

1 Merkmale von Rechnernetzen

- Netzgrößen: LAN (< 5-10km), MAN, WAN (> 100 km)
- Tunneling: Netz I mit Technologie I kommuniziert mit N2 und sieht T II nicht
- Netzintegration:

PSTN	IP	GSM	⇒	Festnetz	Mobilfunknetz	⇒	IP, ATM /IP, SONET
------	----	-----	---	----------	---------------	---	--------------------

 disruptive technologies (störende technologies) werden main stream
 IP hat mainstream ISDN, ISDN/ATM ersetzt
- **echtzeit**(stromähnlich):
 - nicht tolerant ggü. Datenverlust (Robotersteuerung)
 - tolerant ggü. Datenverlust (VOIP, Stream, Telefon)
- **nicht echtzeit**(elastisch):
interaktiv, asynchron (webbrowsing, Email)

Vermittlungsprinzipien

- Durchschaltvermittlung (circuit switching)
 - Verbindung erhält durchgeschalteten Übertragungsweg für die gesamte Verbindungsdauer
 - Netz übernimmt i.a. keine Fehlersicherung
 - keine Zwischenspeicherung der Nutzdaten notwendig
 - Bsp: Fernsprechnet
- Speichervermittlung(store-and-forward switching)
 - Verbindung erhält einen physikalisch nicht dauernd belegten, jedoch logisch für die Verbindungsdauer zugeordneten Übertragungsweg
 - asynchroner Zeitmultiplex
 - kein Verbindungsaufbau und -abbau, aber hoher Vermittlungsaufwand
 - Sendungsvermittlung (message switching)
Datenpaket enthält gesamte zu sendende Nachricht
 - Paketvermittlung (packet switching)
Aufteilung der Nachricht in Pakete begrenzter Länge
- Vergleich: (t_0 Paketlänge, t_p Übertragung)

Durschaltvermittlung	⇔	Sendungsvermittlung	⇔	Paketvermittlung
$2t_p + t_0$		$2t_p + 2t_0$		$2t_p + 3/2t_0$
- Signalisierung mittels

Request	⇒	Confirmation	⇒
Confirmation	⇐	Response	⇐

2 Methoden zur Systemuntersuchung

2.1 Wahrscheinlichkeitsrechnung

Ergebnisraum = Ω , Versuchsergebnis = ω_1

Axiome

- 1) $0 \leq P(A_i) \leq 1$
- 2) $A_i \cap A_j = \emptyset \Rightarrow P(A_i \cup A_j) = P(A_i) + P(A_j)$
- 3) $\sum_i P(\omega_i) = 1$

- $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$
- **bedingte Wahrscheinlichkeit** $P(A | B) = \frac{P(A, B)}{P(B)}$
- **statische Unabhängigkeit** $P(A | B) = P(A)$ oder $P(A, B) = P(A) \cdot P(B)$
- **Bayes-Formel** $P(A_i | B) = \frac{P(B | A_i) \cdot P(A_i)}{P(B)}$

Zufallsvariable

eine Funktion, die jedem Elementarereignis eine reelle Zahl zuordnet
diskret (ganzzahlig) oder kontinuierlich (reell)

- Verteilungsfunktion $A(t) = P(A \leq t)$ (dabei ist A ZV)
komplementäre Verteilungsfunktion $A^c(t) = P(A > t)$
- gewöhnliche Momente ($g(A) = A^k \Rightarrow E[A^k] = \int_{-\infty}^{\infty} t^k \cdot a(t) dt$)
- Varianz $\text{VAR}[A] = m_2 - m_1^2$
- Transformation
diskret ZV: Verteilung \Leftrightarrow erzeugende Funktion
kontinuierliche ZV: Verteilungsfunktion \Leftrightarrow Laplace-Transformation
- Bernoulli-Versuch: Misserfolg oder Erfolg

Verteilungen

- Binomial-Verteilung $x(i) = P(X = i) = \binom{N}{i} (1 - q)^i q^{N-i}$
(z.B. Bitfehlerwahrscheinlichkeit)
- Geometrische Verteilung $x(i) = P(X = i) = q^i (1 - q)$
- Poisson-Verteilung $x(i) = \frac{y^i}{i!} e^{-y}$, $E[X] = y$
Ankunftsprozess mit negativ-exponentiell verteilten Zwischenankunftsabständen
- Verteilungsfunktionen
 - Deterministische Verteilungsfunktion (A konstant) $A(t) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ 1 & t \geq t_0 \end{cases}$
 - Negativ-exponentielle Verteilungsfunktion: $A(t) = 1 - e^{-\lambda t}$
 - Erlang-k-Verteilungsfunktion: $A(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$
A ist Summe von k Phase die negativ-exponentiell verteilt sind
 - Hyperexponentielle Verteilungsfkt: $A(t) = \sum_{i=1}^k p_i (1 - e^{-\lambda_i t}) = 1 - \sum_{i=1}^k p_i e^{-\lambda_i t}$
A ist zufallsabhängige Auswahl zwischen k unterschiedlichen negativ-exponentiell verteilten Phasen

