. Spitzenwerte werden leichter bewältigt, die Datenreduktion bei Video kann deshalb milder ausfallen, „Statistischer Multiplexgewinn“ durch Mischung von Daten.

Offenbar ist eine mehrfache Nutzung der Übertragung möglich; unterschiedlichen Medien wird derselbe Kanal nach Datenanfall zugeteilt.

Eine Verbindung besteht nur dann, wenn wirklich Daten ausgetauscht werden (Prinzip des virtuellen Kanals); dies wirkt sich auf die Kosten aus.

Es sind feste Übertragungszeiten mit festen Verzögerungen möglich (quasi-Echtzeitbetrieb), die Synchronität wird über „Time-Stamps“ erreicht. Zelljitter ist abschätzbar und durch einfache Synchroniser reduzierbar, insgesamt verlängert sich dadurch aber auch die Signalverzögerung.

ATM bringt Probleme durch die relativ lange Verweilzeit (Latency) der Daten im Übertragungssystem, wenn schnelle Reaktionen gefordert sind.

Die Bandbreite (Datenstrom) wird dynamisch zugeteilt, der maximale Datenstrom muss nicht ständig reserviert werden, es gibt kaum Verschnitt durch Stopftechnik. ATM ist an viele gängige Netze anpassbar, moderne LAN und WAN sind oft schon ATM-fähig.

Die kleinen ATM-Zellen sind paketierte Informationseinheiten und damit für BISDN geeignet.

Bestehende Netze lassen sich in ATM-Übertragungen einbinden, für die alten Standardanwendungen gibt es einfache Übergangslösungen mit Interfacebausteinen.

Verbunden mit den Vorteilen ist die Hoffnung auf Kostensenkung.

Digitalisierung der Hörfunk- und Fernsehnetze in Deutschland

Zielvorgaben

Bedingt durch die fortschreitende Digitalisierung in der Studioteknik und durch Einführung digitaler Schnittstellen und digitaler Übertragungswege haben ARD und ZDF in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe die Ziele und Anforderungen für eine weitgehende Modernisierung des Dauerleitungsnetzes definiert. Hierzu gehören:

- Senkung der Betriebskosten der Netze durch Digitalisierung
- Sicherung einer garantierten Verfügbarkeit von 99,9 %.
- Inbetriebnahme zum 1.1.98
- Nutzung von Netz-Overhead und Ersatzkapazitäten für die Übertragungen

Die Neugestaltung der Übertragungstechnik wurde ausgeschrieben, den Auftrag erhielt die Telekom.

Bestandteile des Auftrags:

- Fernseh-Austauschnetze
- Hörfunk-Austauschnetze
- Fernseh-Modulationsnetze
- Hörfunk-Modulationsnetze
- Rundfunk-Kommunikationskanäle
- Fernsprech-/Datenleitungen
- Technik der digitalen Netze

Zugang zu den Netzen erfolgt über die STM-1-Schnittstelle bei ca. 155 Mbit/s mit

plesiochron gemultiplexten Signalen mit 140 Mbit/s Nutzdatenstrom in den Signalübergaberäumen der Rundfunkanstalten mit folgender Übertragungstechnik:

- DRS 155-Richtfunk im Fernbereich
- Digitales Grundnetz in SDH-Technik
- Glasfasertechnik oder digitaler Richtfunk im Ortsbereich.

Die Übertragung der Hörfunk- und Fernsehsignale erfolgt mit der jeweils maximal verfügbaren Bitrate (abhängig von der begleitenden Ton- und Datenrate). Bei 140 Mbit/s nutzbarem Datenstrom liegt dann die mögliche Videodatenrate im Fernseh-Austauschnetz bei ca. 120 Mbit/s, die Übertragung von Hörfunk-Austauschnetz und Kommunikation findet im Overhead statt.

Fernseh-Modulationsleitungsnetz

Es sind zunächst analoge Schnittstellen für PAL und PALplus mit ETSI-Codern für die Datenreduktion auf 34 Mbit/s (abzüglich FS-Ton und V-Lückensignale) vorgesehen.

Wegen der erheblichen Datenreduktion ist keine Kaskadierung von Strecken mit 34 Mbit/s vorgesehen.

Nach Abzug aller Datenraten für Zusatzsignale verbleiben für Video 25-29 Mbit/s. Ein späterer Übergang auf die Übertragung von DVB-T ist möglich.

Hörfunk-Modulationsleitungsnetz

Hörfunkübertragung findet in 384-kbit/s-Kanälen statt, der Zugang erfolgt über 2-Mbit/s-DS 2-Schnittstellen gemultiplext zu einem der 34-Mbit/s-Blöcke der Übertragungstrecken des Fernseh-Modulationsleitungsnetzes.

Auf einer Leitung mit 140 Mbit/s lassen sich somit unterbringen:

3 Fernsehprogramme zu 3 x 34 Mbit/s und 17 x DS 2-Kanäle mit 1 x 34 Mbit/s für die Hörfunkprogramme.

Ein analoger 15 kHz-Tonkanal liefert einen Datenstrom von $12 \text{ bit} \times 32 \text{ kHz} = 384 \text{ kbit/s}$.

Die Coder/Decoder

Signalebene 140 Mbit/s:

Der Zugang erfolgt zunächst über analoge PAL-Schnittstellen mit ca. 120 Mbit/s für Video (PAL digital), die restliche Kapazität belegen der Begleitton und die Zusatzdaten.

Später wird zu digital-seriellen Schnittstellen DSC 270 und Komponentenübertragung übergegangen, ohne PAL-Umsetzungen. Dies hängt von der Verbreitung der digitalen Studios ab.

Als Zwischenlösung für bereits vorhandene digitale Komponentenstudios wurden PALplus-Coder/Decoder mit DSC 270-Eingängen und verbesserter PAL-Übertragung (MACP — motion adaptive colour plus) eingesetzt.

Die Coder/Decoder für DSC 270 auf 140 Mbit/s sind inzwischen fertiggestellt, ein Umweg über digitale PAL-Übertragung kann entfallen, wenn Sender und Empfänger bereits auf digitale Komponenten eingestellt sind; eine Umrüstung wird auf Wunsch durchgeführt. Sie werden als Einsteckkarten zu den 140-Mbit/s-Geräten geliefert und erlauben die Nachrüstung auf den Betrieb mit digitalen Komponentensignalen.

Diese neuen Coder bringen die 270 Mbit/s der Quelle durch milde Datenreduktion auf eine Sendedatenrate von etwa 120 Mbit/s, die Bildqualität leidet kaum.

Bezeichnung: *NLC — Near Lossless Coder.*

Die restliche Datenrate aus den 140 Mbit/s wird von Zusatzdaten belegt:

Transparenter Datenkanal für:

Teletext, Datenzeilen, WSS 400 kbit/s

2 x AESIEBU Audio etwa 6 Mbit/s

Zusatzdaten für spätere Erweiterung (EPG?) 5 Mbit/s

Äußerer Fehlerschutz 9 Mbit/s

Transparente Übertragung von ANC-Daten, auch Embedded Audio ist gefordert! Nicht belegter Datenstrom wird automatisch dem Videosignal zugeteilt.

