

Sicherungsschicht – Medienzugriff

Kapitel 5

- Framing
 - Zusammenfassung von Bits zu Blöcken/Frames (Rahmen)
 - Block/Frame–Synchronisation
- Fehlererkennung, ggf. Fehlerkorrektur
- Aufbau und Steuerung von Layer-2-Verbindungen
- Umgang mit dem Schicht 1 Data Circuit
 - Verschattung Medien- und Übertragungstechnik
 - Aus Data Circuits der Ebene 1 wird gesicherter Data Link / Logical Link auf Ebene 2, der medien- und übertragungstechnikunabhängig ist.
- **Dieses Kapitel:** Koordination des Zugriffs auf das Medium: **Schicht 2a**

Szenarioabhängige Schichtbezeichnung

Dedizierte Leitung	Shared Medium	
Network	Network	Vermittlungsschicht
Data Link	LLC	Sicherungsschicht
	MAC	
Physical	Physical	Bitübertragungsschicht

- Aufgabe: Vielfachmedienzugriff (MAC = Multiple Access Control)
- Nachbarschicht 1: Physical layer / Bitübertragungsschicht
 - Transport einzelner Bits über Medium
- Nachbarschicht 2b: Logical Link Control (LLC)
 - Multiplexing, Flusssteuerung, ...

Rechnernetze und verteilte Systeme
Sicherungsschicht – Medienzugriff

Überblick Vielfachzugriffsverfahren

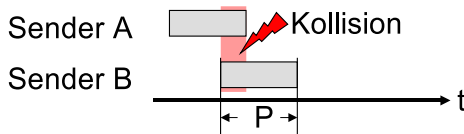
Kapitel 5.1

5.1 Überblick Vielfachzugriffsverfahren

Motivation

Problem

- Medium ist exklusive Ressource
- zwei (oder mehrere) potentielle Sender
- Signale von mehreren Sendern gleichzeitig: Kollision



- Vielfachzugriffsverfahren
 - verteiltes Verfahren zur Vergabe des Kanals/Mediums
 - **Kommunikation bzgl. des Kanals benutzt den Kanal selbst!**

5.1 Überblick Vielfachzugriffsverfahren

Grundlagen

- Vielfachzugriffsverfahren regeln den Zugriff mehrerer Teilnehmer auf ein gemeinsames Übertragungsmedium (shared medium, Gegensatz zu dedicated medium)
- Verfahren laufen in Schicht 2a (oberhalb 1, unterhalb 2b=2)
- Beispiele für shared media:
 - Lokale Netze (Ring, Bus)
 - Funknetze (z.B. Handy)
 - Satellitennetze
- Kriterien eines Zugriffsverfahrens:
 - Reservierung oder auf Glück
 - Zeitraster
 - Priorität/Fairness
 - Lastabhängigkeit
 - Durchsatz

5.1 Überblick Vielfachzugriffsverfahren

Kategorien

- Wettbewerbsverfahren/Random Access Verfahren
 - Aloha-Verfahren (pure, slotted, reservation)
 - Carrier Sensing Verfahren (p-persistent, non persistent)
- Zuteilungsverfahren
 - zentral (Polling)
 - dezentral (Token Passing, Register Insertion, DQDB)
- Reservierungsverfahren
 - Fest (TDMA, FDMA, WDMA, CDMA, SDMA)
 - dynamisch

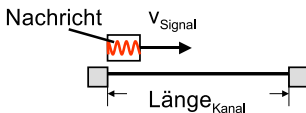
5.1 Überblick Vielfachzugriffsverfahren

Wettbewerbsverfahren/Random Access Verfahren

- Bei Random Access Verfahren besteht inhärent Konfliktgefahr (führt zu Interferenzen und somit Verfälschungen) durch Kollisionen
- Bei stochastischen Verfahren somit drei Problemkreise:
 - Kanalzugang
 - Konflikterkennung
 - Konfliktbereinigung