2.2 Ergebnisse der Nachrichtenverkehrstheorie

Theorem von Little

x : Anzahl der Anforderungen im System

λ : mittlere Ankunftsrate des Ankuftsprozesses

$E[X]$: mittlere Anzahl von Anforderungen im System

$E[T]$: mittlere Aufenthaltszeit von Anforderungen im System

$$\lambda \cdot E[T] = E[X]$$

Kendall-Notation

GI[X] / GI / n - S

GI[X]: Typ des Ankunftsprozesses

GI: Typ des Bedienprozesses

n: Anzahl von Bedieneinheiten

S: Anzahl der Wartepätze (Verlustsystem)

- Wartesystem M/M/n- ∞
Poisson-Ankunftsprozess, negativ-exponentielle Bedienzeit
 \Rightarrow Warteschlangenlänge
- Verlustsystem M/M/n-0
 \Rightarrow Blockierungswahrscheinlichkeit
- Wartesystem M/GI/1- ∞ Poisson-Ankunftsprozess, allgemein verteilte Bedienzeit

3 Netze

3.1 Netzstrukturen

- Maschenstruktur: große Anzahl von Verbindungen
- Sternstruktur: weniger Verbindungswege, mehr Vermittlungsaufwand
- Ringstruktur: (Einfacher Ring, Dualring)
- Busstruktur
- Ethernet: physikalisch: Sternform, Steuerung: busorientierte CSMA-CD

Wichtige Netzparameter

Ausbreitungsverzögerung (propagation delay) $\tau = t_p = \frac{l}{v}$

Übertragungszeit $t_N = \frac{l}{C}$

Busgeschwindigkeit bzw. -kapazität C

Buslänge l

Ausbreitungsgeschwindigkeit v

Paketlänge L

logische Buslänge (bit) : $a_b = \frac{lC}{v}$ [bit]

logische Buslänge (Pakete) : $a_N = \frac{lC}{Lv}$ [Pakete]

3.2 Netzzugang & Zugriff

- Frequenzmultiplex
- Synchroner Zeitmultiplex (Pulse-Code-Modulation): 8 bit pro 125 μ sec
- Raummultiplex: Leitungsbündel
- Codemultiplex: orthogonale Codes
- Wellenmultiplex: verschiedene Wellenlängen

Zugriffsverfahren

- zentrale Steuerung: **Polling** (zyklisches Abfrageverfahren)
 - Roll-call-Polling
zentrale Steuerung erteilt Sendeberechtigung gemäß def. Reihenfolge
Hat Station nichts zu senden: Sendeberechtigung zurück, sonst Übertragung, dann Sendeberechtigung zurück
 - Hub-Polling
Sendeberechtigung wird von Station zu Station weitergeleitet. Am Ende des Zyklus erhält die zentrale Steuerung Sendeberechtigung zurück
- verteilte Steuerung: **Token-Ring**
Token wird reihum gereicht
nur ein System hat Token (Problem bei Verlust / Verdopplung) \Rightarrow Monitorstation
- Slotted-Ring: Ringumfang erhöhen: Zeitachse in Slots

Zufallsgesteuerte Zugriffsverfahren

- **Aloha**: Senden zum beliebigen Zeitpunkt, Empfang durch erkennen der Adresse
Kollisionserkennung mittels Station zur Kollisionserkennung oder ACK \Rightarrow Kollisionsauflösung durch zufallsabhängiges Verschieben des Sendevorgangs

Durchsatzberechnung

$$\text{Durchsatz } D = \frac{\text{Anzahl aller Versuche während einer Zeitspanne}}{t_0}$$

$$\text{Auslastung } p = D \cdot t_N$$

$$P_0 = P\{\text{kein weiteres Paket während des Kollisionsgefährdungsintervalls übertragen}\} = e^{-\sigma 2t_N}$$

$$D = \sigma \cdot e^{-\sigma 2t_N}$$

$$\Rightarrow \text{Maximum an der Stelle } \sigma = 0.5 \frac{1}{t_N} \text{ mit } D_{max} = \frac{1}{2et_N}, p_{max} = \frac{1}{2e}$$

- **Slotted-Aloha**: Einteilung der Zeitachse in konstante Slots
Sendeversuch nur zu Beginn eines Slots mit Slotlänge $T_{SL} = t_N + 2\tau$

Durchsatz

$$\text{Durchsatz } D = \sigma \cdot e^{-\sigma 2t_{SL}}$$

$$\text{Auslastung } p = D \cdot T_{SL}$$

$$\text{Maximum des Durchsatzes bei } \sigma = \frac{1}{t_{SL}} \text{ mit } D_{max} = \frac{1}{et_{SL}}, p_{max} = \frac{1}{e}$$

3.3 CSMA-CD und Ethernet

CSMA-CD(Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detection)
CS: jede Station hört am Bus mit und fängt erst an zu übertragen wenn Bus frei ist
Kollision möglich, Auflösung: Contention-Zustand(Kollisionszustand)
non-persistent: CS nur zu bestimmten Zeitpunkten
p-persistent: CS immer, falls Kanal frei wird mit Wahrscheinlichkeit p gesendet