Signalebene 34 Mbit/s:

Im Fernseh-Modulationsnetz werden die verbesserten PALplus-tauglichen ETSI-Codex mit Datenreduktion eingesetzt. Sie sind modular aufgebaut und können analoge Signale (PALplus) oder DSC 270 verarbeiten.

Die Videodatenreduktion dieser Codex ist eine HDCT mit Bewegungsvektoren auf Makroblockebene im Interfield-Modus, das Bildsignal wird in Komponenten verarbeitet.

Die Datenrate von 34 Mbit/s teilt sich wie folgt auf:

Videokanal datenreduziert etwa 28 Mbit/s

Transparente Datenkanäle

(Teletext, Datenzeilen, WSS) etwa 500 kbit/s

Audio-Kanäle etwa 4 Mbit/s

Zusatzdaten für Scrambling, Steuerung 32 kbit/s

Fehlerschutz Video etwa 1,8 Mbit/s

Nicht belegter Datenstrom wird automatisch dem Videosignal zugeteilt.

Die Kaskadierung solcher Codex ist zu vermeiden, in Sonderfällen verteilt man deshalb die Modulation auch mit 140 Mbit/s-Strecken. Die Codex lassen sich nicht völlig störungsfrei umschalten, darum werden Umschaltungen der Signale und Ersatzwege besser in der Video- /Audioebene durchgeführt.

Mbit/s) reicht für die bisher übliche Bildqualität, die man von PAL-VBN gewöhnt ist, nicht aus. Es wird bei der heutigen Datenreduktionstechnik mindestens eine Datenrate von 50 Mbit/s für Video als notwendig erachtet.

Für die Codierung sollte rechtzeitig auf Studio-MPEG 2 mit 422P@ML (1-Frames only) übergegangen werden, da dies in Zukunft ein wichtiges Format für die Studios sein wird.

Signallaufzeit und Echtzeitübertragung

Eine Datenrate von 34 Mbit/s führt wegen der vorgesehenen I-B-Codierung auf lange Laufzeiten von > 100 msec (300 — 700 msec). Solche Zeiten sind für Live-Einspielungen und Interviews nicht akzeptabel.

Die Laufzeit für Echtzeitübertragungen sollte 100 msec nicht überschreiten, die Frage der Kaskadierung solcher Strecken ist damit noch nicht beantwortet (Rückkanal über ATM).

Bidirektionale Übertragung

Bisher waren bei VBN Hin- und Rückweg gleichberechtigt. Dies ist für die ATM-Übertragungen zunächst nicht vorgesehen. Für einen Rückkanal ist eventuell eine geringe Datenrate von ca. 8 Mbit/s zum Monitoring möglich, wenn dem Hauptkanal 50 Mbit/s zugestanden werden. Dabei ist noch zu klären, wer die Richtung Hauptkanal — Rückkanal steuert und ob die Richtung unabhängig vom Wählvorgang bestimmt werden kann. Auch die Frage der Konferenzschaltungen muss in diesem Zusammenhang noch erörtert werden.

Audioübertragung

Zunächst wird von einer 2-Kanalübertragung mit 2 Mbit/s nach SMPTE 302M ausgegangen. Die Frage einer integrierten Kommandoverbindung ist noch nicht ganz geklärt. Viele Rundfunkanstalten möchten auf eine integrierte 4-Draht-Leitung mit analogem Zugang nicht verzichten. Es besteht auch der Wunsch nach einer AES/EBU-Schnittstelle.

Endgeräte und Zugangsklassen

Der Zugang zum ATM-Netz erfolgt über ein neues Endgerät, den Rundfunkservice-Multiplexer (RfSMux), der als komplexe Geräteeinheit eine Anzahl von unterschiedlichen Schnittstellen parallel und gleichwertig anbieten soll. Der RfSMux soll weitgehend fernsteuerbar und fernwartbar sein.

Es werden zunächst drei Zugangsklassen für das ATM-Netz vorgegeben, die entsprechend der Datenrate unterschiedliche Übertragungsqualität bieten:

- | | | |
|----|------------|---------------------------------------|
| 1: | 18 Mbit/s | Low End Monitoring |
| 2: | 35 Mbit/s | Standard, Video ca. 28 Mbit/s |
| 3: | 120 Mbit/s | Volle Bandbreite, Video ca. 50 Mbit/s |

Fragen der Qualität bei Kaskadierung (Formatüberlagerung) und Formatübergängen

Hinsichtlich der Video- und Audioqualität ist die Frage der Schnittstellen zum RfS-Multiplexer zu stellen. Sicher reicht ein einfacher PAL-Zugang wie bei VBN nicht aus, denn die Datenreduktion im RfSMux verarbeitet nur Komponenten. Damit könnten sich bei jeder Übertragung mehrfache Formatübergänge durch die PAL-Decoder/Coder ergeben, die sich stark auf die Signalqualität auswirken.

Da die Studiotchnik immer mehr auf digitale Komponenten übergeht, sollten auch direkte Schnittstellen für DSC 270 mit Embedded Audio oder AES/EBU geschaffen werden sowie direkte Zugänge für die wichtigsten datenreduzierten Formate, damit weitere, wiederholte Formatwandlungen vermieden werden.

Insbesondere werden Codecs für DVCPRO (von 25 Frames auf 50 Fields umschaltbar) und SDTI sogar schon in der Grundausstattung gewünscht.

Dabei ergibt sich eine gewisse Vielfalt bei den Schnittstellen und Signalformaten, und es muss ein Standardverfahren für die Anmeldung und den betrieblichen Ablauf der Übertragungen eingeführt werden. Auch könnte man dem RfSMux genügend Intelligenz einbauen, damit er sich auf die angelieferte Signalform automatisch einstellt.

Gewünschte Schnittstellen, Übersicht:

PAL/PALplus mit Decoder/Coder
DSC270 mit Embedded Audio
SDTI, MPEG 2 422P@ML, DVCPRO (25/50)
AES/EBU, 2 Mbit/s Digitalton, Analog 2-Kanalton
Kommandoverbindung?
Datenkanäle, Telefonkanäle

Neue digitale Netze für Studioanwendungen

Warum sind im Studio schnellere Übertragungen notwendig?

Der Anteil an Computergrafik und Animation im Fernsehgeschäft wächst ständig, entsprechend wächst auch der Zwang zur Zusammenarbeit, Arbeitsteilung, Gruppenarbeit. Die Zugriffsmöglichkeiten zu den Archiven muss verbessert werden. Hierzu ist ein schneller Datenaustausch eine grundsätzliche Voraussetzung, eine flexible Netzwerktechnik mit Übertragungen bis „schneller als Echtzeit“ ist für die zukünftige Arbeit erforderlich.

Kurze Videoclips im Sekundenbereich enthalten bereits mehrere Gigabytes an Daten, die mit der bisher üblichen Übertragungstechnik einige Minuten zur Überspielung brauchen und den Arbeitsablauf in der elektronischen Produktion immer wieder unterbrechen.

