

## Überblick

- Rückblick
- Minimale Paketlänge in CSMA/CD-Netzen
- Vergleich Ethernet und Token-Ring
- Token-Ring
- Gigabit-Ethernet
- Zwischensysteme
- Switching

## Computernetze 1

### Übung 4

Johannes Morgenroth  
morgenro@ibr.cs.tu-bs.de

Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund  
Technische Universität Braunschweig

11. Juni 2009



## Klausuranmeldung

- Klausur am 03.08.2009, 08:30 - 10:00 Uhr  
Räume SN 19.1 und PK 2.1
- Anmeldung ab heute!
- Anmeldung nur bis zum 12.07.2009 möglich!
- Zusätzlich zur Anmeldung im Prüfungsamt / Fachbereich / Fakultät

<http://www.ibr.cs.tu-bs.de/courses/ss09/cn1/>



## Themen der 3. Übung

- Sequenznummern
- Sliding Window
- Quittierungsmechanismen
- ALOHA

## Offene Fragen dazu?



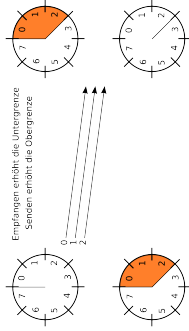
### Sliding Window (Wiederholung)

**Aufgabe:** Gegeben sei ein Szenario mit zwei Stationen, bei der eine Station Daten zu einer anderen senden möchte. Der Datenaustausch erfolgt mittels *Sliding-Window-Technik zur Flusskontrolle*. Ein Paket besteht aus 100 Byte. Die *Fenstergröße* ist auf 300 Byte begrenzt. Die *Sequenznummern* werden modulo 8 berechnet. Zur Kompensierung von Paketverlusten wird die Go-Back-N Strategie angewendet, wobei alle Pakete einzeln bestätigt werden.



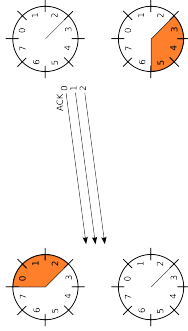
### Schritt 1

Station A sendet 3 Pakete mit jeweils 100 Byte = 300 Byte.



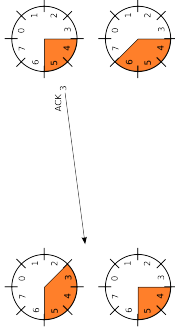
## Schritt 2

Station B antwortet auf jedes dieser Pakete mit einer Bestätigung (ACK).



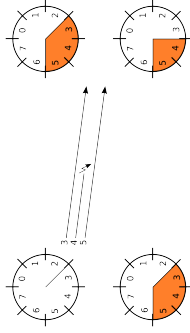
## Schritt 4

Station B bestätigt das Paket 3 und ignoriert Paket 5, da die Sequenznummern nicht fortlaufend sind.



## Schritt 3

Station A sendet weitere 3 Pakete, wobei das Paket 4 verloren geht.



## Schritt 5

Station A hat die Bestätigung für Paket 3 erhalten und sendet daraufhin das Paket 6, welches allerdings ebenfalls von Station B ignoriert wird.





## Minimale Paketlänge in CSMA/CD-Netzen

Gegeben sei ein CSMA/CD-Netz mit einer Datenrate von 10 MBit/s. Zwei Stationen sind maximal 2,5 km voneinander entfernt lokalisiert. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf dem Medium sei  $2 \cdot 10^8$  m/s.