Back-off-Algorithmus

Auflösung des Contention-Zustands:
nach einer Anzahl von k Kollisionen verschiebt eine Station den eigenen Sendevorgang um $1,2,\dots,2^k$ Slots mit Wahrscheinlichkeit $1/2^k$

- virtuelle Übertragungszeit: tatsächlich benötigte Zeit für Übertragung eines Pakets

Ethernet- Technologien

- **10Base2 Ethernet**: Bustopologie, Koaxialkabel
- **10BaseT und 100BaseT**: sternförmig, zentraler Hub(Konzentrator)
- **Hubs**: Repeater der Bitstrom von Eingabeport an die Ausgangsports befördert
- **Bridge**: können Rahmen mit LAN-Zieladressen weiterleiten und filtern
- **Switches**: leistungsstarke Bridges (mehr Schnittstellen)

Wireless LAN (WLAN)

- Zelle: enthält mehrere Stationen und zentrale Basisstation (AP)
- Disribution System: Mehrere verbundene APs
- Ad-hoc-WLAN: mehrere Stationen können sich selbst gruppieren

CSMA/CA (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
prüft Kanal ob er besetzt ist (keine Kollisionserkennung):

1. wenn Kanal min. ein DIFS (Distributed Inter-Frame Space)frei, darf Station mit Backoff beginnen + senden
Ü erfolgreich: Empfänger wartet SIFS und sendet ACK an den Sender zurück
2. Kanal besetzt: warten, falls DIFS frei, Backoffintervall warten und senden

- Hidden-Node Problem, falls A und C sich nicht sehen und zu B senden wollen

Collision Avoidance Mechanismus

- Duration: Dauer der Übertragung des Rahmens wird angegeben
- RTS (Request To Send) und CTS (Clear To Send) als Reservierungsmechanismus

3.4 Digitale Übertragungshierarchie

- Ziel: Standardisierung der Übertragungshierarchie von Übertragungssystemen
- SONET-Rahmenstruktur
 - Rahmen aus 90 Spalten x 9 Reihen
 - Steuerinformation (
 - Nutzinformation (Datenpaket)
- bei SDH & SONET byteweise Multiplexbildung
- Unterschiede heute zwischen beiden gering

3.5 Datenflusssteuerung und Verkehrslenkung

- Ziel: Kontinuierliche, gesicherte Datenübertragung
- **Handshaking-Verfahren**
Senden - Warten auf ACK oder NAK
Dauer $t_N + 2t_p$
- **Go-Back-n-Protokoll**
Pakete werden kontinuierlich gesendet ohne auf einzelne Quittierung zu warten;
Zeitüberwachung: falls diese bei Paket i abläuft wird ab Paket i wieder gesendet;
keine Zwischenspeicherung, Empfang strikt nach Reihenfolge
- **Fenster-Protokolle**
Sender darf in vorgegebenen Rahmen (Sendefenster) Pakete kontinuierlich senden
Empfänger kann Anzahl von Paketen zwischenspeichern, die außerhalb der Reihenfolge kommen
- Ratenbasierte Datenflusssteuerung
Steuerungsaufwand steigt bei kleine Paketen durch ACK/NAK an
- **Verkehrslenkung:**
Aussuchen eines kostengünstigen Weges vom Ursprung zum Ziel
 - feste Verkehrslenkung (starre Routing-Tabelle)
 - alternative Verkehrslenkung (flexiblere Routing-Tabelle)
 - adaptive Verkehrslenkung (Berücksichtigung des aktuellen Zustands)
zentral (Netzwerkkontrollzentrum) oder
dezentral (Nachbarknoten tauschen Informationen untereinander aus)

4 Verbindungsnetzwerke

4.1 Verbindungsnetzwerke für Durchschaltvermittlung

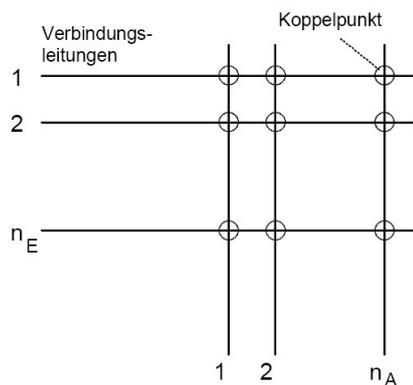
Koppelnetz

Weg ist für die gesamte Verbindungsdauer reserviert

$n_E \cdot n_A$ Koppelpunkte

Raummultiplex

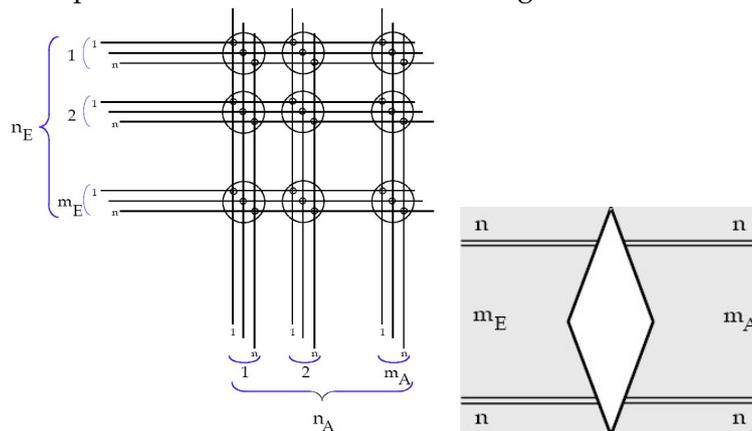
- Jede Eingangsleitung kann mit jeder Ausgangsleitung verbunden werden
- in der Realität zu viele Koppelpunkte und Leitungen nötig



