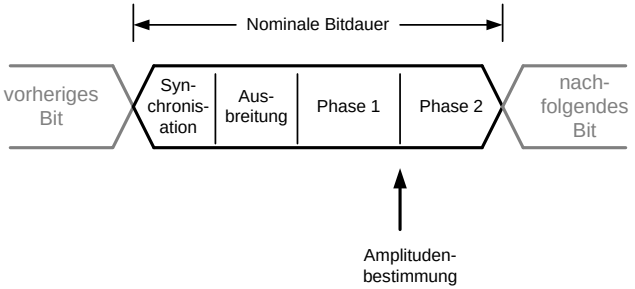
CAN: Schicht 1

- Busmedium:
  - Kupfer oder Glasfaser
  - Empfehlung Twisted Pair: Möglichkeit zur differentiellen Übertragung (robuster gegenüber Störungen)
- Codierung: NRZ-L (Non-Return-to-Zero-Level)
  - Problem mit NRZ-L: lange monotone Sequenzen von 0 oder 1 können zu Problemen bei der Synchronisation führen, in CAN wird deshalb nach fünf gleichen Bits ein inverses Bit eingefügt (**Bitstuffing**)
- Daten werden **bitsynchron** übertragen:

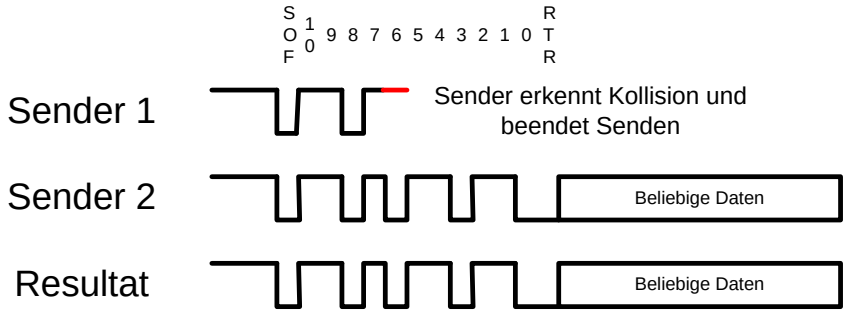
  → Datenübertragungsrate und maximale Kabellänge sind miteinander verknüpft.
  - Konfigurationsmöglichkeiten:
    - 1 MBit/s, maximale Länge: 40m
    - 500 kBit/s, maximale Länge: 100m
    - 125 kBit/s, maximale Länge: 500m
  - Maximale Teilnehmerzahl: 32-128



http://www.port.de/pdf/CAN_Bit_Timing.pdf

CAN: Schicht 2

- Realisierung eines CSMA/CA-Verfahrens:
  - Bei der Übertragung wirken Bits je nach Wert entweder **dominant** (typischerweise 0) oder **rezessiv** (1).
  - Dominante Bits überschreiben rezessive Bits, falls sie gleichzeitig gesendet werden.
  - Jedem Nachrichtentyp (z.B. Sensorwert, Kontrollnachricht) wird ein Identifikator zugewiesen, der die Wichtigkeit des Typs festlegt.
  - Jeder Identifikator sollte nur einem Sender zugewiesen werden.
  - Wie bei Ethernet wartet der Sender bis der Kanal frei ist und startet dann die Versendung der Nachricht.



  - Beim gleichzeitigen Senden zweier Nachrichten, dominiert der Identifikator des wichtigeren Nachrichtentyps, den Sender der unwichtigeren Nachricht beendet das Senden.

→ Verzögerung von hochprioren Nachrichten auf die maximale Nachrichtenlänge begrenzt (in Übertragung befindliche Nachrichten werden nicht unterbrochen)

CAN: Framearten

- Datenframe:
  - Versand von maximal 64bit Daten
- Remoteframe:
  - Verwendung zur Anforderung von Daten
  - Wie Datenframe, nur RTR-Feld auf 1 gesetzt
- Fehlerframe:
  - Signalisierung von erkannten Fehlerbedingungen
- Überlastframe:
  - Zwangspause zwischen Remoteframe und Datenframe

Länge in Bit	1	11	1	1	1	4	0...64	15	1	1	1	7	3
Zweck	Start of frame	Identifier (Extended CAN 27bit)	Remote Transmission Bit	Identifier Extension Bit	reserviert	Datenlängenfeld	Datenfeld	CRC-Prüfsumme	CRC Delimeter	Bestätigungsslot	Bestätigungsdelimeter	End of Frame	Intermission