- 1b) Wie groß ist die minimale Paketlänge in der angegebenen Konfiguration?  
 (Hinweis: In diesem Beispiel entspricht die minimale Paketlänge nicht derjenigen aus dem IEEE 802.3 Standard)

## Minimale Paketlänge in CSMA/CD-Netzen

$r_B$  : Datenrate

$l$  : max. Distanz zw. je 2 Stationen  
 $v$  : Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$\text{minimale Paketlänge} = \frac{2 \cdot l \cdot r_B}{v}$$

$$\frac{2 \cdot 2500 \text{ m} \cdot 10^7 \frac{\text{bit}}{\text{s}}}{2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 250 \text{ bit} \approx 32 \text{ Byte}$$



## Minimale Paketlänge in CSMA/CD-Netzen

Hinweis:  
 In 802.3 ist die minimale Paketlänge doppelt so groß:

- Zusätzliche Verzögerungen in den Repeatern, Transceivern, Amplifiern und für den Signalpegelanstieg
- $\Rightarrow$  Maximalverzögerung 46,4  $\mu$ s (464 Bit) bei 10 Mbit/s
- + 48 Bit langes JAM-Signal im Falle einer Kollision beim letzten gesendeten Bit
- $\Rightarrow$  minimale Paketlänge von 512 Bit = 64 Byte

## Minimale Paketlänge in CSMA/CD-Netzen

- 1c) Wie groß ist die minimale Paketlänge, wenn man die Datenrate auf 100 MBit/s erhöht?

$r_B$  : Datenrate

$l$  : max. Distanz zw. je 2 Stationen  
 $v$  : Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$\text{minimale Paketlänge} = \frac{2 \cdot l \cdot r_B}{v}$$

$\Rightarrow$  Wenn man  $r_B$  verzehnfacht, so verzehnfacht sich auch die minimale Paketlänge.



## Minimale Paketlänge in CSMA/CD-Netzen

- 1c) Welcher Nachteil ergibt sich dadurch und wie kann man diesen vermeiden?
- Der Nachteil ist eine Verschwendung von Bandbreite bei kleinen Paketen (Padding)
  - Alternativ zu einer größeren minimalen Paketlänge kann auch die maximale Entfernung zwischen zwei Stationen verringert werden (was auch in der Realität bei 100 Mbit/s Ethernet gemacht wird, dort verringert sich dieser Abstand auf 250 m).



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Anschluss

- 2a) Worin liegt der grundlegende Unterschied der beiden beim Anschluss an das Medium?

### Token-Ring:

- Aktiver Anschluss an das Netz
- Regenerierung des Signals in jedem Ringadapter
- 1-Bit-Verzögerung
- Bei Ausfall eines Ringadapters: Ring unterbrochen (wenn keine zusätzliche technische Abhilfe vorhanden, z.B. durch Relais oder zentrales Verkabelungszentrum)

### CSMA/CD:

- Passiver Anschluss an das Netz
- Jede Station hört alles, kann keine Daten verändern oder stoppen



## Vergleich Ethernet und Token-Ring

- 2) Zur Untersuchung von lokalen Netzen sollen die Typen Ethernet und Token-Ring betrachtet werden.
- 2a) Worin liegt der grundlegende Unterschied der beiden beim Anschluss an das Medium?
- 2b) Wie kann die Quittierung einer Nachricht in beiden Typen erfolgen?
- 2c) Welche der beiden Typen ist prinzipiell für den Realzeitbetrieb geeignet?
- 2d) Wie wird das Ende bzw. die Länge der Rahmen in beiden Netzen erkannt (Begründung)?



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Quittierung

- 2b) Wie kann die Quittierung einer Nachricht in beiden Typen erfolgen?



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Quittierung

Token-Ring: Mit dem Frame-Status-Feld (FS) im Token  
 A: Adressbit; C: Kopierbit



**A=0, C=0:**

Adressat ist nicht vorhanden oder nicht eingeschaltet

**A=1, C=0:**

Adressat ist vorhanden, aber Rahmen nicht angenommen

**A=1, C=1:**

Eigentliche Bestätigung: Adressat vorhanden und Rahmen wurde kopiert



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Realzeitbetrieb

2c) Welche der beiden Typen ist prinzipiell für den Realzeitbetrieb geeignet?



