

## Zusammenfassung Thema „Packet-Switching“ Technologien SS2008

### **Erklären Sie allgemein das Prinzip der Paketvermittlung („Packet switching“). Welches Zeitmultiplexverfahren liegt zu Grunde? Was sind Routingtabellen und wie können diese erstellt werden? Welche Funktion spielt die Adressierung in diesem Zusammenhang?**

Packet Switching ist die konsequente Umsetzung des Prinzips des statistischen Zeitmultiplexens in einer Netzwerkumgebung ausgehend von  $N*(N-1)/2$  Problem bei der Vernetzung von N Lokationen. Damit treten die Basiseigenschaften des statistischen Zeitmultiplexens wie variables Delay durch Pufferung, Adressierung und keine fixe Zuordnung von Bandbreite (Timeslots) zu Kommunikationsbeziehungen zwischen Endsystemen nun auch in der Netzwerkumgebung auf .

Der statistische Zeitmultiplexer, der nun i.a. mehr als ein Trunk-Port aufweist, heißt Packet Switch. Die Endsysteme werden über Access-Ports jeweils an den nächstgelegenen Packet Switch angeschlossen. Möchte ein Endsystem Daten senden, werden diese in ein Paket verpackt, mit Adressinformation versehen und an den lokalen Packet Switch übertragen. Der speichert das Paket zunächst zwischen, wertet die Adressinformation mittels Routing- oder Switching-Tabelle aus, stellt das Paket in die Warteschlange der abgehenden Leitung und sendet das Paket – wenn es an die Reihe kommt - schlussendlich Richtung Ziel weiter (Store and Forward Prinzip). Nachdem die Leitungen nach statischen Werten dimensioniert sind, ist die Wartezeit abhängig von der momentanen Statistik des Verkehrsaufkommens. Redundante Leitungen können für alternative Pfade bei Fehlern bzw. für Lastaufteilung Verwendung finden. Nachdem das Endsystem mit dem Packet Switch bezüglich Adressierung und Flow Control zusammenarbeiten muss, ist das Verfahren nicht mehr protokolltransparent. Endsystem und Switch müssen die selbe Sprache sprechen (bspw. X.25, IP, Frame-Relay, ATM).

In der Routingtabelle/Switchingtabelle ist im Prinzip abgespeichert, welche Zieladresse über welches Port erreichbar ist. Man kann das mit einer Wegweisertechnik vergleichen, wobei in jedem Packet Switch Wegweiser für ein bestimmtes Ziel derartig aufgestellt sind, dass ein Paket entlang der Wegweiser zum gewünschten Ziel weitergeleitet werden kann.

Alle auf Packet Switching basierenden Netzwerke, die „routable protocols“ verwenden, benötigen für Endsysteme eindeutige und strukturierte Adressen (OSI Layer 3). Strukturiert heißt, dass sich darin die Topologie in irgendeiner Form widerspiegelt (Beispiele dafür sind Net-ID/Host-ID bei IP oder Ländercode (+43 für A) bei Telefonnetzen).

(Anmerkung: Transparent Bridging (Ethernet Switching) ist auch Packet Switching (allerdings auf OSI Layer 2), verwendet aber unstrukturierte Adressen (MAC-Adressen), die keine Topologieinformation enthalten und daher auch nicht zusammengefasst werden können.)

Die Routingtabellen (die Wegweiser) können entweder statisch vom Netzwerkadministrator konfiguriert werden oder dynamisch unter Verwendung von Routingprozessen in den Packet-Switches und Routingprotokollen zur Kommunikation der packet-switches untereinander erstellt werden. Routing ist dabei der Prozess der Wegefindung, wenn mehr als ein Weg zum Ziel vorhanden ist. Routing Protokolle sind dabei die Kommunikationsmitteln der Packet Switches untereinander, um die Netzwerktopologie herauszufinden, alle Wege zu allen Zielen zu berechnen und den jeweils besten Weg zu einem Ziel in die Routingtabelle einzutragen.

Statisch heißt, dass bei einer Änderung der Topologie der Netzwerkadministrator händisch eingreifen muss. Dynamisch heißt, dass die Routingprotokolle Änderungen mitteilen und das entsprechend neue Wege automatisch ermittelt werden.

### **Erklären Sie den Datagramm-Dienst im Detail. Welche Dienststart (Service) liegt zu Grunde? Wie werden dabei Pakete weitergeleitet? Geben Sie Vor- und Nachteile dieser Methode an. Welche Netzwerktechnologien beruhen auf diesem Verfahren?**

Datagramm Dienst ist Packet Switching (OSI Layer 3 mit struktuierten Adressen) im „Connectionless Service Mode“ .

Endsysteme, die kommunizieren möchten, können das ohne eine Verbindung vorab aufzubauen. Die Weiterleitung („Forwarding“) der Pakete (in diesem Mode als Datagramme bezeichnet) erfolgt nur mittels Routingtabellen anhand des momentanen Zustands der Routingtabellen (anhand der Wegweiser zum Ziel).