Konfliktparameter K

$$K = \frac{\text{max. Signallaufzeit}}{\text{Nachrichtenübertragungszeit}} = \frac{\frac{\text{Kanallänge}}{\text{Signalgeschwindigkeit}}}{\frac{\text{Nachrichtenlänge}}{\text{Übertragungsrate}}}$$



5.1 Überblick Vielfachzugriffsverfahren

Beispiel LAN-Standard IEEE 802.x

802.1 Schnittstellen zu höheren Diensten LAN-Management, Bridges, VLAN

2b 802.2 Logical Link Layer

2a 802.3 802.4 802.5 802.6 802.7 802.11

1	CSMA/ CD	Token Bus	Token Ring	DQDB MAN	Breit- band	WLAN	
---	-------------	--------------	---------------	-------------	----------------	------	--

5.1 Überblick Vielfachzugriffsverfahren

Beispiele für Verfahren an der Luftschnittstelle

- WLAN
 - CSMA/CA, MACA, MACAW
 - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
- DFWMAC Distributed Foundation Wireless MAC
- GSM
 - Mischung von FDMA (124 Frequenzkanäle) und TDMA (pro Frequenzkanal 8 Slots)
- UMTS
 - WCDMA (Wide Band CDMA)
- Satelliten, Funk
 - FDMA
- Bluetooth
 - Frequency Hopping mit Zeitmultiplex (Pico-Netz)

Rechnernetze und verteilte Systeme
Sicherungsschicht – Medienzugriff

Aloha

Kapitel 5.2

5.2 Aloha

Pure Aloha (1)

Pure Aloha Verfahren

- Jede Station sendet beliebig
- Konflikterkennung durch Mithören auf Rückkanal oder fehlende Quittung
- Bei Fehler Wiederholung zu beliebiger Zeit

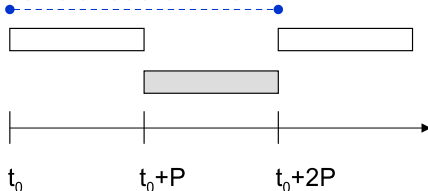
5.2 Aloha

Pure Aloha (2)

Annahmen

- Konstante Ü-Zeit eines Pakets sei P Zeiteinheiten
- Zwischenankunftszeiten Poisson-verteilt
- Es stehen genügend Pakete zur Übertragung an

Kollisionsbereich ist $2P$



- S mittlere Anzahl Pakete pro P , die erfolgreich übertragen werden (bei $S > 1$ Kollisionswahrscheinlichkeit = 1)
- K mittlere Zahl Pakete pro P , die zu wiederholen sind
- G Gesamtlast: $G = S + K$
- Durchsatz ist $G \cdot P_0$, wobei P_0 Wahrscheinlichkeit, dass für Paket keine Kollision
- $K = G \cdot \text{prob}(\text{Kollisiontrittauf}) = G \cdot \text{prob}(\text{Eintreffintervall} \leq 2P)$
 $= G \cdot (1 - e^{(-2P/\text{mittl. Eintreffintervall})})$

5.2 Aloha

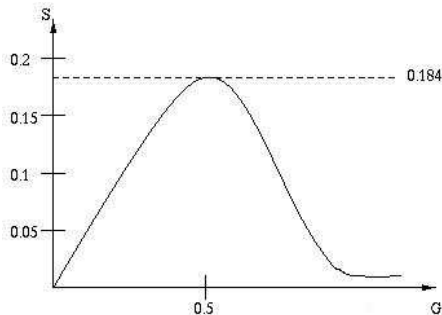
Pure Aloha (3)