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Quittierung

CSMA/CD:

Keine Bestätigung im gleichen Rahmen, da kein Rückkehren des Rahmens zum Sender

⇒ Absenden eines neuen Rahmens als Bestätigung

(alternativ: einen Slot nach dem Senden für Bestätigung freihalten → WLAN (IEEE 802.11))



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Realzeitbetrieb

Token-Ring:

Prinzipiell geeignet durch Begrenzung der Sendeerlaubnis für eine Station auf eine bestimmte Zeit (Token Holding Time)

- Spätestens nach  $n * THT + 1\text{-Bit-Verzögerung/Station} + \text{Signallaufzeit}$  erhält eine Station das Token (n: Anzahl der Stationen im Ring)
- Außerdem: bevorzugtes Bearbeiten von Daten hoher Priorität, z.B. Freihalten einer bestimmten Bandbreite für Sprache/Bilddaten
- Aber: keine Berücksichtigung von evtl. Warteschlangen in höheren Schichten!



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Realzeitbetrieb

### CSMA/CD:

- Ungeeignet, da bei hoher Netzauslastung häufige Kollisionen und danach große und nicht deterministische Wartezeiten entstehen können  $\Rightarrow$  u.U. unendlich große Wartezeit!
- Außerdem: keine Prioritäten für wichtige Daten.



## Vergleich CSMA/CD und Token-Ring: Rahmenende/-länge

2d) Wie wird das Ende bzw. die Länge der Rahmen in beiden Netzen erkannt (Begründung)?

**Token-Ring:** End-Delimiter kennzeichnet Ende. Der End-Delimiter enthält Symbole, die in der Codierung (Differential Manchester) nicht erlaubt sind (kein Wechsel in der Mitte des Taktes).

**CSMA/CD:** Längelfeld gibt die Länge des Datenfeldes an. Ende des Frames: Länge plus 4 Bytes für CRC; evtl. Padding berücksichtigen.



## Token Ring

3) Ein 16 Mbit/s-Token-Ring habe eine Token-Holding-Time von 10 ms. Der Ring verbinde 10 Stationen mit einem Abstand von jeweils 100 Metern. Die Signalausbreitungsgeschwindigkeit betrage  $5 \cdot 10^7$  m/s.

3a) Nach welcher Zeit erhält eine Station spätestens das Token, wenn alle Stationen ihre Sendezeit voll ausnutzen?

3b) Nach welcher Zeit erhält eine Station spätestens das Token, wenn keine Station sendet?

Der Ring habe nun einen Durchsatz von 100Mbit/s und es sollen 200 Stationen angeschlossen werden.

3c) Welchen Wert muss die Token-Holding-Time mindestens haben, damit die maximale Paketlänge gleich bleibt?

3d) Wie lange darf das Token höchstens gehalten werden, wenn die maximale Wartezeit auf das Token gleich bleiben soll?





## Token Ring

3a) Nach welcher Zeit erhält eine Station spätestens das Token, wenn alle Stationen ihre Sendezeit voll ausnutzen?

Zunächst: Prüfung, ob Token auf den Ring passt (24 bit):  
 $10 \cdot 1 \text{ bit} + \frac{1000 \text{ m}}{5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 16 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} = 10 \text{ bit} + 320 \text{ bit} = 330 \text{ bit} > 24 \text{ bit}$   
 $\Rightarrow$  Das Token passt also auf den Ring, keine Extraverzögerung notwendig!