Die bei Einzelarbeitsplätzen bisher übliche Aufteilung der Speicher in große Langzeitspeicher mit langsamem Zugriff und sehr schnelle Arbeitsspeicher ist in der elektronischen Produktion nicht mehr möglich, wenn Dialogverkehr und gleichzeitige Bearbeitung der Daten an verschiedenen Arbeitsplätzen gefordert wird.

Damit wächst der Anteil schneller Arbeitsspeicher; auch die großen Archive müssen

schnellere Technik anwenden und die Übertragung der Daten darf nicht zu einem leistungsbegrenzenden Flaschenhals im System werden, sondern man muss auch hier die Geschwindigkeit erheblich steigern und wenigstens annähernd die der schnellen Arbeitsspeicher erreichen.

Auswahikriterien für neue Technik bei Videonetzen

- Große Vielfalt der Signalformate
- Video/Audio Studioqualität DSC 270 im Synchronbetrieb,
- datenreduzierte Signale unterschiedlicher Formate,
- kontinuierliche Datenströme oder auch paketierte Daten
- Echtzeitbetrieb, auch schneller als Echtzeit, etwa Faktor 4

Durchsatz:

- maximale Datenrate mindestens für Studiosignale mit 270 Mbit/s ausreichend,
- eventuell ist HDTV zu berücksichtigen,
- Datenrate aber auch nach Qualität skalierbar oder variable Nutzung einer Datenrate über Multiplexer

Topologie, Struktur des Netzes:

Schaltnetz (Stern), Bussystem, Ringnetz, uni-/bidirektionaler Betrieb, selbstoptimierende Strukturen, tolerantes Fehlerverhalten und günstige Erweiterungsmöglichkeiten, Flexibilität

Sicherheit der Übertragungstechnik:

Ausfailverhalten, „normale“ Fehlerstatistik, Geheimhaltung

Kompatibilität und Verbreitung:

Protokolle und Interfaces zu anderen Netzen/Herstellern, zur Weitverkehrsebene, Zukunftsaussichten, Preis, Anzahl der Nutzer/Hersteller

Steuerung:

Übertragung von Steuerdaten über das Netz, selbststrutende Signale oder Steuerung des Netzes über ein anderes Netz.

Vorhandene Netze, Vergleichsdaten, Übersicht

SDI (Serial Data Interface) — DSC 270:

Heutiger Stand der digitalen Studioteknik, 270 Mbit/s, studiogerechter Echtzeitbetrieb, jedoch nur unidirektional verwendbar, Sternstruktur mit zentralem Schaltraum möglich, bei Koaxialkabeln max. 300 m.

SDTI (Serial Data Transport Interface)

Von SDI abgeleitet, 234 Mbit/s, Pakete mit 1728 DW, Koax/Glasfaser, Schaltnetz (Ring und Stern geplant), preisgünstig einzuführen, da die vorhandene Technik (SDI — DSC 270) mit benutzt wird, jedoch wie dort nur unidirektional, Sternstruktur, eingeschränkte Streckenlänge!

ATM (Asynchronous Transfer Mode)

Weltweites Ziel der Telecom's, 34-155-622-1200 Mbit/s, bidirektional, Paketübertragung (Zellen), skalierbar, idealer Übergang zur Weitverkehrstechnik, aber durch die

Zellübertragung schwierig für Sync-Betrieb, Zeitverlust und Verweilzeit sind zu beachten, eingeschränkter Echtzeitbetrieb.

Fast-Ethernet

Entwicklungsziel bis 1 Gbit/s, serieller Bus, Koax (Glasfaser ev.), Zugriff demokratisch, Kollisionsgefahr erfordert Schutzmaßnahmen, Echtzeit- und Sync-Betrieb sind schwierig durchführbar.

Fibre-Channel

Datenrate >1 Gbit/s, paketierte Daten, alle Topologien und Kabel möglich, viele Firmen an der Weiterentwicklung interessiert, die Technik ist noch sehr neu, weitere Normungsarbeit und Studioanpassung ist erforderlich, bisher nur als

Kopplung für Server-Mainframe verwendet.

Firewire

Datenrate 100 - 400 Mbit/s (bei IEEE1394a) und 800 Mbit/s - 1,6 Gbit/s (bei IEEE1394b), preisgünstiger serieller Bus für Heimelektronik und Multimedia, vielseitig einsetzbar, erste Anwendungen bei DV, DVCAM, Beta SX, bisher noch wenig verbreitet, max.4,5 m zwischen Stationen.

SDTI — Serial Data Transport Interface

Entwicklungsziele

Nachdem sich in vielen neuen Studios die SDI-Technik mit 270 Mbit/s auf Koaxkabeln (DSC 270) gut eingeführt hatte, entwickelte die Firma Sony auf dieser Hardware basierend neue Protokolle für die Übertragung anders formatierter, datenreduzierter Videosignale. Besonders war an die kompatible Einführung von Betacam SX mit MPEG 4:2:2 gedacht; so können dann 3 bis 4 solcher Signale gleichzeitig im Multiplex oder ein Signal viermal schneller als Echtzeit auf den bereits vorhandenen Koaxkabeln und Studioinstallationen übertragen werden.

Da das Grundsystem DSC 270 bereits die studiosynchrone Video/Audio-Übertragung bietet, erscheint diese Ergänzung auf reduzierte Video/Audio-Daten sinnvoll und relativ einfach einföhrbar, verglichen mit allen anderen Netzen aus der Computer- und Datentechnik, die mit zeitkritischen Signalen und Synchronbetrieb noch erhebliche Probleme haben.

Vorteile verspricht man sich auch für den Mischbetrieb zwischen unreduzierten und reduzierten Videosignalen in einer gemeinsamen Studioinstallation. War man bisher gezwungen, die datenreduzierten Signale zur Einspeisung in das Studio in die DSC 270-Ebene umzuwandeln, kann nun das reduzierte Signal direkt verteilt werden, es entfallen die unter dem Schlagwort „Kaskadierungseffekte“ bekannten Probleme und Qualitätsverluste.

Die Schwierigkeiten mit der Einführung dieser neuen Technik sollen aber nicht unterbewertet werden. Zunächst wurde der Vorschlag erst einmal bei EBU und SMPTE zur Beurteilung eingereicht. Die Standardisierung erfolgte unter SMPTE 305M. Dem

Standard haben sich schnell alle bedeutenden Hersteller von Studiogeräten angeschlossen, die Zukunftsaussichten werden sehr günstig beurteilt.

Im Vergleich mit anderen bereits eingeführten Netzwerktechniken bietet SDTI noch keine besonderen Vermittlungsprotokolle, jedoch ist in der Steuerung eine Quell- und Zieladressierung vorgesehen, die später zu selbststrutenden Systemen ausgebaut werden kann.