Inkonsistente Routingtabellen (Wegweiser, die im Kreis zeigen) können dazu führen, dass Datagramme endlos kreisen. Um die Puffer nicht damit sukzessive zu verstopfen, muss ein „Kill“-Mechanismus vorgesehen sein (in IP wird dazu das TTL Feld verwendet).

Jedes Datagramm enthält die vollständige eindeutige und strukturierte Adresse. Jedes Datagramm wird unabhängig von anderen Datagrammen (die vielleicht ebenfalls zum selben Ziel transportiert werden sollen) vom Packet Switch behandelt. Damit können Datagramme einander überholen wenn bspw. durch Ausfall eines Knotens Rerouting über einen anderen Weg erfolgt. Es ist also nicht sichergestellt, dass die Datagramme in der gleichen Reihenfolge wie beim Absenden beim Ziel ankommen .

Datagramme können - bedingt durch Stau oder durch Bitfehler - von Packet-Switches verworfen werden (Packet Switches agieren ja „connectionless“). Eine Fehlerbehebung spielt sich außerhalb des Packet Switching Netzes ab (die Endsysteme

## Zusammenfassung Thema „Packet-Switching“ Technologien SS2008

müssen durch geeignete höhere Protokolle dafür sorgen; in Fall von IP übernimmt das TCP ). Man nennt das Datagramm Service daher auch Best-Effort Service.

Vorteile: Einfach in Packet-Switches zu implementieren (wenig Programmieraufwand); schnellste Art zu kommunizieren (weil kein Verbindungsaufbau) wenn alles in Ordnung ist; Protokolle sind nicht so komplex

Nachteile: Best-Effort Service; Fehler müssen von Endsystemen selbst beseitigt werden; Flow Control sehr mühsam oder gar nicht durchsetzbar; Ressourcenreservierung (Bandbreite, max. Delay) gar nicht oder nur mit zusätzlichem Aufwand erreichbar

Beispiele: IP, IPX (Novell), Appletalk, Banyan Vines, XNS, OSI CNLS, Apollo Domain, Decnet Phase IV

**Erklären Sie den Virtual Call-Dienst im Detail. Welche Dienstart (Service) liegt zu Grunde? Wie werden dabei Pakete weitergeleitet? Welche Aufgaben haben dabei Routingtabellen? Was sind Switching Tabellen, wie werden diese erstellt und wozu dienen sie? Geben Sie Vor- und Nachteile dieser Methode an. Welche Netzwerktechnologien beruhen auf diesem Verfahren?**

Virtual Call Dienst ist Packet Switching (OSI Layer 3 mit strukturierten Adressen) im „Connectionoriented Service Mode“.

Endgeräte, die kommunizieren möchten, müssen zunächst eine logische Verbindung aufzubauen, bevor Datenpakete übertragen werden können. Der Verbindungsaufbau erfolgt durch Weiterleitung von speziellen Call-Setup Paketen mittels der auch in diesem Mode vorhandenen Routingtabellen (Wegweiser für strukturierte Zieladressen). Beim Weiterleiten der Call-Setup Pakete werden allerdings zusätzlich noch Switchingtabellen aufgebaut, die dann das Weiterleiten („Forwarding“) der Datenpakete nach erfolgreichem Verbindungsaufbau bewerkstelligen. Call-Setup Pakete haben damit die gleiche Bedeutung wie die Signalisierung in Circuit-Switching Netzwerken (bspw. ISDN).

Call-Setup Paketen enthalten die vollständige, strukturierte Adresse und zusätzlich noch einen lokalen Connection-Identifizier (Kurzwahlkennzeichen). Dieser ist jeweils nur lokal auf einer Teilstrecke eindeutig und dient zur Unterscheidung der über diese Teilstrecke gelegten Verbindungen. Beim Weiterleiten wird ein Mapping des ankommenden Connection-Identifiziers zum abgehenden Connection-Identifizier in der Switching-Tabelle festgehalten. Datenpakete enthalten nur noch den lokalen Connection-Identifizier (aber keine komplette strukturierte Adresse), wobei sich der Connection-Identifizier von Teilstrecke zu Teilstrecke gemäß der Switchingtabellen ändert. Durch den Verbindungsaufbau wird quasi die Spur markiert, welche die Set-Up Pakete genommen haben. Die Spur ist in den Switchingtabellen festgehalten. Die Verbindung kommt zustande, wenn der gewünschte Teilnehmer den Verbindungsaufbau akzeptiert und bestätigt. Datenpakete folgen dieser Spur. Damit ist auch sichergestellt, dass die Pakete in der gleichen Reihenfolge wie beim Absenden beim Ziel ankommen (man nennt das Sequencing).

Endsysteme glauben nach erfolgreichem Verbindungsaufbau einen „point-to-point circuit“ (physikalischen Link) zu sehen, der durch die Connection-Identifizier am Anfang und Ende gegeben ist. Sie sehen quasi eine - durch diese Connection-Identifizier adressierbare - Transport-Röhre (pipe). Man spricht daher vom virtual (scheinbaren) circuit, weil natürlich tatsächlich Pakete von Hop-to-Hop über klassisches Store and Forward weitergeleitet werden. Durch Aufbau mehrerer virtual circuits kann ein Endsystem natürlich auch mehrere Verbindungen gleichzeitig unterhalten. Nach Fließen der Datenpakete werden Verbindungen üblicherweise wieder abgebaut. Der virtuelle Circuit unterscheidet sich vom echten Circuit des Circuit-Switchings durch die ererbten Eigenschaften des asynchronen TDMs (-> variables Delay).