Datenframe

CAN: Schicht 7

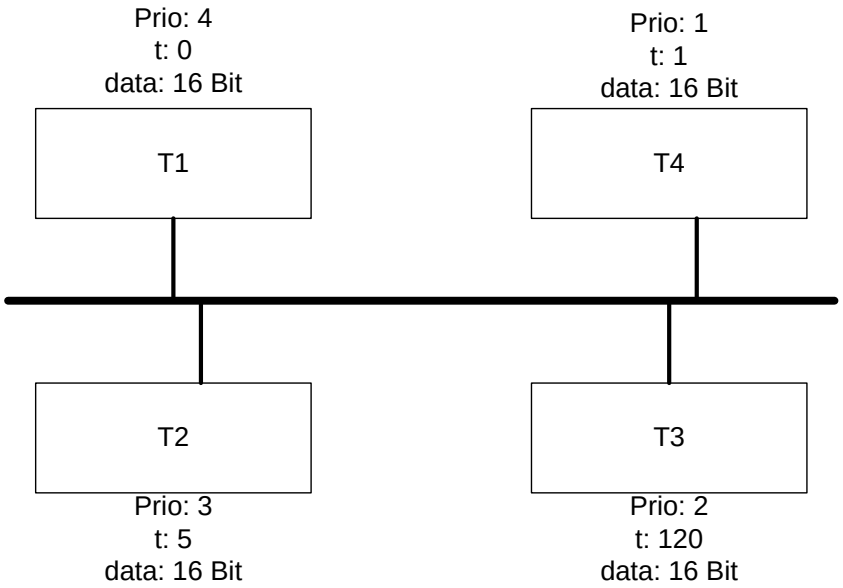
- Im Gegensatz zu Schicht 1 und 2 ist die Schicht 7 nicht in einer internationalen Norm spezifiziert.
- Es existieren jedoch diverse Implementierungen (z.B. CANOpen) für Dienste der Schichten 3-7 zur Realisierung von:
  - Flusskontrolle
  - Geräteadressierung
  - Übertragung größerer Datenmengen
  - Grunddienste für Anwendungen (Request, Indication, Response, Confirmation)
- Zudem gibt es Versuche eine Norm CAL (CAN Application Layer) einzuführen.
- Ziele:
  - Einheitliche Sprache zur Entwicklung von verteilten Anwendungen
  - Ermöglichung der Interaktion von CAN-Modulen unterschiedlicher Hersteller

Zusammenfassung CAN

- CAN ist aufgrund des CSMA/CA Zugriffsverfahrens für harte Echtzeitsysteme geeignet:
  - Insbesondere für die hochprioren Nachrichten ist eine Abschätzung der maximalen Verzögerung leicht berechenbar (ähnliche zu nicht-präemptiven, prioritätenbasiertem Scheduling)
- Nachteile:
  - Bitsynchrones Versenden beschränkt die maximale Kabellänge → nur für lokal begrenzte Systeme sinnvoll einsetzbar
  - Die maximale Nutzdatenlänge von 8 Byte pro Frame ist sehr gering

Klausur 06/07 (modifiziert) – CAN (8 Punkte = 8 min)

a) Geben Sie die Reihenfolge der Nachrichten an, die im Netzwerk bei Verwendung des CANProtokolls gesendet werden und begründen Sie ihre Antwort. **Zur Erinnerung**: Zusätzlich zu den Nutzdaten sind bei CAN 44 Bit Steuerungsdaten pro Nachricht notwendig. Zwischen den einzelnen Nachrichten ist eine Lücke von mindestens 3 Bit.



Annahmen: Bitsendedauer 1 Zeiteinheit
Priorität: 1 – hoch, 4 – niedrig

Lösung: Nachricht von T1 (einziger Rechner der zunächst senden will),
Nachricht von T4 (Priorität),
Nachricht von T3 (Priorität),
Nachricht von T2