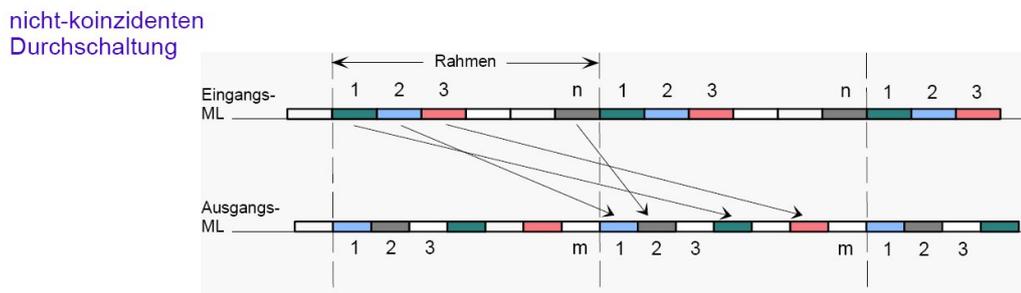
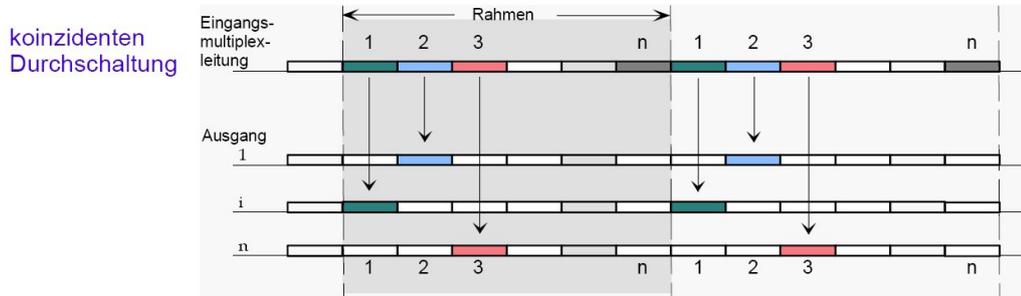
Zeitmultiplex

- Raumstufe
koinzidente Durchschaltung: nur Zeitlagen gleicher Ordnungsnummer können durchgeschaltet werden

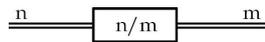
Prinzip der koinzidenten Durchschaltung



- Zeitstufe
Eingangs- und Ausgangsmultiplexleitungen können unterschiedliche Anzahl von Zeitlagen (time-slot) besitzen;
auch Zeitlagen ungleicher Ordnungsnummer können durchgeschaltet werden (Zwischenspeicherung notwendig)

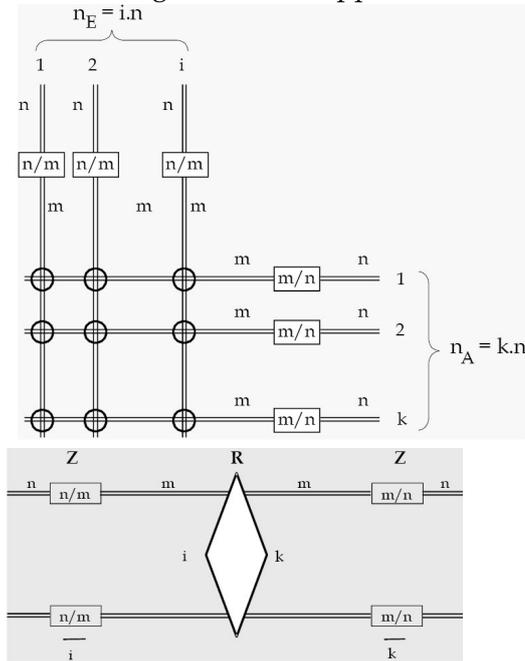


Schaltbild

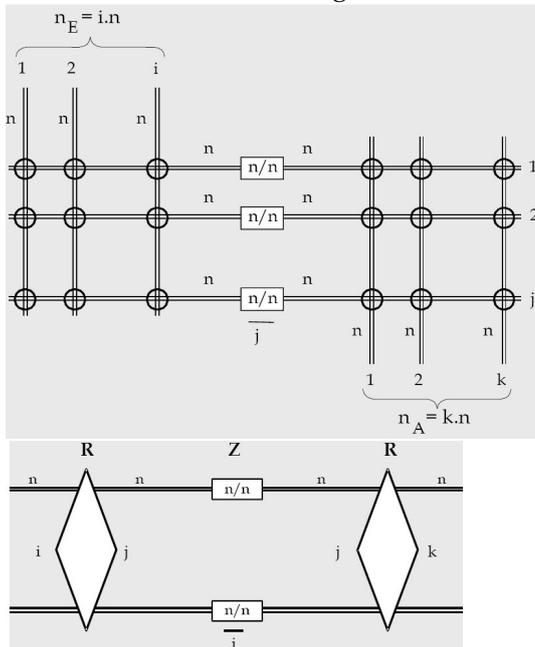


- interne Blockierungsfreiheit
Zwischen einer freien Eingangsleitung und einer freien Ausgangsleitung ist eine Durchschaltung stets möglich