SDTI — Eigenschaften

Datenraten:

max. 231,9 Mbit/s (theoretischer Wert bei 625 Zeilen), davon 177,9 Mbit/s Nettobitrate

Fehlerrate:

Intakte SDI-Übertragungstechnik liegt bei etwa BER = für die Daten in SDTI gibt es zusätzlich Fehlererkennungshilfen (CRC, Checksum und Parity) zur Fehlerkorrektur.

Topologien und Verbindungsarten:

Derzeit ist nur die Punkt-zu-Punkt-Verbindung im Schaltnetz im Simplex-unidirektional-Betrieb möglich, später soll noch eine Stern- und Ringtechnik folgen. Die Datenraten sind skalierbar oder für bekannte Formate fest vorgegeben.

Überbrückbare Entfernung und Übertragungsmedien:

Je nach vorhandener Installation sind Leitungslängen bis 300 m auf Koaxkabeln oder auf Glasfasern bis zu 30 km möglich.

Datenarten:

Neben Video 4:2:2 in Echtzeit mit synchronen Audiokanälen soll SDTI hauptsächlich für die neuen datenreduzierten Videosignale mit synchronen Audiokanälen (auch reduziert) Anwendung finden, auch ist Multiplexbetrieb mehrerer Signale oder reduziertes Video „schneller als Echtzeit“ möglich. SDTI überträgt auch Steuerinformationen, Zusatzdaten, unabhängige Audiosignale mit festen oder variablen Paketgrößen.

Datenformat:

Das Format der Daten ist durch SDI mit 10-bit-Datenworten in der Übertragung vorgegeben. Da aber auf die Scrambler verzichtet wurde, müssen die Daten wegen der erforderlichen Taktrückgewinnung zwangsweise mit Flanken an den Übergängen zwischen zwei Datenworten versehen werden. Es gibt deshalb in SDTI die Wahl zwischen zwei Arten von Datenworten: 9 Nutzbits + 1 Mischbit oder auch 8 Nutzbits + Paritybit + Paritybit invers. Das Mischbit wird vom Interface so gesetzt, dass sich eine Flanke ergibt. Die Kombination Paritybit/Paritybit invers ergibt immer eine Flanke. Abgegeben wird der NRZI-Code, ohne Scrambler!

Die Einbindung des SDTI in das SDI-Format

SDTI überträgt die Nutzdaten hauptsächlich in Bereich der aktiven Zeilen des SDI-Formats. Die Steuerung und Signalisierung erfordert besondere Kennzeichen im Bereich der Ancillary-Daten der H-Lücke, dafür sorgt ein spezieller SDTIHeader hinter dem EAV. Der verbleibende Rest der H-Lücke kann dann mit Nutzdaten oder Embedded Audio

gefüllt werden, für Embedded Audio reduziert sich die Kapazität jedoch auf 3 Kanalgruppen.

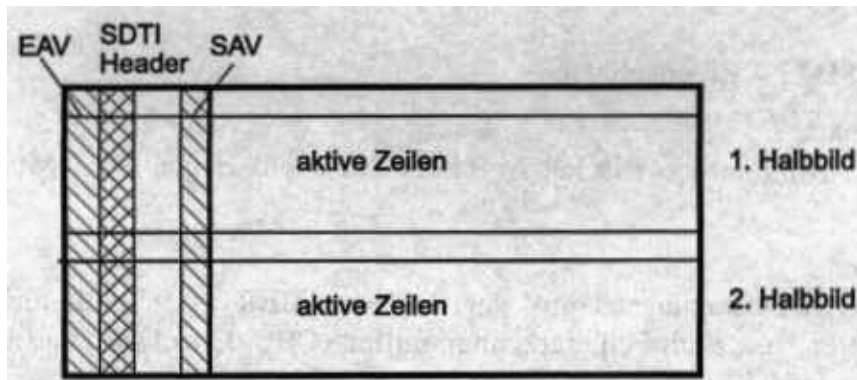
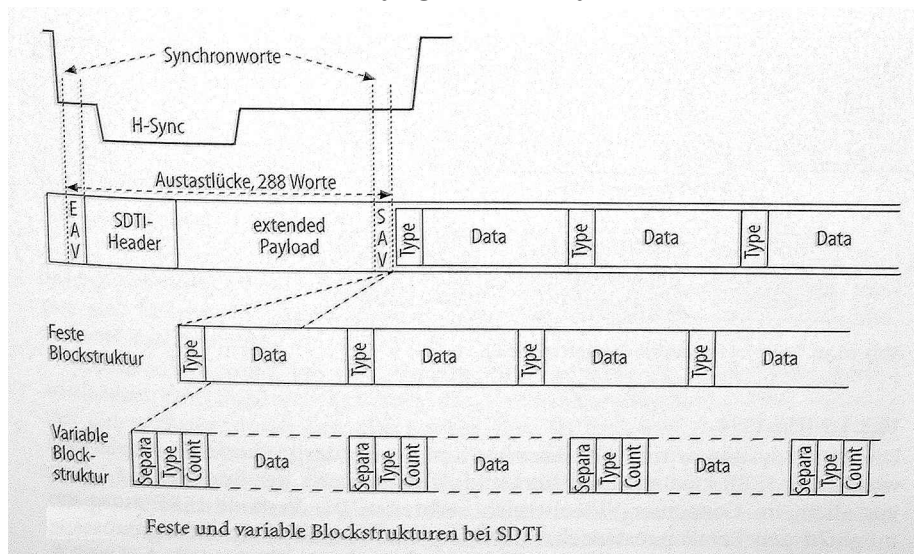


Bild: SDTI im Bild



Feste und variable Blockstrukturen bei SDTI

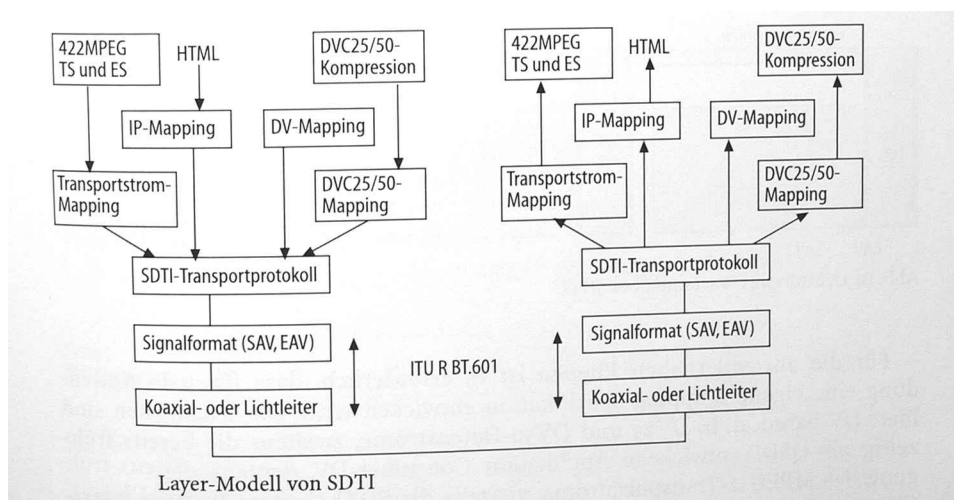
Jede SDTI-Datenzeile hat eine eigene Signalisierung, so dass die bekannten Probleme mit den Zeilen der V-Lücken umgangen werden können. Ebenso können bestimmte Zeilen wie die Schaltzeile und EDH-Zeile ausgespart werden. Dadurch lassen sich auch beliebige Datenströme im Zeilenmultiplex innerhalb des aktiven Bildbereichs kombinieren, und es ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten zum Multiplexen für den Mischbetrieb.

