

Ethernet-Szenarien

Das betagte Protokoll entwickelt sich zur Allround-Netzlösung

Kai-Oliver Detken

Besonders seit 1993 wurde es notwendig, Ethernet weiterzuentwickeln, da andere Netztechniken aus dem WAN-Umfeld in den LAN-Bereich vorstießen. ATM etwa trat damals an, Ethernet hier Konkurrenz zu machen – es bot die Möglichkeit, große Backbone-Netze auch im Unternehmen einzurichten. Erst mit der Entwicklung von Gigabit Ethernet 1999 wurde ATM wieder langsam ins WAN zurückgedrängt. Gigabit Ethernet (GE) und 10-Gigabit-Ethernet (10GE) räumten nicht nur die Nachteile der Entfernungsbeschränkung aus, sie ermöglichten auch Funktionen, die vorher nur ATM vorbehalten waren (z.B. Class of Service, Virtual LAN). Und mit der Glasfasertechnik konnten nun Entfernungen von bis zu 60 km überbrückt werden. Auch wenn die ersten Ansätze proprietär waren, war dies das Startsignal für den Aufbruch von Ethernet ins WAN – und zu weiteren neuen Möglichkeiten.

Heute gibt es so viele Ethernet-Varianten, daß man sie kaum mehr regional einordnen kann. So existiert das Protokoll als Ethernet over Dark Fiber, Ethernet over SONET/SDH (Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy), Ethernet over ATM (Asynchronous Transfer Mode), Resilient Packet Ring (RPR) nach IEEE 802.17 und Ethernet over IP/MPLS (Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching). Auch die Entwicklung von sog. Ethernet Services wird vorangetrieben und über unterschiedliche Netze wie ATM, IP/MPLS, SONET/SDH und WDM (Wavelength Division Multiplexing) angeboten werden. ITU-T ihrerseits paßte Ethernet inzwischen an SDH- und MPLS-Netze an. Demzufolge kann man davon ausgehen, daß Ethernet einen weiteren Aufschwung erleben und sogar direkt in die Haushalte demnächst Dienste wie Video on Demand und HDTV liefern wird.

VLAN-Tagging/-Stacking

VLANs (Virtual LAN) erlauben die Konfiguration von Benutzergruppen unabhängig von der physischen Infrastruktur. Damit findet eine Entkopplung der logischen Arbeitsgruppe von der physischen Netztopologie statt. Da die Zuordnung der einzelnen Arbeitsstationen zu einem Segment in der Regel durch ein Netzmanagement erfolgt, sind auch Veränderungen während des laufenden Betriebes möglich. VLANs sind grundsätzlich einer Broadcast-Domäne gleichzusetzen. Sie können daher als Gruppe von Stationen interpretiert werden, die möglicherweise auf unterschiedlichen physischen LAN-Segmenten residieren, aber logisch so zusammenarbeiten, als gehörten sie dem gleichen LAN an. VLANs besitzen folgende Eigenschaften:

- VLANs bilden eine Broadcast-Domäne, so daß Mitglieder nur Broad-

casts aus ihrem eigenen VLAN erhalten, gegenüber den Broadcasts anderer VLANs aber abgeschirmt sind und somit die Broadcast erzeugende Netzlast verringert wird;

- der Datenverkehr über Router wird minimiert;
- VLANs erhöhen die Sicherheit;
- alle Mitglieder eines VLAN werden unabhängig von ihrer physischen Lage auf logischer Ebene gruppiert;
- alle Änderungen der Gruppenzugehörigkeit, wie das Löschen, Hinzufügen oder Umziehen eines Mitgliedes, können per Managementsoftware erfolgen;
- zwischen den Mitgliedern eines VLAN ist kein Routing notwendig, zwischen unterschiedlichen VLANs ist jedoch ein Routing erforderlich.

IEEE 802.1Q wurde entwickelt, um die proprietären Lösungen unterschiedlicher Hersteller in einen Standard zu fassen. Somit konnten VLANs auf allen im Netz vorhandenen Switchen verschiedener Hersteller implementiert werden, und diese können miteinander kommunizieren. Diese Kommunikation innerhalb eines VLAN über verschiedene Switches (verschiedener Hersteller) wird nur durch den 802.1Q-Tag-Header möglich und

Das Thema in Kürze

Ethernet ist noch immer auf dem Vormarsch. Hatte man vor rund zehn Jahren gedacht, daß ATM einmal Ethernet im LAN ablösen würde, um eine durchgängige Netztechnik vom LAN bis zum WAN nutzen zu können, hat sich der Trend gedreht: Heute sieht es eher nach einer durchgängigen reinen Ethernet-Lösung aus. Und es sind noch ganz andere interessante Szenarien mit Ethernet vorstellbar, von denen einige im Beitrag vorgestellt werden.