- ZRZ-Struktur (Zeit-Raum-Zeit)
eine Leitung muss das doppelte an Zeitslots tragen



- RZR-Struktur (Raum-Zeit-Raum)
intern blockierungsfrei
ohne innere Takterhöhung

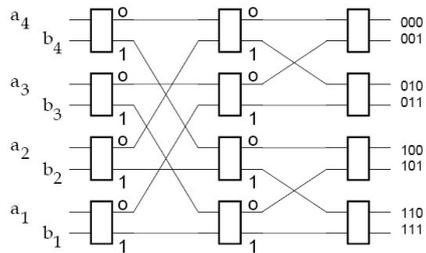


4.2 Verbindungsnetzwerke für Paketvermittlung

- konstante Paketlänge: Zeit wird diskretisiert in Paketübertragungsdauer bzw. Slots
- Input Queueing, Output Queueing, Combined Input/Output Queueing, Combined Input/Shared Queueing

Banyan-Netze (self-switching networks)

- Intern blockierungsfrei



monotone Folgen in entgegengesetzter Richtung

- Output-blockierungsfrei: nur wenn Adressen ungleich
- Vermeidung interne Sortierung mit Batcher-Banyan-Netzen (Komplette Sortierung)
Sortiernetz - Verbindungsnetz

5 Kommunikationsprotokolle

Interprozess-Kommunikation

Zwei Prozesse, die mittels endlicher Automaten dargestellt werden kommunizieren miteinander (Austausch von Botschaften)

zwei Paare von Primitiven:

- Request - Confirmation
- Indication Response

- Endsystem: enthält Verarbeitungsinstanzen
- Transitsystem: stellt Verbindungen zwischen Endsystemen her
- im LAN: Aufteilung der Physical und Data Link Schicht

Das ISO-Architekturmodell

1. **Physical Layer** (Bitübertragungsschicht: Hub)
ungesicherte Verbindungen zur Übertragung von Datenströmen
Bereitstellung von mechanischen, elektrischen Hilfsmitteln
2. **Data Link Layer** (Sicherheitsschicht: Switch)
Gewährleistung einer sicheren, fehlerfreien Übertragung
Steuerung des Zugriffs, Paketierung, Kanalcodierung
ohne Vermittlungsfunktion
3. **Network Layer** (Vermittlungsschicht: Router)
bei durchschaltvermittelten Diensten: Steuerung von Verbindungen
bei paketorientierten Diensten: Weitervermittlung von Datenpaketen
wichtigste Aufgabe: Routing = Verkehrslenkung
4. **Transport Layer** (Transportschicht)
erweitert Endsystemverbindungen zu Verb. zwischen Benutzern bzw. Teilnehmern
unterste Schicht mit vollständiger Ende-zu-Ende Kommunikation
Quality of Service
5. **Session Layer** (Kommunikationssteuerungsschicht)
Durchführung und Beendigung einer kommunikationsorientierten Sitzung
6. **Presentation Layer** (Darstellungsschicht)
verschiedene Datenformate werden in ein einheitliches Format transformiert
z.B: ASCII, UNICODE, Verschlüsselung
7. **Application Layer** (Verarbeitungsschicht)
Festlegung der eigentlichen Anwendung, Informationsverarbeitung
Anwendungsprozess oberhalb der Schicht
WWW, E-Mail, DNS

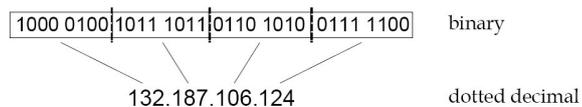
6 Internet

6.1 Structure and Basic Mechanisms

ISO/OSI	TCP/IP	
Application	Application	FTP, Telnet, WWW, DNS
Presentation	empty	
Session	empty	
Transport	Transport	TCP, UDP
Network	Internet	IP
Data Link	Host-to-Network	802.x, X.21, X.25
Physical		