Mit Hilfe dieser SDTI-Header können zukünftige digitale Studiogeräte zwischen den Videosignalen des „alten“ SDI und Daten des SDTI unterscheiden und selbst für die entsprechende Decodierung datenreduzierter Signale sorgen; man denkt an intelligente Decoder. Ältere Geräte werden versuchen, die SDTI-Daten als digitales Videosignal DSC 270 zu verarbeiten, was zu Fehlern führen kann.

Die Struktur des SDTI Headers

Der Header umfasst 53 Datenworte und steht direkt hinter der EAV (End of active Video) -Sequenz. SDI verarbeitet 10-bit-Datenworte; die Datenworte des Headers bestehen oft nur aus 8 bit, dann ist Bit 9 das Paritätsbit (EVEN), Bit 10 das invertierte Paritätsbit. Dargestellt ist der letzte Stand nach SMPTE 305M.

- Worte 1-3 Ancillary Data Hag, ADF: 000, 3FF, 3FF(H), feste Werte, wie SDI
- Wort 4 Data Identifier, DID, 140(H), SDTI-Header
- Wort 5 Data Block Number, Zähler bis 256
- Wort 6 Data Count, DC, 22E(H), fest definiert für SDTI
- Worte 7 und 8 Line Number, 10 bit (von 16) zählen die Zeile
- Worte 9 und 10 Line Number CRC, zur Prüfung der Zeilennummer
- Wort 11 Code und AAI, Art der Nutzdaten und Adressierung, SDTI = 101(H), SDI = 200(H), AAI Authorised Address Identifier
- Worte 12 bis 27 Empfänger/Zieladresse (ASCII, IP-Adresse)
- Worte 28 bis 43 Sender/Quelladresse (ASCII, IP-Adresse?)
- Wort 44 Block Type, variable oder feste Blocklänge, variabel=C 1(H), fest=Tabellenwert 01 bis 46(H)
- Wort 45 CRC Flag für die Nutzdaten, vorhanden=101(H), nicht vorhanden=200(H)
- Wort 46 Data Start Position, Nullposition des Zeigers, Start der Nutzdaten vor oder nach SAV: (min.08(H), EF(H) nach SAV)
- Worte 47 bis 50 Platzhalter, zur späteren Verwendung
- Worte 51, 52 Header — CRC
- Wort 53 CS, 8 bit Prüfsumme über alle Headerworte
- Wort 54 Ab hier Nutzdaten möglich



Die Formate der Nutzdaten in SDTI

Blocklänge

Damit die vorhandene Übertragungskapazität möglichst gut ausgenutzt werden kann, wurden zwei unterschiedliche Formate für die Nutzdaten in SDTI vereinbart:

Datenblöcke mit festen Blocklängen, wie sie sich aus den bisher bekannten Videoformaten ergeben, oder mit variablen Blocklängen bei neuen oder nicht standardisierten Formaten. Welches Format im Einzelfall verwendet wird, muss sorgfältig geprüft werden, denn bereits bekannte Videoformate mit festen Blocklängen sind in Tabellen erfasst und benötigen nur kurze Header, die den Blocktyp und Länge der Blöcke kennzeichnen. Dagegen verbrauchen variable Blocklängen mehr Datenstrom zur Signalisierung und zur Beschreibung der Blöcke im Header und Blockende, bringen aber möglicherweise einen höheren Datendurchsatz bei der Übertragung großer Dateneinheiten mit Blöcken, die optimal an die Zeilenlänge angepasst sind.

Feste Blocklängen

Der Header besteht nur aus einem einzigen Datenwort, das den (eng!.) „Type“ des Blocks kennzeichnet. Vorgeschlagen sind Types für M-JPEG, MPEG- 1, MPEG-2, Audio, usw. Types müssen als Tabelle vom Standard vorgegeben werden, die Blocklängen sind dann mit definiert. Ein Schlusszeichen ist nicht vorgesehen, die Blöcke können direkt aufeinander folgen, es ist Mischbetrieb (multiplexen unterschiedlicher Blöcke) möglich.

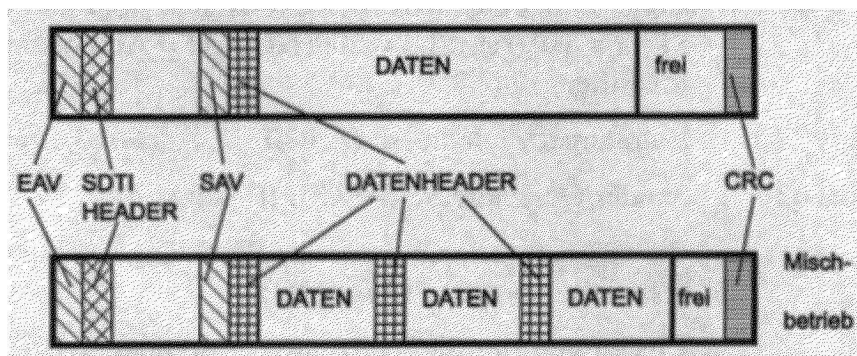


Bild. Feste Blocklängen Variable Blocklängen

Der Datenheader für variable Blocklängen ist 6 Datenworte lang. Er beginnt mit einem „Separator“ (fester Wert 309(H)). Es folgt ein Typewort und ein Längenzähler aus 4 Datenworten. Der Block schließt mit einem „Endecode“ (fester Wert 30A(H)).