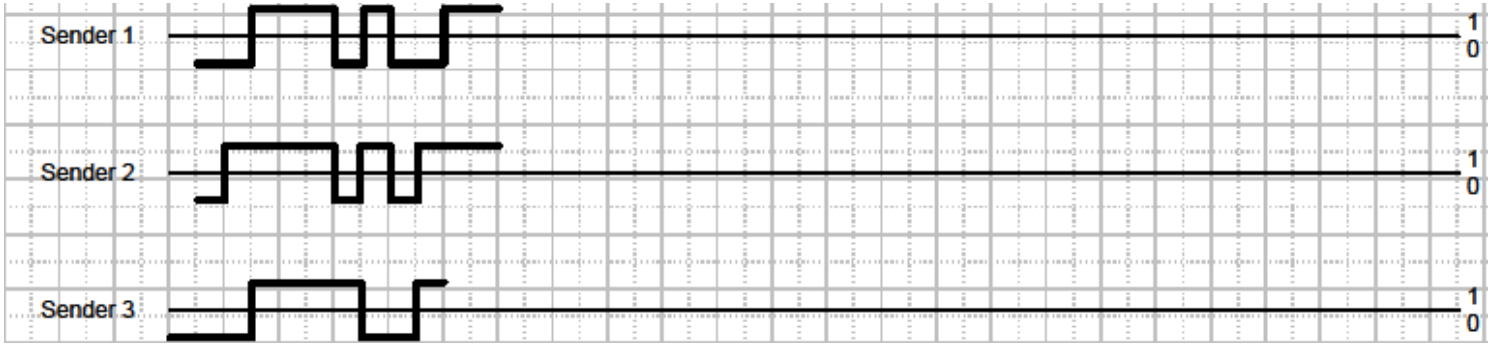
Klausur Wintersemester 07/08 (20 Punkte = 20min)

In der Abbildung sehen Sie drei Knoten und Ihre jeweilige Nachricht für den Fall, dass der jeweilige Knoten als einziger senden würde. Dabei entspricht die Länge eines Bits einem Kästchen.

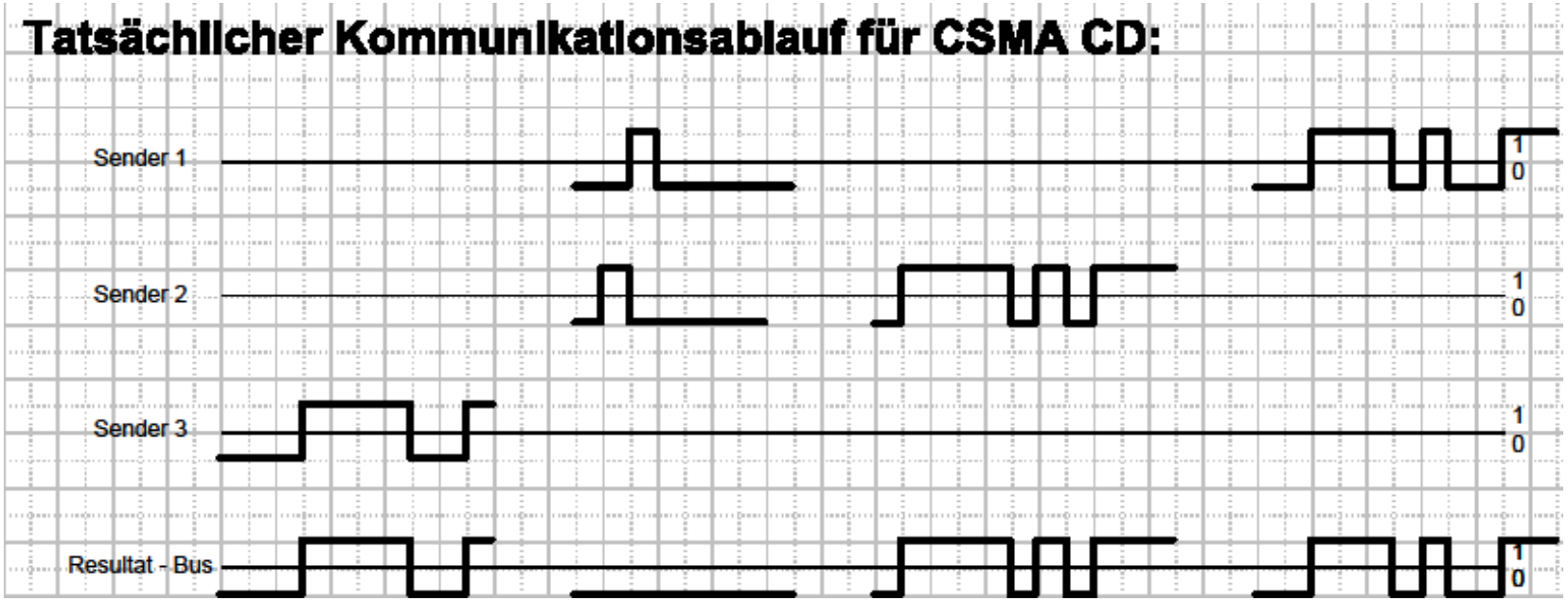
Gehen Sie davon aus, dass für die Lösung der Aufgabe alle Daten bitsynchron übertragen werden. Das JAM-Signal soll aus einer Folge von 5 0-Bits bestehen. Das 0-Bit ist dominant. Zwischen zwei Nachrichten gibt es eine Pause (interframe gap) von mindestens 3 Bits.

