



openHPI-Kurs Wie funktioniert das Internet?

Paketvermittlung

Prof. Dr. Christoph Meinel
Hasso-Plattner-Institut
Universität Potsdam

Paketvermittlung (1/6)

Telekommunikationsnetze sind traditionell leitungsvermittelt

Leitungsvermittelte Netze – Switching Networks,
z.B. ursprüngliches Telefonnetzwerk

- Kommunikationspartnern wird stehende Verbindung zur Verfügung gestellt, die nicht von anderen Kommunikationsteilnehmern mitgenutzt oder unterbrochen werden kann
- Verbindung wird über viele verschiedene Vermittlungsstationen geschaltet
- Beim Verbindungsaufbau entsteht Wartezeit
- Übertragung selbst erfolgt mit minimaler konstanter Verzögerung
- Kommunikationsteilnehmern wird feste Datenübertragungsrate geboten
- Kommunikationskosten sind proportional zur Verbindungsdauer
- Bereits Ausfall nur einer Vermittlungsstation zerstört Verbindung

Paketvermittlung (2/6)

- Bei Computerkommunikation beobachtet man im Datenaufkommen sehr starke Schwankungen – es treten Zeitintervalle – „**Bursts**“ – mit maximaler Aktivität auf
- Um ausfallsicheren und fairen Zugriff für alle Kommunikationsteilnehmer auf die gemeinsame Netzwerkinfrastruktur zu gewährleisten, werden Rechnernetze **nicht** nach dem Prinzip der Leitungsvermittlung organisiert, sondern nach dem Prinzip der **Paketvermittlung**
- Paketvermittlung ist auch das Grundprinzip der Kommunikation im Internet

Paketvermittlung (3/6)

- Bei **Paketvermittlung** werden Nachrichten in kurze Datenpakete oder Pakete zerlegt → „**Fragmentierung**“
- Pakete werden einzeln und unabhängig voneinander übertragen und beim Empfänger wieder zur eigentlichen Nachricht zusammengesetzt → „**Defragmentierung**“
- Transportweg „**Route**“ der einzelnen Pakete durch ein Internet ist nicht von vornherein festgelegt, Absender muss nur den Wegabschnitt zur nächsten Vermittlungsstation kennen
- Optimale Wege durch ein Internet werden durch spezielle → **Routing-Algorithmen** bestimmt

Paketvermittlung (4/6)

Vorteile der Paketvermittlung:

- Hohe Netzauslastung – einzelne Pakete sind sehr klein, Wartezeiten bleiben für alle Teilnehmer gering
- Faire Ressourcenzuteilung – Netz bietet Teilnehmern gleichberechtigte Nutzung, Teilnehmer versenden abwechselnd nach Zeitmultiplexingverfahren jeweils ein Paket
- Schnelle Fehlererkennung – aufgrund der geringen Paketgröße können Übertragungsfehler schnell erkannt und behoben werden, lediglich fehlerhafte Pakete müssen erneut übertragen werden
- Hohe Ausfallsicherheit – fällt Vermittlungsstation aus, wird Verkehr einfach über andere Vermittlungsstationen geleitet

Paketvermittlung (5/6)

Damit Paketvermittlung funktioniert, müssen Datenpakete mit zusätzlichen Verwaltungsinformationen ausgestattet werden:
Im Internet wird jedem Datenpaket (Datagram) ein **Paketheader** vorangestellt mit

- Adressinformation – Internetadresse von Sender und Empfänger
- Paketnummer – zur Rekonstruktion der eigentlichen Nachricht werden Pakete fortlaufend nummeriert
- Fülldaten – eventuelle Auffüllung der einzelnen Paketfelder zur vorgeschriebenen Größe
- Fehlererkennungsmechanismen – Zusatzdaten zur Erkennung von Übertragungsfehlern, z.B. Paritätsbits, Prüfsummen, ...

Paketvermittlung (6/6)

Nachteile der Paketvermittlung:

- Überlast (Congestion) – da Übertragungsrouten nicht festliegen, kann es zur Überlastung bei einzelnen Vermittlungsstationen kommen – vorhandener Zwischenspeicher läuft über, Pakete gehen verloren
- Komplexes Kommunikationsprotokoll – Datenübertragung bei Leitungsvermittlung ist vollkommen transparent, Teilnehmer können kommunizieren, wie sie wollen. Bei Paketvermittlung müssen alle Netzteilnehmer gleichem Netzwerkprotokoll folgen
- Keine Dienstgütegarantie – keine konstante Bandbreite für die Übertragung garantiert, Verzögerung kann relativ groß werden

Im paketvermittelten Internet können neben verbindungslosen Netzwerkdiensten auch verbindungsorientierte Dienste angeboten werden:

- **Verbindungsloser Dienst** – die einzelnen Pakete einer Nachricht werden unabhängig voneinander auf eigenen Wegen durch das Internet transportiert
- **Verbindungsorientierter Dienst** – Sender und Empfänger gewinnen Eindruck einer stehenden Verbindung: vor Übertragung der Pakete einer Nachricht wird virtuelle Verbindung aufgebaut, sodass Sender und Empfänger einander „kennen“ und die Kommunikation eindeutig identifiziert ist
 - **Vorteile:** Evtl. Vertauschung der Pakete wird automatisch korrigiert, weitere Sicherungsmechanismen können angewendet werden, da Kommunikation eindeutig identifiziert ist
 - **Nachteile:** Übertragungs-Overhead für einfache Dienste zu aufwändig

Fehlererkennung und -korrektur (1/2)

Zur zuverlässigen Datenübertragung über störungsanfällige Übertragungsmedien werden Mechanismen zur **automatischen Fehlererkennung** und **Fehlerkorrektur** eingesetzt

Grundidee:

Ausstattung der Pakete mit Zusatzinformationen die helfen, Fehler zu erkennen und evtl. korrekten Inhalt des Pakets zu rekonstruieren, z.B.

- Prüfsumme – Summe über alle Datenbits eines Pakets:
 - Sender berechnet Prüfsumme eines Pakets und hängt diese an das Paket an
 - Empfänger berechnet Prüfsumme des empfangenen Pakets und vergleicht diese mit der übertragenen Prüfsumme
 - Bei Nichtübereinstimmung fordert Empfänger Paket neu an

Fehlererkennung und -korrektur (2/2)

Maß für Übertragungsfehler ist **Bitfehlerrate**

- über festen Zeitraum gemessenes Verhältnis zwischen Zahl der fehlerhaft übertragenen Bits und Gesamtzahl der übertragenen Bits

Zwei Ansätze zum Umgang mit Fehlern:

- **fehlererkennende Codes** dienen der Veranlassung einer Übertragungswiederholung
- **fehlerkorrigierende Codes** ermöglichen automatische Rekonstruktion im Fehlerfall

Fügen den zu übertragenden Paketen **Redundanz** hinzu

Wichtige Verfahren:

- Paritätsbits, Hamming-Code, Matrix-Paritätsprüfung, Prüfsummenverfahren, Blockcodes, Faltungscodes, ...