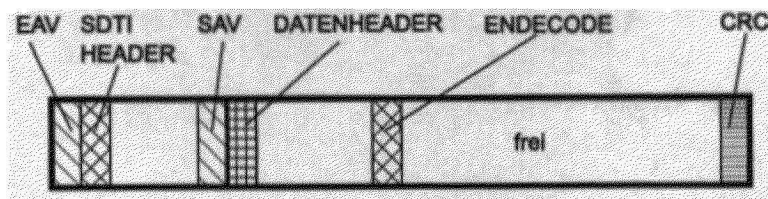
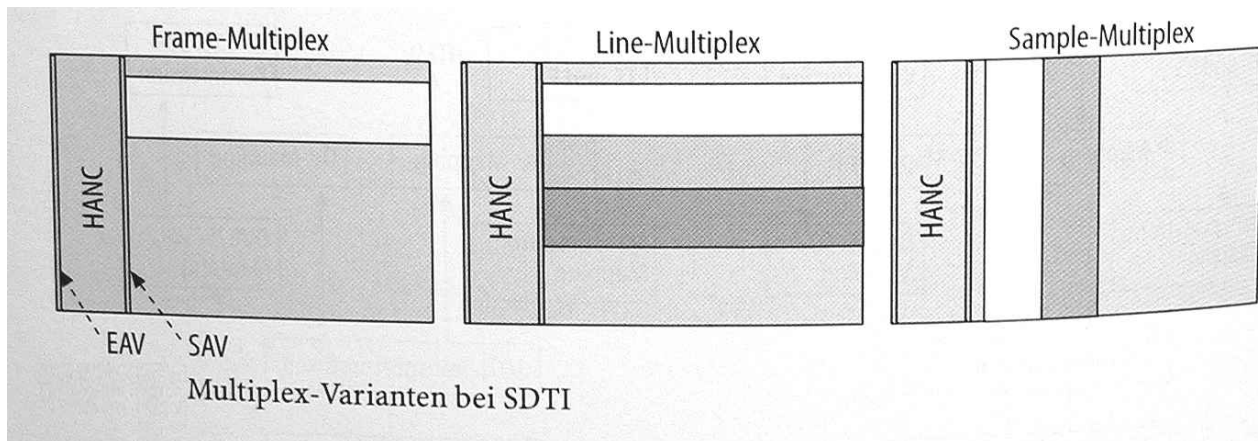


Bild: Variable Blocklängen



FC — Fibre Channel

Entwicklungsziele

Fibre Channel wurde entwickelt, um professionelle Videosignale und andere Datenströme in beliebigen Formaten sehr schnell zu übertragen. Die Hauptanwendung wird im LAN-Bereich bei der elektronischen Produktion gesehen. Die möglichen Übertragungsgeschwindigkeiten sollen sehr viel höher liegen als bei allen derzeit üblichen Verfahren bis hin zu „Video schneller als Echtzeit“. Alle üblichen Protokolle, Topologien und Kabelarten sollen beherrschbar sein, Übergänge zu anderen Übertragungssystemen sollen durch geeignete Profiles ermöglicht werden.

Die Standardisierung und weitere Entwicklung wird von einem Firmenkonsortium der wichtigsten Vertreter des professionellen Datenbereichs bestritten (ANSIX3T1 1).

Die gewünschten hohen Bandbreiten und Übertragungsgeschwindigkeiten lassen sich derzeit nur über sehr spezielle Hardwareadapter erreichen, die auf die Busstrukturen der angeschlossenen Computer direkt zugreifen. Irgendwelche besonderen Datenformate oder Übertragungsverfahren werden zugunsten der Geschwindigkeit vermieden.

Die Übertragungssteuerung erfolgt mit einer besonderen Transportsoftware, die alle Netzwerkoperationen auf I/O Operationen der Ports reduziert, damit die speziellen Eigenschaften der FC-Adapter optimal ausgenutzt werden (Transporter und IOFS). Die Datenart oder eine besondere Formatierung wird ignoriert, FC sorgt nur für eine schnelle Übertragung der Daten, so wie sie gerade vorliegen.

Was wird mit PC verbunden?

Computer — Server
Computer — Computer (Workstation)
Server — Massenspeicher (Disk, Raid-Array)

FC — Eigenschaften

Datenarten:

Übertragung von digitalem Video 4:2:2 in Echtzeit mit synchronen Audiokanälen, aber auch datenreduzierte Videosignale mit synchronen Audiokanälen (Audio auch reduziert), Videoübertragung auch schneller als Echtzeit, dazu auch Steuerinformationen und die üblichen Zusatzdaten.

Daten-Transferrate:

max. 640 — 720 Mbit/s

Framegröße:

2112 Byte Nutzlast

Bitfehlerwahrscheinlichkeit:

BER = 10^{-12}

Topologien und Verbindungsarten:

Punkt zu Punkt, Schaltnetz (switch fabric), Ringsystem (arbitrated Loop), simplex, duplex, verbindungslos, skalierbare/feste Datenrate

Überbrückbare Entfernung und Übertragungsmedien:

einige Meter bis 10 km, alle Kabel und Fasern
Übertragungsmedien für Fibre Channel

Medium Länge Datenrate (Mbit/s) Signalart

Glasfasern

Singlemode	10 km	266, 531, 1062	Laser
Multimode, dünn	2 km	266, 531, 1062	Laser
Multimode, dick	1,5 km	133 bis 1062	LED

Koaxkabel

Videoqualität	100 m	133 bis 1062 ECL
Miniatürkabel	35 m	133 bis 1062 ECL

Kupferadern

STP	100m	133, 266 ECL
-----	------	--------------

(STP: Shielded Twisted Pair = geschirmte, verdrehte Doppeladern, ECL : Emitter Coupled Logic = spezielle Halbleitertechnik)

Die Struktur der Fibre-Channel-Übertragung

Channels			Networks			FC4
IPI	SCSI	HIPPI	802.2	IP	ATM	
Common Service						FC3
Framing Protocol / Flow Control						FC2
Encode / Decode						FC1
133 Mbit/s	266 Mbit/s	531 Mbit/s	1062 Mbit/s			FC0

Schichtenstruktur
bei Fibre Channel

Hierarchiestufen FC-0 bis FC-4 als Schichtenmodell:

FC-4

— regelt den Übergang zu anderen Standards und die Anpassung der Protokolle wie SCSI, TCP/IP, FDDI, SDI, ATM, Ethernet, HIPPI, Token Ring.

FC-3

— definiert allgemeine Dienste (noch nicht abgeschlossen).

FC-2

— legt Regeln fest für Paketierung, Framing, Datenflusskontrolle, damit wird ermöglicht: fehlerfreie Paketumschaltung, Fehlererkennung, Sequenzkontrolle.

FC-1

— Für eine sichere Taktgewinnung wird hier die 8/10 bit Codierung-Decodierung festgelegt (8-to-10Service-Klassen, Class 1 — 4, zur Kennzeichnung der Dienste

FC-0

— definiert die physikalische Eigenschaften der Übertragungsmedien Kabel und Glasfasern, der Steckverbinder, Sender/Empfänger, elektrisch/optische Charakteristiken, Datenratenmodulation).

Class 1:

Vorgegebene Verbindungen von Punkt zu Punkt über einzeln geschaltete Leitungen oder zwischen zwei Endgeräten, vergleichbar der heutigen Studioteknik.

(Verbindung Server — Massenspeicher)

Class 2:

Verbindungslose Übertragung von einer Quelle zu mehreren Abnehmern, Frames als vermittelte Informationseinheit mit garantierter Verteilung und Empfangsbestätigung. Typische Paketübertragung ohne besonders vorbelegte Übertragungswege, mehrfache Nutzung des Transportdatenstromes ist möglich.

(Verbindung Server — Workstation)

Class 3.

Schnellste, verbindungslose Datenübertragung an mehrere Abnehmer, ohne Quittierung,

ohne Erfolgsgarantie, aber mit maximalem Durchsatz, „datagram service“.
 (Verbindung Server — Computer mit eigenem Buffer)

Class 4.