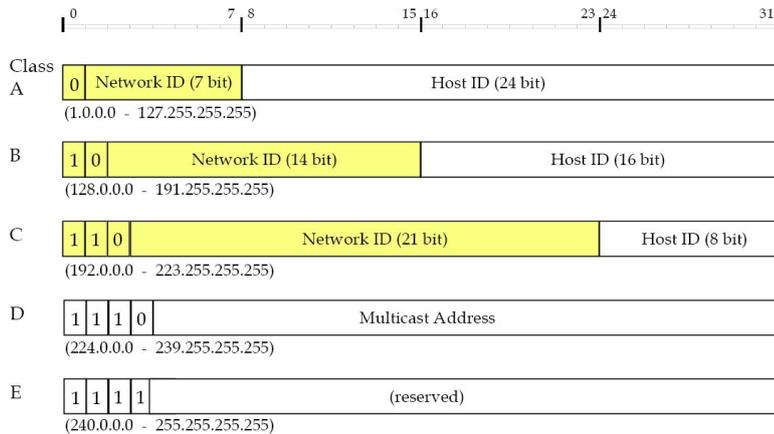
- **Application:** z.B. HTTP, SMTP, FTP
- **Transport:** transport of application-layer messages between end system, hosts or applications in hosts
 verbindungsorientiert: TCP (Transmission Control Protocol), virtueller Kanal
 verbindungslos: UDP (User Datagram Protocol) über Ports, unempfindlich ggü. verlorengegangenen und unsortierten Daten
- **Network:** delivers datagrams to destination host (routing)
- **Link:** delivers datagrams to next node along the route
- **Physical:** moves individual bits within the frame from one node to next node

- **End-to-end principle:**
 End systems have equal roles on network and transport layer, distinguished on application layer (client, server, peer)
- **Internet core:** network of networks (tiered hierarchy of ISPs)
- **IP Addresses Version 4 (IPv4 - 32 bit address)**

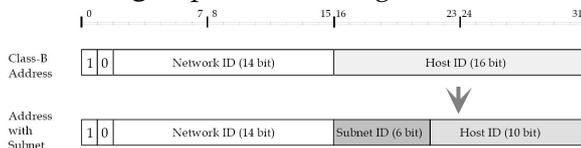


- **Interface:** Boundary between host/router and interconnection link
- **IP address:** address of an interface
- **Netmask:**
 Efficient packet handling: fast identification of network and host part
 Length of 1 bits represent network part: /x
 IP-Address and netmask = network address

- **Classful addressing:** IP address class are A, B and C



- **Subnetting:** separation of large networks into subsystems



- **Classless Interdomain Routing (CIDR)**

the number x in classful addressing must be 8, 16 or 24

a.b.c.d/x, where x is number of bits in network portion

Routing protocols not dealing with individual network addresses, but prefixes

- **Address Resolution Protocol (ARP)**

data link layer communication is based on hardware addresses (MAC)

network layer communication is based on IP addresses

ARP: mechanism to find out hardware address when only IP is known

ARP broadcast to all hosts in local network with own IP and hardware address

- **Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)**

Enables hosts (DHCP clients) to obtain their IP config from a dedicated server (DHCP server) with UDP (ports)

- **Domain Name System (DNS)**

Name Server: Keeping information (distributed directory for Internet names)

Request to DNS: Dotted Decimal Notation of address

Distributed Directory System: queries iteratively or recursively (hierarchy)

- **Network Address Translation NAT**

connecting invisible machines and private networks to the Internet

Translation: all datagrams leaving local network have same single source NAT IP address (different port numbers)

Problem: routers work on layer 3, NAT requires 4

6.2 Internet Protocol (IP)

IP transmits data using datagrams (Datenpakete). Datagrams can be fragmented.
IPv6: more address space (16 Byte address)

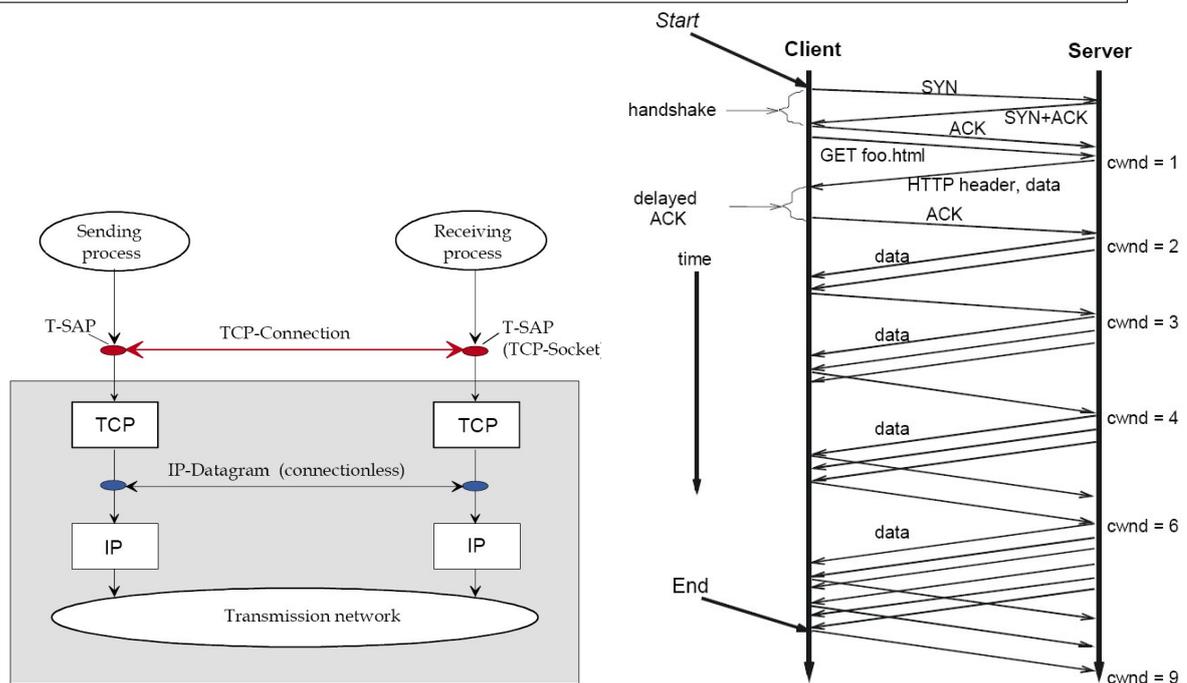
6.3 Transmission Control Protocol (TCP)