## Token Ring: Durchsatz

Nur Hinweis, nicht Teil der Aufgabe:

Durchsatz ursprünglicher Token-Release-Modus

$$THT = \frac{P_{\text{PK}}}{K} + U \Rightarrow P_{\text{max}} = (THT - U) \cdot K$$

$$U = (n \cdot t_s + n \cdot t_1) = 20, 625 \mu\text{s}$$

$$P_{\text{max}} = (10 \text{ ms} - 20, 625 \mu\text{s}) \cdot 16 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} = 159670 \text{ bit}$$



## Token Ring: Wartezeit

$$\begin{aligned} W &= (n-1) \cdot \left( \frac{P_{\text{PK}}}{K} + U \right) + U \\ &= (n-1) \cdot THT + (n \cdot t_s + n \cdot t_1) \\ &= 9 \cdot 10 \text{ ms} + 10 \cdot \frac{100 \text{ m}}{5 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 10 \cdot \frac{1 \text{ bit}}{16 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}} = 90, 020625 \text{ ms} \end{aligned}$$

mit

K: Kapazität

n: Anzahl der Stationen

U: "Ring Circulation Time"

$t_s$ : Verzögerung zwischen zwei Stationen

$t_1$ : 1-Bit Verzögerung

$P_{\text{max}}$ : max. Paketlänge



## Token Ring: Durchsatz

Nur Hinweis, nicht Teil der Aufgabe:

Durchsatz Early Token Release

$$THT = \frac{P_{\text{PK}}}{K} \Rightarrow P_{\text{max}} = THT \cdot K$$

$$= 10 \text{ ms} \cdot 16 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} = 160000 \text{ bit}$$

Für das Early-Token-Release-Verfahren ergibt sich kaum ein Vorteil in diesem Fall bei Vollaustlastung der Token Holding Time THT.

Das ändert sich, wenn U größer wird oder wenn  $P_{\text{avg}}$  kleiner wird:

Dann ist Early Token Release besser als der ursprüngliche Modus von Token-Ring.



## Token Ring

## Token Ring: THT

3b) Nach welcher Zeit erhält eine Station spätestens das Token, wenn keine Station sendet?

$$W_{min} = U = (n \cdot t_s + n \cdot t_1) = 20,625 \mu s$$

Der Ring habe nun einen Durchsatz von 100 Mbit/s und es sollen 200 Stationen angeschlossen werden.

3c) Welchen Wert muss die Token-Holding-Time mindestens haben, damit die maximale Paketlänge gleich bleibt?

## Token Ring: THT

Maximale Paketlänge im bisherigen Ring: 159670 bit.

Im neuen Ring:

$$P_{max}^{new} = (THT^{new} - U^{new}) \cdot K^{new} \text{ mit } K^{new} = 100 \frac{\text{Mbit}}{s}$$

$$\Leftrightarrow THT^{new} = \frac{P_{max}^{new}}{K^{new}} + U^{new} \text{ mit } P_{max}^{new} = P_{max}$$

$$= \frac{159670}{100 \frac{\text{Mbit}}{s}} + (n^{new} \cdot t_s^{new} + n^{new} \cdot t_1^{new}) \text{ mit } n^{new} = 200$$

$$= \frac{159670}{100 \frac{\text{Mbit}}{s}} + (200 \cdot \frac{100m}{5 \cdot 10^7 \frac{m}{s}} + 200 \cdot \frac{1bit}{100 \frac{\text{Mbit}}{s}})$$

$$= 1,5967ms + 400 \mu s + 2 \mu s = 1,9987ms$$

Also muss die THT für den klassischen Token-Ring mindestens 1,9987ms betragen, damit die maximale Paketlänge unverändert bleibt.



Also kann man in diesem Falle mittels Early Token Release eine geringere Verzögerung für die gleiche Paketgröße erzielen!

## Token Ring: max. Wartezeit

3d) Wie lange darf das Token höchstens gehalten werden, wenn die maximale Wartezeit auf das Token gleich bleiben soll?

$$W_{max}^{neu} = n^{neu} - 1 \cdot THT^{neu} + n^{neu} \cdot t_s^{neu} + n^{neu} \cdot t_{prop}^{neu}$$

$$\Leftrightarrow THT^{neu} = \frac{W_{max}^{neu} - n^{neu} \cdot t_s^{neu} - n^{neu} \cdot t_{prop}^{neu}}{n^{neu} - 1} \text{ mit } W_{max}^{neu} = 199$$

$$= \frac{90,020625ms - 400 \mu s - 2 \mu s}{199} = 450 \mu s$$

Dieser Wert ist kleiner gegenüber dem ursprünglichen Netz, da mehr Stationen im neuen Ring erlaubt sind.