Mittlere Eintreffrate = $G/P \Rightarrow$ mittleres Eintreffintervall = P/G , somit

$$K = G(1 - e^{-2P/(P/G)}) = G(1 - e^{-2G})$$

$$G = S + K = S + G(1 - e^{-2G})$$

Durchsatz $S = G \cdot e^{-2G}$, wobei G „Verkehrslast“



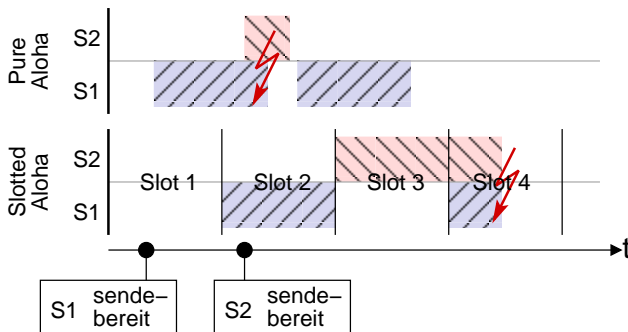
- Maximaler Durchsatz bei $G=0,5$ ist 18,4% ($=1 / 2e$)
- Für jedes T gilt: $\text{prob}(\text{Kollision in } T) > 0$ mit $\lim=1$, d.h. keine Garantie für Wartezeiten

5.2 Aloha

Slotted Aloha

- Verfahren: wie Pure Aloha, allerdings **Senden nur auf Slot-Grenzen**
- Bewertung: Kollisionsintervall = P, somit $S = G \cdot e^{-G}$ mit Maximum $1/e=36,8\%$ bei $G=1$
- Bei (endlich vielen) N Teilnehmern gilt

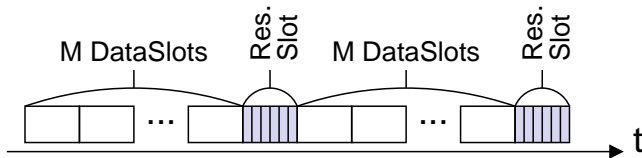
$$S = G \cdot \left(1 - \frac{G}{N}\right)^{N-1}$$



5.2 Aloha

Reservation Aloha (1): Idee

- Einführung eines **Reservierungsmechanismus**
- Zeitachse wird aufgeteilt in
 - Gruppen von M Data Slots der Länge Paketzeit P und
 - Reservierungssegment der Länge P , welches aus V Minislots besteht.
- Der Zugriff auf Reservierungssegment gemäß slotted Aloha. V enthält Reservierung auf Datensegment.
- Reserviert wird in der fiktiven Warteschlange der fortlaufend nummerierten Data Slots. Jede Station hält Reservierungszähler r .



5.2 Aloha

Reservation Aloha (2): Ablauf

r sei die Anzahl der für Zukunft bereits reservierten Data Slots.

- falls $r \neq 0$ wird bei jedem Ablauf eines Datenslots r um 1 erniedrigt
- bei jeder kollisionsfreien Reservierung von m Datenslots wird r um m erhöht
- bei $r = 0$:
 - Variante1: Alle Segmente sind Reservierungssegmente mit slotted Aloha
 - Variante2: Alle Segmente sind Datensegmente mit slotted Aloha. Bei Kollision Übergang in Reservierungsmodus
- bei $r \neq 0$ und eigener kollisionsfreier Res. zeigt r den eigenen Übertragungsbeginn

5.2 Aloha

Reservation Aloha (3): Probleme

- Exakte Zeitsynchronisation
 - über Erkennung von Paketanfängen (Codierung)
 - über Sync-Paket durch ausgezeichnete Station
- Wiederanlauf von Stationen (nach „Abwesenheit“)
 - Warten bis keine Reservierung vorhanden
 - Reservierungen und zugehörige Sendungen mithören und daraus r berechnen
 - Synchronisation durch Leitstation mit gültigem r
- Leistung abhängig von M , Anzahl Stationen, Begrenzung Reservierungen