VLAN-Tagging genannt. Als Tagging wird der Prozeß beschrieben, einen Marker (Tag) in den Frame mit einzu-binden. Der Tag ist eine Nummer, die das VLAN, das zum Ethernet-Paket gehört, kennzeichnet. Hier spricht man von der VLAN ID. Das Tagging dient dazu, dem Switch zu signalisieren, zu welchem VLAN das zu verarbeitende Ethernet-Paket gehört.

Beim Empfangen des Paketes wird nach einer VLAN ID im Frame gesucht. Wird diese gefunden, wird das Paket nur an die entsprechenden VLAN Member (Ports) gesendet. Beim Senden eines VLAN-Ethernet-Frames fügt der Switch dem Frame direkt nach der Feststellung der Ziel- und Quell-MAC-Adressen den Tag Header hinzu. Mit dem Hinzufügen des VLAN-Tags wird der Ethernet-Frame um 4 byte größer, als in IEEE 802.3 mit 1.518 byte standardisiert wurde. Nach IEEE 802.3ac ist es nun möglich, die max. Größe des Ethernet-Frames auf 1.522 byte zu vergrößern.

Netz- und Service-Provider erfahren eine verstärkte Nachfrage nach durchgängigen Ethernet-Lösungen über den MAN- und WAN-Bereich (Metropolitan Area Network bzw. Wide Area Network), wobei VLAN-Strukturen transparent über das Provider-Netz transportiert werden müssen. Mit dem Ansatz VLAN-Stacking (Q in Q oder MAC in MAC) wurde eine Technik entwickelt, die diesen Anforderungen gerecht wird. Sie besteht u.a. durch den Verzicht auf komplexe Protokollkonvertierungen sowie durch Einsparungen bei den operativen und investiven Kosten. Das heißt, es werden in großen Netzen zur Absicherung von unterschiedlichen Datenströmen VLANs eingesetzt, die ineinander verschachtelt sind und bereits auf der Schicht 2 eine Unterscheidung ermöglichen. So kann man nur mit der Ethernet-Technik Kundennetze realisieren, ohne auf komplexe Techniken wie MPLS zurückgreifen zu müssen. Den virtuellen Netzen gehört zweifellos die Zukunft. Momentan ist jedoch zu viel Erwartung fehl am Platz, da hauptsächlich proprietäre Lösungen am Markt angeboten werden. Viele propagierte Möglichkeiten virtueller Netze sind noch gar nicht voll-

ständig implementiert worden. Hinzu kommt, daß der Standard eine VLAN-Anzahl von nur 4.096 erlaubt, was bei großen MANs schon zu Problemen führen könnte.

MPLS-Metronetze

Daß Ethernet immer weiter in den WAN-Bereich Einzug hält, macht auch die Entwicklung des 10GE-WAN-PHY-Standards IEEE 802.3ae deutlich, der 2002 abgeschlossen wurde. Er wurde von Anfang an als LAN- und WAN-Technik definiert und kürzlich sogar um Kupfer erweitert. Interessanter für die WAN-Umgebung ist aber die Tatsache, daß 10GE neben der Beibehaltung des Ethernet-Frames sieben physische Schnittstellen für existierende LAN- und WAN-Verkabelungstypen anbietet. So wurde z.B. eine Schnittstelle definiert, die sich an die Datenraten und Protokolle des SONET OC-192 bzw. SDH STM-64 anlehnt. SDH stellt die grundlegende Infrastruktur auf der Backbone-Ebene moderner Telekommunikationsnetze dar und kann dadurch mit Ethernet kostengünstig erweitert werden.

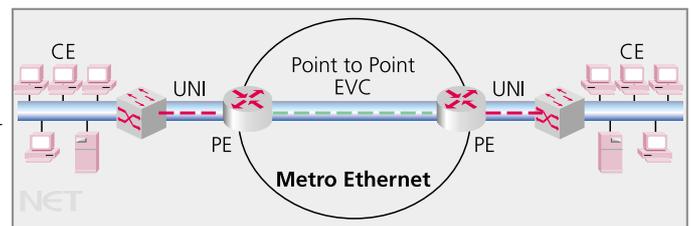
Mit dem SDH-Framing, der Anpassung auf die SDH-Technik, lassen sich Ethernet- und SDH-Techniken sehr einfach miteinander verbinden. Im Gegensatz zu SDH stellt 10GE ein asynchrones Übertragungsprotokoll dar, bei dem die Timing- und die Syn-