TCP is connection oriented, offers a reliable (zuverlässig) end-to-end byte stream to application processes

TCP connection between two TCP sockets (addresses), full-duplex and point-to-point

TCP socket consists of an IP-Address (32 bit) and a TCP port number (16 bit)

TCP transmits data in Segments (TCP data packet); fits in an IP datagramm



- Delayed ACKs: two IP packets are acknowledged together with one ACK
- The aim of the TCP bandwidth sharing using flow- and overload control is to distribute the transmission capacity as equally as possible

Congestion Window

actual window size: Congestion Window (CWND): number of unacknowledged allowed segments

Threshold to limit CWND

Start: CWND grows exponentially *Congestion Avoidance:* after reaching THRESHOLD, CWND grows linearly

When a 3rd duplicate ACK event occurs / timeout event

- $\text{THRESHOLD} = \text{CWND}/2$

- $\text{CWND} = 1$

Retransmission of lost segment

Fast Recovery: schnellere Reaktion auf Paketverlust

6.4 Routing in the Internet

Forwarding

decides on how an incoming packet is to be relayed to

Routing

is the process to be performed in order to find a cost-effective way through a network from a source to a destination data traffic

- network nodes acquire and communicate routing information by exchanging routing-related IP datagrams
- destination IP address is in the same subnet: first hop
- destination IP address is not in the subnet: standard or default gateway

IP routing

single path routing (all packets originating from a single source are routed on the same path)

Distance-vector

each node knows the cost of the link to each of its directly connected neighbors

each node talks only to its directly connected neighbors: it informs them everything it has learned

Each router constructs and maintains distance table with distance and shortest path to each node in the network

Link-state

every node knows how to reach its directly connected neighbors

each node communicates to all other nodes, but informs only what it exactly knows

Flooding means that a node has to send its link-state information out on all of its directly connected links

Dijkstra shortest-path algorithm

```
M = {s} bis jetzt erdigte Knoten
for each n in N - {s}
    C(n) = l(s,n) Kosten von s nach n, falls bekannt
while ( N ≠ M)
    M = M ∪ {w} sucht that C(w) is Min for all w in (N - M)
    for each n in (N-M)
        C(n) = MIN(C(n), C(w) + l(w,n))
```

- when the network topology changes: flooding mechanism
- Dijkstra does not generate much traffic
responds rapidly to topology changes or node failures

Routing Information Protocol (RIP)

RIP sets all link costs to 1; the metric used by RIP is hop count
optimal route: minimum number of hops (max. 16 = ∞)

Open Shortest Path First Protocol (OSPF)

uses Dijkstra shortest-path algorithm: individual link cost

Border Gateway Protocol (BGP)

standard inter-domain routing protocol for the public Internet
distance vector routing protocol
peers exchange detailed path information rather than cost information

6.5 IP Network Management

Simple Network Management Protocol (SNMP)

management standard for IP networks
regelt die Kommunikation zwischen den überwachten Geräten (Router, Switch, PC,...)
und Überwachungsstation und Management
Organisation: zentral, dezentral, verteilt
connectionless transport of control commands, using UDP

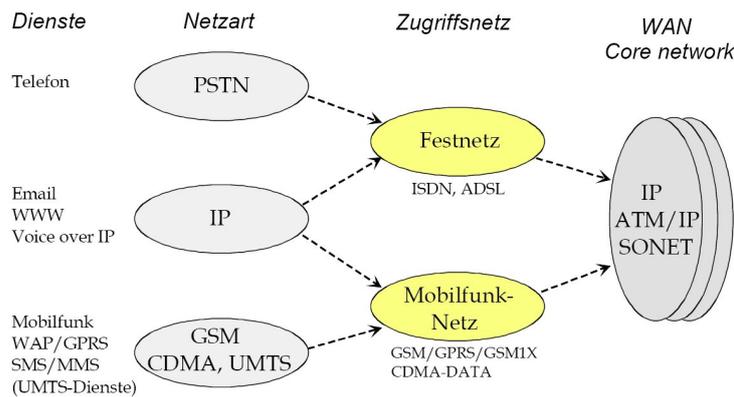
- Fault Management: identification, resolving faults
- Configuration Management: generation, restoration of config
- Accounting Management: usage monitoring
- Performance Management: analysis, prediction, improvement of network performance
- Security Management: authentication, authorization, protection

7 Vermittlungssysteme und -netze

7.1 Vermittlungssysteme

- Steuerung und Synchronisierung von vermittlungstechnischen Vorgängen
- Übermittlung und Auswertung von telefonischen Signalen
- Signalisierung: Nutzkanal oder Signalisierkanal