Rechnernetze und verteilte Systeme
Sicherungsschicht – Medienzugriff

CSMA

Kapitel 5.3

Idee Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

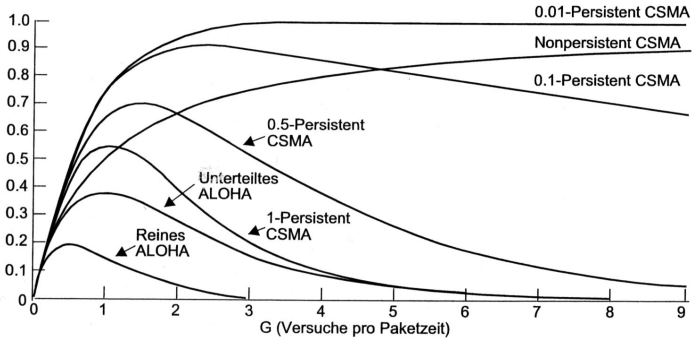
Senken der Kollisionswahrscheinlichkeit durch **vorheriges Mithören** auf Sendekanal (Carrier Sensing, Listen before talking). (Macht nur Sinn, falls Konfliktparameter $\ll 1$!)

Unterscheidung nach tatsächlichem Sendebeginn bei freiem Kanal

- unslotted p-persistent:
 - mit Wahrscheinlichkeit p bei freiem Kanal sofort senden
 - mit Wahrscheinlichkeit $1-p$ Sendung um $RTD/2$ verschieben
- unslotted nonpersistent:
 - Frei \Rightarrow sofort übertragen; sonst erneuter Versuch erst nach zufälliger Zeit t
- slotted p-persistent:
 - Einteilen Zeitachse in Slots
 - Sendebeginn jeweils Slot-Grenzen
 - Verzögern um 1 Slot
- slotted nonpersistent:
 - Sendebeginn Slotgrenze
 - Wartezeit K Slots mit zufälligem K

5.3 CSMA

Durchsatz



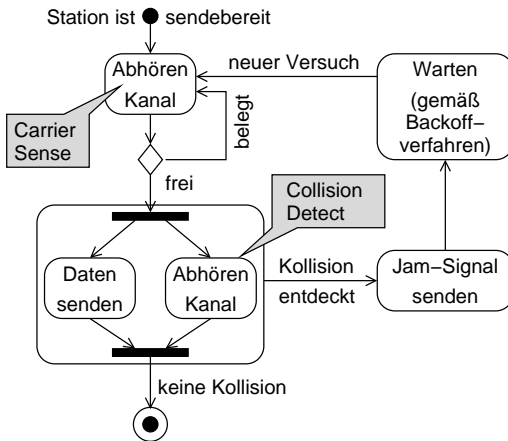
5.3 CSMA

Ethernet (1): Überblick

- Ethernet ist die wichtigste CSMA-Variante und marktdominant bei LANs
- Ethernet ist definiert in Standard IEEE 802.3.
Es realisiert ein **CSMA/CD-Verfahren** mit der Variante **1-persistent** CSMA. Mit CD (Collision Detect) ist auch die Art der Kollisionserkennung festgelegt.
- Die Wartezeit bei Kollision ist durch **Binary Exponential Backoff** definiert
- Bei Standard Koax-Ethernet ist der Konfliktparameter < 0.2325 , denn $l_{max}=2500m$, $v=0,7c$, $minNachricht=64Bytes$, Ü-Rate 10Mbps

5.3 CSMA

Ethernet (2): Ablauf CSMA/CD



5.3 CSMA

Ethernet (3): Wartezeit/Wiederholung

Truncated Binary Exponential Backoff

- Wartezeit für n -ten Wiederholungsversuch ist $i \cdot SlotTime$
 $SlotTime$ ist Übertragungszeit für 64 Byte
 i ist Zufallswert einer nat. Zahl in $0 \leq i < 2^k$
mit $k = \min(n, 10)$ ($\Rightarrow i < 1024$)