Vorgesehen für einfache oder mehrfache Datenströme mit synchronem Video!
 Audio in Echtzeit, bei garantiertem minimalen Datenstrom und/oder garantierter
 Laufzeit (latency).
 (Verbindung Server — Massenspeicher)

Die Kommunikationsstruktur von Fibre Channel

Signalisierung:

Festgelegte Muster von jeweils 4 Datenworten zu 10 bit übernehmen Steuerfunktionen wie
 start-of-frame, end-of-frame, link-start-up und Weitere vom Anwender definierte Befehle.

Frames:

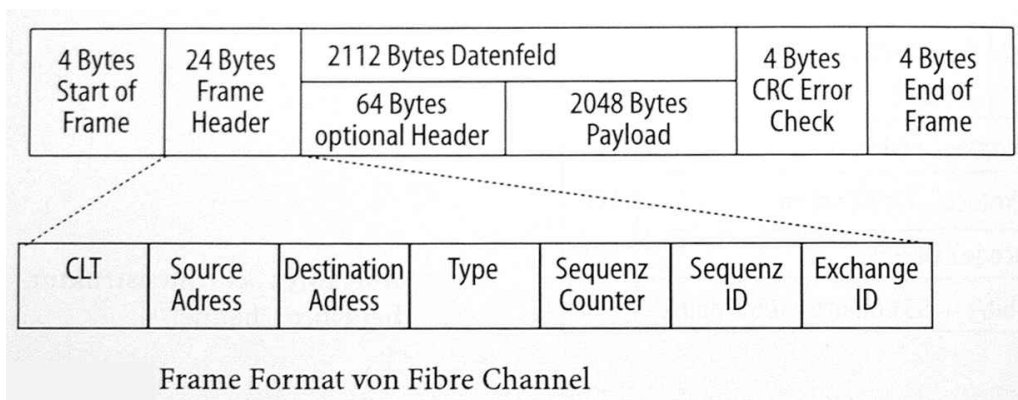
Frames sind die kleinste Informationseinheit mit 2112 Bytes im Fibre Channel. Start und
 Ende des Frames werden durch spezielle Begrenzungsmuster (4 x 10 bit)
 gekennzeichnet, Frame-Header und ein 32-bit-CRC zur Fehlererkennung sind
 vorgeschrieben. Für die Nutzlast bleiben dann 2048 Bytes übrig, ein separater Header im
 Nutzlastbereich ist möglich.

Sequence:

Die Sequence besteht aus zusammengehörigen Frames, die zu einer bestimmten
 Übertragung gehören. Die Größe hängt von der Buffergröße ab und ist deshalb auf die
 Hardware der Ports zugeschnitten. Jede Sequence ist individuell gekennzeichnet, die
 Frames einer Sequence sind einzeln durchnummeriert, damit die Fehlererkennung und die
 Wiederherstellung größerer Dateneinheiten am Empfangsort möglich wird.

Exchange:

Exchange ist ein laufender Datenaustausch zwischen zwei oder mehreren Endgeräten.
 Darin sind unterschiedliche Sequences enthalten, die nicht notwendig denselben Daten
 zugeordnet sein müssen. Zwei Geräte können mehrere Exchanges gleichzeitig
 unterhalten, deren jeweiliger Zustand unabhängig von den anderen ist.



Firewire — IEEE 1394 — 1995

Es handelt sich um ein digitales Bussystem für Unterhaltungselektronik.

Entwicklungsziele

Die Elektronik im Unterhaltungssektor nimmt ständig zu und wird dabei immer komplexer. Die anfangs noch ausreichende Video- und Audioverbindung über das SCART-System wurde in der Handhabung immer schwieriger. Satellitenreceiver, Videorecorder und Fernsehempfänger in geeigneter Weise miteinander zu koppeln, erfordert oft schon Verteiler oder Umschaltmöglichkeiten, besonders wenn aufgezeichnet und gleichzeitig ein anderes Programm angesehen werden soll.

Wenn nun noch digitale Signale mit unterschiedlichen Schnittstellen und Formaten hinzukommen und der Computer in die Video- und Audiotechnik eingreifen soll, werden auch im Heimbereich die Probleme mit der Kaskadierung und dem Formatwechsel zwischen digitalen und analogen Geräten zu Problemen führen und neue Lösungen erzwingen.

Eine Lösung soll Firewire als seriell-digitales Bussystem anbieten. Zuerst von der Firma Apple vorgeschlagen, wird die Idee heute von vielen Herstellern und der DVB-Gruppe gefördert, der Standard wurde bei IEEE (Institute of Electrical and Electronical Engineers) unter IEEE 1394 — 1995 definiert und weiterentwickelt. Alle denkbaren digitalen Geräte sollen über Firewire in Zukunft miteinander kommunizieren können. Dazu ist ein sehr „billiges“ Bussystem mit 3 Kabelpaaren (Daten, Takt, Stromversorgung) vorgesehen. Die Elektronikindustrie ist aufgefordert, diese Technik in alle neu entwickelten Geräten einzubauen oder wenigstens ein Interface als Option anzubieten.

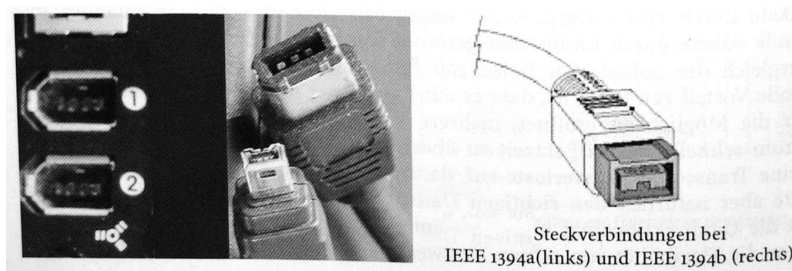
Die hohen Datenraten lassen zunächst nur kurze Entfernungen bis ca. 4,5 m zu; größere Längen sollen mit Fasern aus Kunststoff oder Glas erreicht werden. Die Konfiguration wird automatisch von den Interfacebausteinen selbst durchgeführt, auch „heisses“ Umstecken ist vorgesehen. Es soll asynchroner und isochroner Betrieb möglich sein.

Eine professionelle Variante für den Studiobetrieb mit DV und den anspruchsvollen Privatanutzern ist bereits erhältlich (Sony i.LINK), die Computertechnik nähert sich den Daten von Firewire durch Verbesserung des so genannten USB-Standards (Universal Serial Bus), der insgesamt eine sehr ähnliche Zielsetzung hat und sich möglicherweise langfristig zu einer kompatiblen Übergangslösung ausbauen lässt.

Firewire — Eigenschaften

Datenraten:

Zunächst soll die Datenrate zu 100, 200 bis 400 Mbit/s ausgebaut werden (1394A), neu geplant ist eine Hochgeschwindigkeitsvariante (1394 B) mit bis zu 800 Mbit/s – 1,6 Gbit/s.