Die Service Provider sind auf der Suche nach neuen Skalierungsmöglichkeiten, da ihre Netze in letzter Zeit immer umfangreicher wurden. Die neue 10GE-Technik ermöglicht den Aufbau neuer Metronetze, auch auf Basis von MPLS. Bei einem MPLS-Szenario mit Schicht-2-Einkapselung beispielsweise sind zwei MPLS-Labels in einem Ethernet-Frame vorhanden, basierend auf der Zielort-MAC-Adresse, Port- und 802.1Q-Informationen und dem Eingangsknoten. Das erste Label ist das Tunnel-Label, das den Weg durch das Provider-Netz bestimmt. Das zweite Label, das Virtual Circuit Label (VC), wird durch den Eingangsrouter gekennzeichnet und bestimmt, wie mit dem Frame verfahren wird (z.B. zu welchem Unternehmensstandort der Frame geschickt wird). Das zweite Label ist für das Metronetz nicht sichtbar und wird erst an seinem Bestimmungsort wieder verwendet. Durch die MPLS-Technik können somit Metro-Ethernet-Service-Provider Netze für eine hohe Anzahl von Teilnehmern aufbauen, indem die Teilnehmer-IDs (VLANs) auf einen Label Switched Path (LSP) im MPLS-Netz abgebildet werden.

Dieses Szenario kann ebenfalls durch Tag-Stacking realisiert werden, indem VLAN-Tags ausgenutzt werden. Dabei würde es sich um ein gebridgtes MAN handeln, das durch das Spanning Tree Protocol (STP) erweitert werden müß-

E-Line Service Type, basierend auf EVC

CE – Customer Equipment; UNI – User Network Interface; PE – Provider Edge; EVC – Ethernet Virtual Connection



chronisationsbedingungen jeweils nur für ein übertragenes Zeichen gelten. Jede aktive Komponente darf eine unabhängige Synchronisation vornehmen. Die Kopplung der verschiedenen Taktdomänen erfolgt dabei über Store-and-Forward-Geräte wie Brücken, Router oder Repeater. Auf diese Weise lassen sich 10GE-Komponenten zur physischen Übertragung mit viel geringeren Kosten implementieren als ihre SDH-Gegenstücke.

te, damit eine Vermaschung ermöglicht werden kann. Aufgrund der großen Verzögerungen von STP sowie der schlechten Skalierbarkeit sollte heute allerdings auf das Rapid STP (RSTP) nach 802.1w zurückgegriffen werden. Hierdurch können auch Verbindungsfehler innerhalb von 1 bis 2 s ausgeglichen werden. Mittels dieser Virtual MANs (VMAN) und VLAN-Translation sind Provider nun in der Lage, das sog. Triple Play (Sprache,

Daten und Video) über Metro-Ethernet-Netze anzubieten. So kann man eine Skalierbarkeit von 4.096 VLANs je Metronetz ermöglichen. Die VLAN-Translation hilft den Providern schließlich, die Zahl der VLANs auf das notwendige Minimum zu reduzieren und trotzdem die erforderlichen Anforderungen an die Sicherheit zu erfüllen.

Metro Ethernet Services

Neu ist der Ansatz, neben den Metronetzen jetzt auch Metro Ethernet Services (MES) zu entwickeln. Dafür wurde eigens das Metro Ethernet Forum (MEF) gegründet. Es definiert eine Anzahl neuer Ethernet-Dienste, basierend auf den Netzverbindungsmöglichkeiten. Dabei lassen sich die Hauptarten Ethernet-Line (E-Line) und E-LAN-Services unterscheiden.

Der E-Line-Service ist in der Lage, virtuelle Punkt-zu-Punkt-Verbindungen in Metronetzen bereitzustellen, wie im *Bild* auf Seite 31 gezeigt. Dadurch ergeben sich wieder neue Dienste, die u. a. in Ethernet Private Line (EPL) und Ethernet Virtual Private Line (EVPL) unterteilt wurden. Service-Multiplexing mit mehreren EVCs ist ebenfalls möglich, so daß ein physischer Port am CE zwei Ethernet-Dienste gleichzeitig anbieten kann. Bei Verbindung von mehr als drei Seiten miteinander muß auf den E-LAN-Service erweitert werden. Dadurch ist der Provider in der Lage, Switching- und Bridging-Funktionen an den Randgeräten des Netzes zur Verfügung zu stellen und beliebige LANs miteinander zu verbinden. STP muß dann ebenfalls verwendet werden, um Schleifenbildung innerhalb des Providernetzes zu verhindern.

Des Weiteren wird an einem Ethernet-Ring gearbeitet, der es ermöglichen soll, Ethernet in einer Ring-Topologie zu betreiben. Die Arbeitsgruppe heißt IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Working Group (RPRWG). Das Resilient-Packet-Ring-Zugriffsprotokoll ist zur Verwendung in Orts-, Großstadt- und Fernnetzen geeignet und erhöht die Skalierbarkeit. Der neue Standard wird vorhandene Physical-Layer-Spezifikationen nutzen und auch Erweiterungen entwickeln. Somit ist eine

Technik zur Ablösung der vorhandenen SDH-Technik vorhanden.