Kommt es in einem solchen Netzwerk zu einem Ausfall eines Trunks oder Packet-Switches, so werden die davon betroffenen Verbindungen unterbrochen und die Endsysteme über spezielle Disconnect Pakete vom Bruch der Verbindungen informiert. Die Endsysteme müssen daraufhin die Verbindungen erneut mittels Call-Setup Paketen anfordern und es muss eine neue Spur durch das Netzwerk gezogen werden (Annahmen: Redundanz ist im Netzwerk vorhanden und dynamisches Routing hat die neue Situation in Routingtabellen bereits eingetragen bevor der neuerliche Verbindungsaufbau initiiert wird). Damit ist eine Reaktion auf einen Fehler auch in diesem Fall erst möglich, wenn das Routersystem konvergiert ist (d.h. wieder ein konsistenter Zustand der aufgestellten Wegweiser erreicht ist).

Ein Provider kann basierend auf dieser Technik entweder ein SVC (Switched Virtual Circuit) Service - mit „Circuits on Demand“ wie oben geschildert - anbieten oder ein PVC (Permanent Virtual Circuit) quasi als Standleitungersatz. Beim PVC fällt der Verbindungsaufbau und Abbau weg, weil die Switching Tabellen permanent vom Provider eingerichtet sind und diese Verbindungen permanent vorhanden sind. Daten-Pakete werden wie gewohnt mittels Switching Tabellen anhand des lokalen Connection Identifizier weitergeleitet.

Vorteile: Durch die Existenz einer Verbindung ist Ressourcenreservierung (Bandbreite, max. Delay, Quality of Service QoS) für eine Verbindung möglich; Flow Control zur Verhinderung von Stau im Netzwerk ist möglich; Ablehnung einer Verbindung bei Nicht-Vorhandensein der gewünschten QoS ist möglich; Error Recovery ist möglich weil ja prinzipiell verbindungsorientiert.

Nachteile: Verbindungsaufbau kostet Zeit; Implementierungsaufwand sehr groß; komplexe Protokolle

## Zusammenfassung Thema „Packet-Switching“ Technologien SS2008

Beispiele für Connection-oriented Packet Switching:

**X.25:** Local Connection Identifier = LCN (Logical Channel Number); „dichte“ Transportröhre durch Error Recovery auf jeder Teilstrecke (durch Bitfehler oder Stau verloren gegangene Pakete werden netzintern durch ARQ Techniken wiederholt); Flow Control hart durchsetzbar; Inband Signaling (Call-Setup Pakete fließen in der selben Röhre wie danach die Datenpakete); Pakete können variable Länge aufweisen.

**Frame Relay:** Local Connection Identifier = DLCI (Data Link Connection Identifier); „undichte“ Transportröhre durch Weglassen von Error Recovery (durch Bitfehler oder Stau können Pakete verloren gehen); Flow Control durch Congestion Indication ersetzt und daher andere Maßnahmen zur Sicherung des Netzes gegen Überlastung erforderlich (Traffic Contract, Traffic Policing, Traffic Shapping); Outband Signaling (Call-Setup Pakete fließen in einer separaten Röhre zwischen Endsystem und lokalen Frame Relay Switch); Pakete können variable Länge aufweisen.

**ATM (Asynchronous Transfer Mode):** Local Connection Identifier = VPI/VCI (Virtual Path Identifier / Virtual Channel Identifier); „undichte“ Transportröhre durch Weglassen von Error Recovery (durch Bitfehler oder Stau können Pakete verloren gehen); Flow Control durch Congestion Indication ersetzt und daher andere Maßnahmen zur Sicherung des Netzes erforderlich (Traffic Contract, Traffic Policing, Traffic Shapping); Outband Signaling (Call-Setup Pakete fließen in einer separaten Röhre zwischen Endsystem und lokalen ATM Switch)); Pakete konstanter Länge -> Zellen genannt (cell = 53Byte). Durch konstante Cell-Größe kann das Forwarding in Hardware realisiert (optimiert) werden (sehr kleines Swiching Delay). Weiters kann bei Einsatz von QoS Mechanismen (unterschiedliche Verkehrsklassen, Queueing pro Verkehrsklasse, Call Admission Control = wer darf bei gegebener Lage aufgrund seine geforderten QoS Bedarfs noch zusätzlich in das Netzwerk hinein) für echtzeitkritische Anwendungen das an und für sich auch hier vorhandene variable Delay nach oben hin begrenzt bzw. Der Jitter (Varianz des Delays) sehr klein gehalten werden (maximal kann ja nur eine Zelle einer niedrigen Verkehrsklasse gerade noch vor einer Zelle der höchsten Verkehrsklasse übertragen werden, bevor letztere weitergeleitet wird).