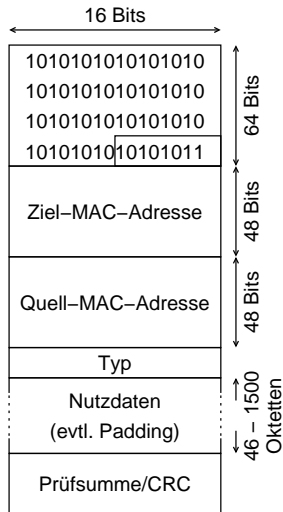
Jam-Signal

- 4 - 6 Bytes beliebigen Inhalts
- u.U. ungültige (zu geringe) Rahmenlänge
- andere (kollidierende) Sender erkennen die Kollision elektrisch
- führt zu Fehler in CRC-Prüfung \rightarrow Rahmen wird verworfen
- auch Nutzung zur Staukontrolle bei Koppelkomponenten (z.B. Switch)

5.3 CSMA

Ethernet (4) : Frame-Aufbau

- Präambel
 - 7 Bytes mit 10101010
- Start of Frame
 - 1Byte 10101011
- Ziel-, Quell-MAC-Adresse
 - 48 Bits, flach
- Länge Datenfeld
 - Ethernetframe muss min. 64 Bytes lang sein (ab/mit MAC-Felder)
 - Nutzdaten (0–1500 Bytes)
 - Pad (0–46 Bytes bedarfsweise)
- Prüfsumme
 - 4Bytes (CRC-Verfahren)



5.3 CSMA

Ethernet (5): Varianten

Topologie: Bus, Stern (mit Hub), Stern (mit Switches)

Medium: Koax, Twisted Pair, LWL, Breitband

Ü-Raten: 1Mbps, 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps

Koppelemente: Repeater, Hub (Ebene 1), Bridge (Ebene 2), Router (Ebene 3)

Bezeichnung: <Rate> <Ü-Verfahren> <Segmentlänge>
z.B. 1BASE5, 10BASE2, 10BROAD36, 100BASE-TX,
1000BASE-LX50

Rechnernetze und verteilte Systeme
Sicherungsschicht – Medienzugriff

Token Ring

Kapitel 5.4

5.4 Token Ring

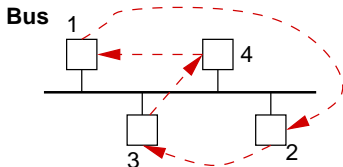
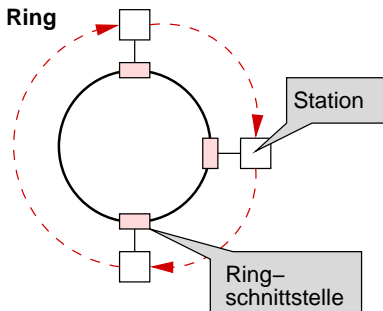
Token Passing (1): Prinzip

Idee Token Passing

Teilnehmer befinden sich an einem phys. oder logischen Ring. Senden darf, wer die **rotierende Berechtigung** (Token) hat.

• Ausprägungen

- Token Bus (IEEE 802.4)
- Token Ring (IEEE 802.5)
- FDDI (Fibre Distributed Data Interface, MAN-Standard)



5.4 Token Ring

Token Passing (2): Prinzip

Ablauf

- Stationen bilden Ring mit bekanntem Vorgänger und Nachfolger
- Bestimmtes Bitmuster dient als Token und kreist
- Sendewillige warten auf freies Token, belegen Token und senden
- Empfänger kopiert Nachricht, setzt Quittungsbit, Nachricht kreist weiter
- Sender löscht eigene Nachricht und sendet freies Token weiter

• Vorteile:

- Garantie einer max. Wartezeit möglich (im Gegensatz zu Ethernet)
- kollisionsfrei, hohe Auslastung erzielbar