Zur optimalen Unterstützung aller Dienste ist nach wie vor Quality of Service (QoS) wichtig. Mit reiner Priorisierung war sie nicht erreichbar. Erst durch das Umsetzen von virtuellen Verbindungen für bestimmte Datenströme mittels MPLS- oder VLAN-Stacking-Technik kann eine QoS auch bei Ethernet in größeren Umgebungen garantiert werden. Die QoS-Anforderungen werden so für jeden Tunnel definiert und können eingehalten werden, da sie nicht durch andere Verkehrsströme beeinflusst werden. Um QoS umzusetzen, sind folgende Schritte notwendig:

- Klassifizierung des Datenverkehrs vom Customer VLAN (C-VLAN);
- Spezifizierung des geeigneten Verkehrsvertrags pro C-VLAN an der UNI-Schnittstelle;
- Puffer-Management;
- Tarifierung der Queues an den Netzknoten;
- Zulassungskontrolle zur Absicherung der Verkehrsströme;
- Traffic Management.

Darüber hinaus wurde für Operation, Administration und Maintenance (OAM) eine Spezifikation entwickelt, die folgenden Aufgaben lösen soll:

- Fehleranzeige und -behebung für Schnittstellen oder Stationen;
- Schleifenfunktion;
- Aufzeichnen des Datenverkehrs, der Fehler und der Zustände der Verbindungen.

Dadurch können Service Level Agreements (SLA) überprüft, Diagnosemöglichkeiten wie Jitter- und Round-Trip-Time-Messungen eingesetzt sowie Alarmfunktionen angewandt werden. Diese Funktionen haben SDH- und ATM-Netze immer schon bereitgestellt, sie können jetzt auch im Ethernet eingesetzt werden. Dies ist für das Betreiben großer WANs auch dringend notwendig.

Ethernet in the First Mile

Ein weiteres ehrgeiziges Unterfangen stellt die Standardisierung EFM dar. Hier möchte man die DSL-Strecken langfristig durch 10-Mbit/s-Strecken zum Heimanwender ablösen. Mögliche

Dienste für diese Bandbreiten sind etwa Video on Demand, das hochauflösende Fernsehen HDTV oder andere Multimediadienste. Drei Szenarien sind bisher standardisiert worden:

- Ethernet over the First Mile via Copper (EFMC): Punkt-zu-Punkt-Verbindung über normales Telefonkupferkabel für 750 m Länge bzw. Kabel der Kat. 1 bis 5 und der Datenrate von 10 Mbit/s;
- Ethernet over the First Mile via Fiber (EFMF): Punkt-zu-Punkt-Verbindung mit Single-Mode-LWL (Lichtwellenleiter) für 10 km Länge und Datenrate von 1.000 Mbit/s;
- Ethernet over the First Mile using Passive Optical Network (EPON): Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung mit LWL für 10 km Länge und Datenrate von 1.000 Mbit/s.

Der neue Standard soll kompatibel zur bestehenden Ethernet-Architektur sein. Die Bitübertragungsschicht enthält die Physical Medium Dependent (PMD) für das Kupferkabel bzw. für LWL. Neu hinzu kommt Ethernet over Very High Bitrate DSL (EoVDSL) mit Zugriff über Kupferkabel und Ethernet via LWL für Punkt zu Punkt oder Punkt zu Mehrpunkt nach EPON. Der Data Link Layer nutzt das bewährte MAC-Zugriffsverfahren aus dem CSMA/CD-Standard. Zwischen dem Physical Layer und dem Data Link Layer wurde noch eine Ethernet-MII-Teilschicht (Media Independent Interface) eingebettet. Bei den Netzen werden für die Teilnehmer das Heimnetz oder das LAN, an dem das Zugangs-/Verteilnetz endet, beschrieben.

Das Zugangs-/Verteilnetz wird vom Netzbetreiber betrieben und bietet Zugriff zum Zentralnetz des Diensteanbieters. Hier wirkt EFM mit einer hohen Datenrate. Das Zugangs-/Verteilnetz fängt beim Netzbetreiber in der Regel in der Vermittlungsstelle bzw. beim Zugangsknoten an. Es wirkt als Ein- und Ausgang zum öffentlichen Netz. Dieser Knoten empfängt, konzentriert und leitet die Daten zum oder vom Hochgeschwindigkeitsnetz zum Endteilnehmer. EFM besitzt das Potential, die heutigen DSL-Netze zu ersetzen. Allerdings muß dann der Service Provider sein vorhandenes Netz erneut umrüsten. (we)