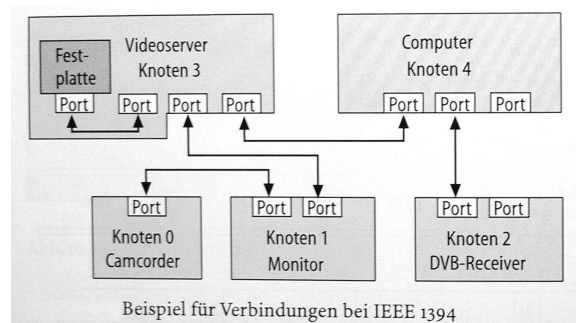


Fehlerrate:

Bisher sind noch keine Werte bekannt. Für die Paketübertragung der Daten und Kontrollinformationen sind Fehlererkennungshilfen (CRC) zur Korrektur vorgesehen.

Topologien und Verbindungsarten:

Von zwei Geräten als Punkt-zu-Punkt-Verbindung bis zum Bussystem sind alle Verbindungsarten möglich: simplex-duplex, verbindungslos (broadcast connection), mit variabler/fester Datenrate, asynchron oder isochron mit Stopfpaketen, Multiplexbetrieb mehrerer Signale.



Überbrückbare Entfernung und Übertragungsmedien:

Mit Kupferleitungen (STP) sind ca. 4,5 m zwischen zwei Busgeräten überbrückbar, da bis 60 Geräte am Bus liegen können; somit sind abschnittsweise lokale Netze möglich.

Geplant ist ein Repeaterbetrieb als Busverlängerung bis ca. 30 m zwischen zwei Abschnitten über Fasern (Glas/Kunststoff).

Im Buskabel sind zunächst drei Paare verdrehter Doppelleitungen für Daten, Takt, Stromversorgung vorhanden, die Stromversorgung liefert Niederspannung bis 60 W Belastung; sie kann auch entfallen, wenn die Geräte eine eigene Standbyversorgung besitzen.

Datenarten:

Video 4:2:2 in Echtzeit mit synchronen Audiokanälen, reduzierte Videosignale mit synchronen Audiokanälen, auch mehrere Signale im Multiplex, Steuerinformationen, Zusatzdaten, auch unabhängige Audiosignale, feste oder variable Paketgrößen.

Steuerung:

Firewire ist als selbstkonfigurierendes Master-Slave-System aufgebaut; damit ist eine weitgehend beliebige Zuordnung der Geräte möglich. Eine externe Gerätesteuerung entfällt, sie ist im Übertragungssystem integriert. Dazu findet ein Datenaustausch über asynchrone Datenpakete zwischen dem jeweiligen „Controller“ und „Target“ statt, die „Funktion Control Protocols“ (FCP).

Die Steuerung des seriellen Busbetriebs

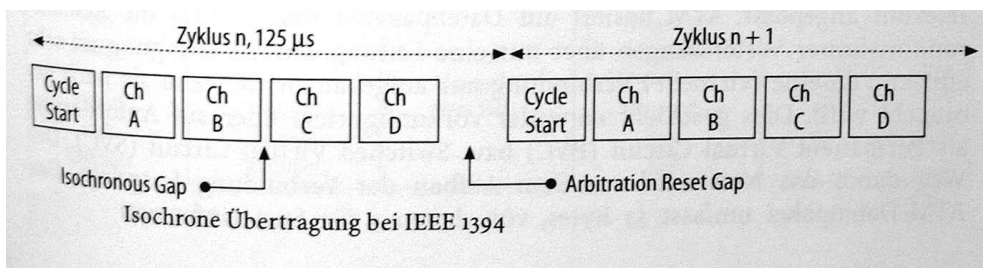
Zwischen den Anwendergeräten und dem Bussystem liegen intelligente Interface-schaltungen — „Plugs“ —, die alle notwendigen Befehls- und Statusregister sowie ausführliche Geräteinformationen der Hersteller enthalten. Dadurch kann der Controller ein Target optimal bedienen. Jeder Plug kann als Knoten im Netz die Steuerung als Controller übernehmen, wenn ein Busreset-Prozess abgeschlossen ist. Diese Technik ist den Bustechniken der Mikrocomputer mit DMA sehr verwandt (ISO/IEC 13213). Die Register sind Cycle-Time und Bus-Time Register für zeitkritische Übertragungen,

Statusregister für Busmanagerfunktionen, Bandbreitezuteilung und Kanalzustand. Die Gerätedaten stehen im ROM bereit, einschließlich der Herstellerfirma und der Softwareversion.

Die Übertragung isochroner Daten im Echtzeitbetrieb

Videoübertragungen im Echtzeitbetrieb laufen im Firewire als so genannte isochrone Daten. Ein Controller sendet sie an ein oder mehrere Targets über speziell eingerichtete isochrone Kanäle. Ein Busbetrieb im System ist nur möglich, wenn ein Controller aktiv ist und wenigstens ein isochroner Kanal geschaltet ist, denn nur dann steht ein Taktsignal zur Verfügung. Jeder isochrone Kanal sollte möglichst nur einen Datenstrom führen, auf dem Bus können aber gleichzeitig mehrere isochrone Kanäle aktiv sein. In jedem Taktintervall muss mindestens ein isochroner Block gesendet werden zur Synchronisation der Abläufe; sind keine Daten verfügbar, füllt der Controller Stopfböcke ein.

Im Sender stehen die Parameter des Kanals im „Output Plug Control Register“, die allgemeinen Daten im „Output Master Plug Register“. Der Empfänger hält in einem „Input Plug Control Register“ für jeden isochronen Kanal die erforderlichen Informationen bereit; für die generellen Daten aller Empfangskanäle gibt es das „Input Master Plug Register“. Die „Plug Control Register“ können über asynchrone Busoperationen (Bus Info Blöcke) von anderen Geräten aus oder vom Sender/Empfänger selbst verändert werden, hierfür schreibt die Norm spezielle Protokolle vor, die „Connection Management Procedures“ (CMP); damit können sogar Controller während des laufenden Betriebs ihre Funktion an andere Geräte abgeben.



Broadcast-Übertragungen

Broadcast-Kanäle sind zusätzliche Übertragungen auf dem Bus und haben geringere Priorität als isochrone Kanäle. Dafür erlauben sie eine bessere Ausnutzung des Bussystems, denn die Broadcast-Übertragungen können von bestehenden isochronen Kanälen überlagert werden.

Sie können auch von jedem Plug aus unterbrochen werden, wenn eine isochrone Verbindung neu aufgebaut wird. Es besteht insofern keine Garantie für die komplette Datenübertragung, der Empfänger muss gegebenenfalls die Verbindung erneut anfordern.

Abkürzungen

AV/C Audio Video Control
 CHF CIP Header Field
 CIP Common Isochronous Packet
 CMP Connection Management Procedures
 CSR Command and Status Register CTS Command/Transaction Set CRC Cyclic

Redundancy Check Code EOH End Of CIP Header FCP Function Control Protocol
 IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers
 iPCR Input Plug Control Register
 iMPR Input Master Plug Register
 oPCR Output Plug Control Register
 oMPR Output Master Plug Register