## Gigabit-Ethernet

4) Wie viele Frames pro Sekunde kann Gigabit-Ethernet verarbeiten? Betrachten Sie alle möglichen Fälle.  
Datenrate:  $10^9 \text{ bit/s}$ , 4 Fälle:

1. Traditionelles Halb-Duplex-Gigabit-Ethernet
2. Halb-Duplex-Gigabit-Ethernet mit Carrier Extension
3. Halb-Duplex-Gigabit-Ethernet mit Frame Bursting
4. Voll-Duplex-Gigabit-Ethernet



## Gigabit-Ethernet

### Halb-Duplex-Gigabit-Ethernet

- Min. Rahmenlänge: 64 bytes = 512 bits  $\Rightarrow$  frame rate =  $10^9/512 \approx 2 \cdot 10^6 \text{ fps}$
- Max. Rahmenlänge: 1518 bytes = 12144 bits  $\Rightarrow$  frame rate =  $10^9/12144 \approx 8,2 \cdot 10^4 \text{ fps}$

### Halb-Duplex-Gigabit-Ethernet mit Carrier Extension

- Min. Rahmenlänge: 512 bytes = 4096 bits  $\Rightarrow$  frame rate =  $10^9/4096 \approx 2,46 \cdot 10^5 \text{ fps}$
- Max. Rahmenlänge: 1518 bytes = 12144 bits  $\Rightarrow$  frame rate =  $10^9/12144 \approx 8,2 \cdot 10^4 \text{ fps}$



## Gigabit-Ethernet

### Halb-Duplex-Gigabit-Ethernet mit Frame Bursting

- Min. Rahmenlänge: 512 bytes = 4096 bits  $\Rightarrow$  frame rate =  $10^9/4096 \approx 2,46 \cdot 10^5 \text{ fps}$
- Max. Rahmenlänge: 8192 bytes = 65536 bits  $\Rightarrow$  frame rate =  $10^9/65536 \approx 1,52 \cdot 10^4 \text{ fps}$

### Voll-Duplex-Gigabit-Ethernet

- Keine minimale und maximale Rahmenlänge
- Rahmenlänge hängt von der Signalstärke ab
- Studien haben gezeigt, dass CRC-32 nicht mit Rahmen  $> 9000$  bytes umgehen kann
- 9000 bytes = 72000 bits  $\Rightarrow$  frame rate =  $10^9/72000 \approx 1,4 \cdot 10^4 \text{ fps}$



## Aufgabe 5: Zwischensysteme

Sie möchten ein IEEE 802.11-Netzwerk (WLAN) mit einem IEEE 802.3-Netzwerk (Ethernet) verbinden.

- 5a) Auf welcher Schicht würden Sie ein Zwischensystem zur Übersetzung ansiedeln?
- 5b) Welche Aufgaben müsste ein solches Zwischensystem bewältigen?
- 5c) Welche Aufgaben müssten bei der Übersetzung von IEEE 802.3 in IEEE 802.5 (Token-Ring) bewältigt werden?
- 5d) Könnte man ein solches Zwischensystem auch zwischen gleichartigen Netzen einsetzen? Begründen Sie Ihre Antwort.



## Aufgabe 5: Zwischensysteme

- 5b) Welche Aufgaben müsste ein solches Zwischensystem bewältigen?