7.2 Konzepte zur Dienstintegration



- Integration oder Diversifikation
- Dienste-integrierendes Digitales Netz (ISDN)

7.3 ATM-Technologie

Asynchronous Transfer Mode (ATM) Daten in Zellen fester Länge übertragen (Paketvermittlung) asynchrone Zeitmultiplextechnik verbindungsorientiertes Vermittlungskonzept kleine Zellen: großer Overhead, geringer Vermittlungsaufwand
Statistische Multiplexbildung Zellen, die an Multiplexstufe ankommen gemäß FIFO weiterleiten hohe Auslastung der Ausgangsleitungen
Protokollstruktur <ul style="list-style-type: none">• Bitübertragungsschicht (PHY)• ATM-Schicht: Multiplex- und Demultiplexbildung• ATM-Anpassungs-Schicht: Protokollanpassung zwischen höheren Schichten und der ATM-Schicht

- Virtuelle Kanäle: direkte Verbindung zwischen Endsystemen
- Virtuelle Pfade: Zusammenfassung mehrerer virtueller Kanäle
Reduzierung des Routing-Aufwands
- konstante oder variable Bitrate
- Verträglichkeit des ATM-Zellstroms testen mit GCRA (Generic Cell Rate Algorithm). Dieser wird realisiert mittels Leaky-Bucket oder Virtual-Scheduling-Algorithmus
- Leaky-Bucket-Algorithmus
eine Zelle gilt als nicht verträglich, wenn der Flüssigkeitsspiegel unmittelbar vor der Ankunft höher als der Grenzwert ist
- Virtual-Scheduling-Algorithmus
tatsächliche Ankunftszeit t_i und der erwartete Ankunftszeitpunkt (TAT_i , Theoretical arrival time) werden verglichen
L: Grenzwert (Toleranzgrenze)
 - $t_i > TAT_i$: Zelle konform ($TAT_{i+1} = t_i + I$)
 - $t_i < TAT_i$
 - * $t_i > TAT_i - L$ toleriert ($TAT_{i+1} = TAT_i + I$)
 - * $t_i < TAT_i - L$ Zelle zu früh: verworfen ($TAT_{i+1} = TAT_i$)
- Verwendung des GCRA:
GCRA (1/PCR,CDVT), wobei PCR = Peak Cell Rate, CDVT = Cell Delay Variation

Tolerance
zur Überprüfung der Einhaltung des Verkehrsvertrags

8 Mobile Communication Networks

8.1 Introduction

- Aufteilung des Servicebereichs in Zellen: räumliche Wiederverwendung verfügbarer Frequenzen
- Frequenzmultiplex teilt jeder Zelle eine Zahl von Frequenzen zu
- Problems: Reflection, Diffractions, Shadowing effects

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Exclusive allocation of one frequency for the whole duration of a connection

FDMA/TDMA - in GSM

Frequency band segmented into time slots (combined with frequency division multiplex)

Frequency hopping

Change of frequency band every time frame: robustness

SDMA (Space DMA)

Separating medium is the space

CDMA (Code DMA) - in UMTS

orthogonal codes

- Small-scale fading: due to small changes in position
- Large-scale fading: on larger distances, signal strength decrease

8.2 GSM-Technologie

GSM : Globale System for Mobile Communication

Combination of FDMA / TDMA with slow frequency hopping

GPRS : General Packet Radio Service

transmission of packet data traffic

8.3 3rd Generation Mobile Networks - UMTS

<p>UMTS Network architecture</p> <ul style="list-style-type: none"> - UE (User Equipment): Hardware, Smartcard - UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network): all radio relevant functionalities (Base Station) - CN (Core Network): Fixed transport network (routing, switching) - UMTS-PLMAN (Public Land Mobile Network): Subnet of network operator
<p>CDMA-Technology</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spreading: (pseudo-) orthogonal codes - Multiplexing - De-spreading
<p>Orthogonal Codes</p> <p>Code is a vector $c = c_1, \dots, c_n; c_j \in \{+1, -1\}$</p> <p>Codes are orthogonal if $c \cdot d = \sum_{j=1}^n c_j \cdot d_j = 0$</p> <p>$c \cdot c = n$</p> <p>Pseudo-orthogonal: uncorrelated pseudo-random +1/-1-sequences</p> <p>generation with shift registers $\sum_{j=1}^n c_j \cdot c_{j+k} \approx 0$</p>
<p>Spreading and De-spreading</p> $y_k = \frac{1}{n}(Y \cdot c_k) = \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^M x_i \cdot c_{i,j} \right) \cdot c_{k,j} \right]$ <p>for orthogonal codes: $y_k = x_k$</p>

- Soft Handover: a mobile station is connected to several NodeBs
- Softer Handover: a mobile station is connected to several sectors of one NodeB
- Uplink Inner Loop Power Control
 - a mobile station receives one or more Power Control commands and
 - reduces the transmit power (by one dB), if it receives at least one Power-Down command
 - increases the transmit power if it receives only Power-Up command
- CDMA cell does not have a fixed capacity: number of possible users depends on their activity, position, interference from other cells