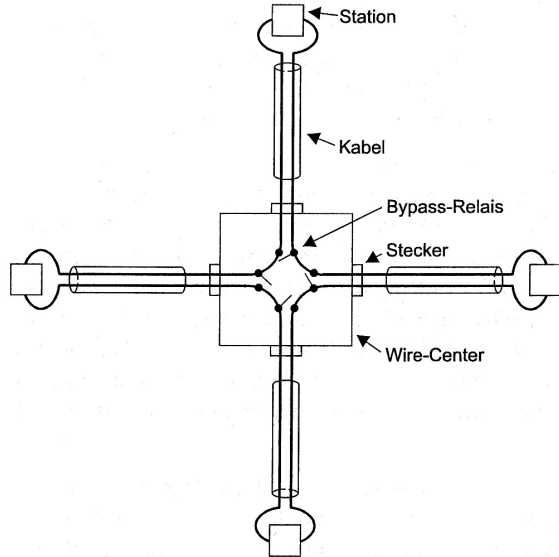
• Nachteile:

- Nicht selbststabilisierendes Verfahren wie Ethernet, komplexer und fehleranfälliger, erfordert...
 - Monitorstation für Token-Garantie und Entfernen kreisender Nachrichten
 - Protokoll zum Einbringen/Entfernen einer Station
 - Protokoll für Neubestimmung eines Monitors

5.4 Token Ring

Aufbau

- In Praxis mehradrige, sternförmige Verkabelung
- Ringbildung im Ringverteiler



5.4 Token Ring

Varianten

Datenrate	4Mbps	16	100	100
Medium	UTP, STP, LWL	UTP, STP, LWL	UTP, STP	LWL
Codierung	Diff. Manchester	Diff. Manchester	MLT-3	4B5B NRZI
max. Frame (Byte)	4550	18200	18200	18200

Rechnernetze und verteilte Systeme
Sicherungsschicht – Medienzugriff

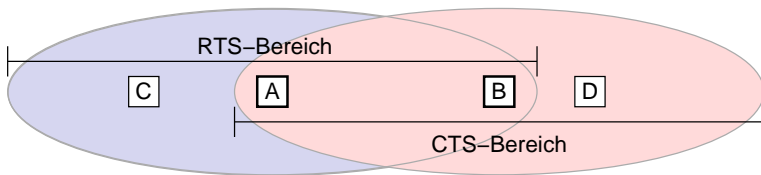
MACA

Kapitel 5.5

5.5 MACA

Motivation

- Multiple Access with Collision Avoidance
- Anwendung bei Funkkommunikation
- Problem: verschiedene Reichweiten von Sendern
⇒ sog. *hidden station problem*
- Reservierung des Kanals mittels RTS-CTS-Paar



- MACAW (MACA for Wireless)
 - positive Quittungen
 - CSMA vor Senden des RTS

Sicht des Senders

- Sendebereitschaft: prüfen, ob Kanal frei („lauschen“)
- Kanal frei: senden RTS (Request To Send)
markiert Sendeabsicht, Länge der Nachricht sowie Empfänger
- Quittung CTS (Clear To Send) empfangen: Nachricht kann gesendet werden
- Nachbarn: Empfangen RTS, leiten aus Länge der Nachricht die Dauer der Reservierung ab

Sicht des Empfängers

- wenn RTS korrekt empfangen: sendet CTS
- Nachbarn: Empfangen CTS, leiten aus Länge der Nachricht die Dauer der Reservierung ab

- Begründen Sie die Notwendigkeit von Vielfachzugriffsprotokollen.
- Wieso ist die MAC-Layer unterhalb LLC-Layer?
- Wieso gestattet slotted Aloha den doppelten Grenzdurchsatz gegenüber pure Aloha?
- Warum muss bei Ethernet eine untere Grenze für den kürzesten Frame festgelegt werden?
- Welche Protokollbestandteile sind für Ethernet festgelegt?
- Bei welchem Verfahren, Token Ring oder Ethernet, bedeutet das Einbringen einer neuen Station eine Betriebsunterbrechung?
- Welche Bedeutung hat der Konfliktparameter?
- Warum kann ein reines *carrier sense* Verfahren nicht Kollisionen vermeiden, wenn ein *hidden station problem* vorliegt?