- Übersetzung zwischen den Rahmenformaten
- Puffern von Rahmen, da unterschiedliche Datenraten
- Wegwerfen von Rahmen, die zu lang sind (max. Rahmenlänge von WLAN größer)
- Anpassen der Prüfsummen
- Ver-/Entschlüsselung
- Dienstgüteparameter (PCF / DCF und 802.11e)



## Aufgabe 5: Zwischensysteme

- 5a) Auf welcher Schicht würden Sie ein Zwischensystem zur Übersetzung ansiedeln?

- Schicht 2: Data Link Layer
- $\Rightarrow$  Bridge

## Aufgabe 5: Zwischensysteme

- 5c) Welche Aufgaben müssten bei der Übersetzung von IEEE 802.3 in IEEE 802.5 (Token-Ring) bewältigt werden?

- Übersetzung zwischen den Rahmenformaten
- Puffern von Rahmen, da unterschiedliche Datenraten
- Wegwerfen von Rahmen, die zu lang sind (Rahmenlänge von Token-Ring nur durch THT begrenzt)
- Anpassen der Prüfsummen
- Entfernen von Token-Ring-Prioritäten
- Behandlung von Token-Ring-Acknowledgements



## Aufgabe 5: Zwischensysteme

5d) Könnte man ein solches Zwischensystem auch zwischen gleichartigen Netzen einsetzen? Begründen Sie Ihre Antwort.

- Ja
- Verbindung von LANs in mehreren Gebäuden
- Logische Aufteilung des LANs zur Lastverteilung
- Vergrößerung der Reichweite (z.B. >2,5 km bei Ethernet)
- Schutz vor "wildgewordenen" Geräten
  - Defekte Geräte können das Netz mit sinnlosen Daten überfluten
  - Bridges können beschränkt filtern (im Gegensatz zu Repeatern, die physikalische Signale wiederholen)
- Sicherheit
  - Sämtliche Daten in einer Kollisionsdomäne können mitgelesen werden
  - Bridges können zur Isolation von sensitivem Datenverkehr eingesetzt werden



## Aufgabe 6: Switching

6a) Was ist der Unterschied zwischen einem Hub und einem Switch?

Hub:

- Verbindet angeschlossene Geräte
- Bandbreite wird unter den angeschlossenen Geräten aufgeteilt
- Angeschlossene Geräte bilden Kollisionsdomäne
- Günstig in der Anschaffung

Switch:

- Verbindet angeschlossene Geräte
- Kann dedizierte Verbindung mit voller Bandbreite zwischen den Geräten schalten
- (Fast) keine Kollisionen
- (Bis Ende der 90er) deutlich teurer als Hubs

6a) Was ist der Unterschied zwischen einem Hub und einem Switch?

6b) Was ist ein Layer-3-Switch?

6c) Welche Arten von virtuellen lokalen Netzen kennen Sie und wie unterscheiden sich diese voneinander?



## Aufgabe 6: Switching

- 6b) Was ist ein Layer-3-Switch?
- Ein Switch, der zusätzlich Routing-Funktionalität bietet
  - Soll die Performanz des Routings im Intranet verbessern
  - Router-Software z.T. in Hardware umgesetzt
  - WAN-Funktionalität von "normalen" Routern entfällt
  - Spielt eine Rolle bei Layer-3-VLANs

## Aufgabe 2: Switching

- 6c) Welche Arten von virtuellen lokalen Netzen kennen Sie und wie unterscheiden sich diese voneinander?

### Layer-2-VLAN

- Port-basiert: An jedem Port können nur Stationen eines VLANs angeschlossen werden
- MAC-basiert: VLAN-Zugehörigkeit wird durch MAC-Adresse bestimmt

### Layer-3-VLAN

- Subnetz-basiert: VLAN wird durch Layer-3-Subnetz-Adresse definiert
- Protokoll-basiert: Verwendetes Netzwerkprotokoll legt VLAN fest (z.B. IP vs. MPLS)

### Regelbasierte VLAN

- Verknüpfung von Feldern aus beliebigen Schichten
- Hohe Flexibilität, aber auch hohe Latenz

Nächste Übung 25.06.