- Zeigen Sie für die angegebenen Nachrichten einen möglichen Ablaufplan in CSMA-CD.
- Geben Sie den entsprechenden Plan in CSMA-CA an.
- Für ein konkretes Netzwerk ist die maximale Signallaufzeit mit einer Zeiteinheit angegeben. Welche der angegebenen Bitübertragungsdauern würden Sie für CSMA/CA auswählen. Geben Sie eine knappe Begründung für Ihre Antwort.
  - 0,5 Zeiteinheiten
  - 1 Zeiteinheit
  - 4 Zeiteinheiten
  - 10 Zeiteinheiten

Lösung: 4 Zeiteinheiten

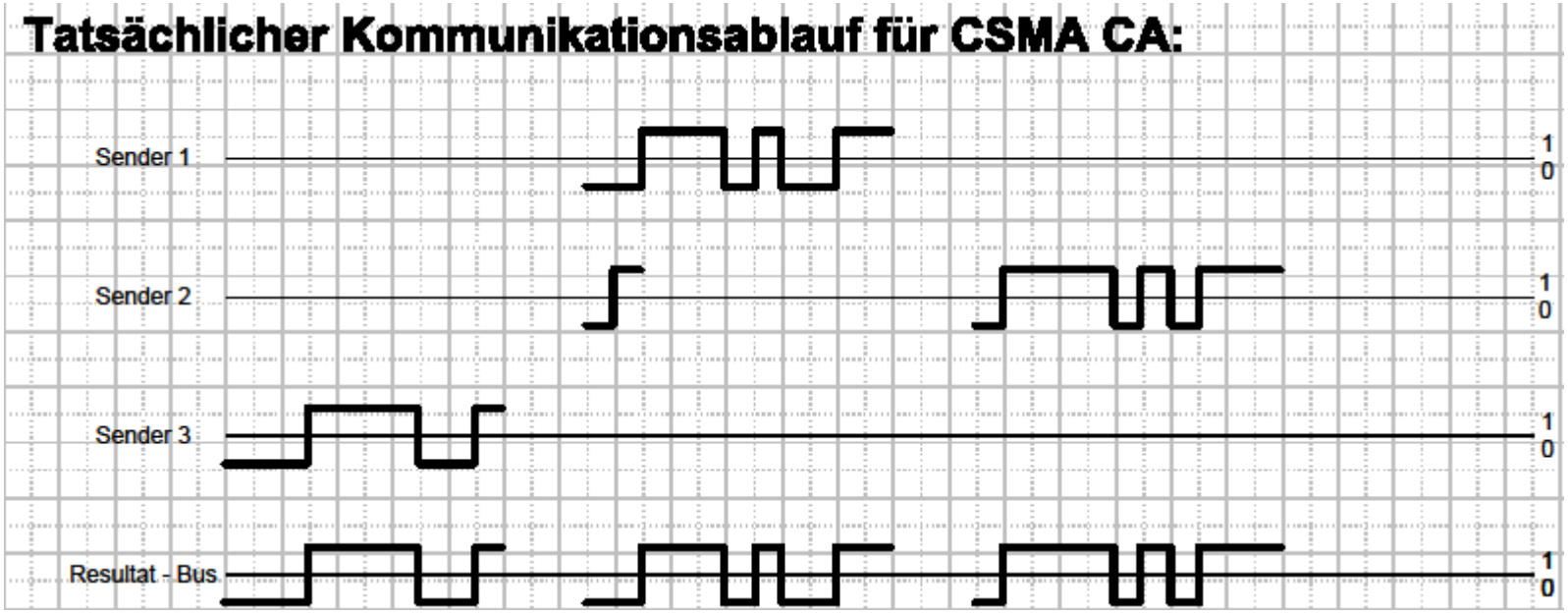


Klausur Wintersemester 07/08 – Lösung CSMA/CD



Grundsätzlich gibt es natürlich sehr viele Lösungen durch die verschiedenen möglichen Wartezeiten aufgrund des Backoff-Verfahrens.

Klausur Wintersemester 07/08 – Lösung CSMA/CA



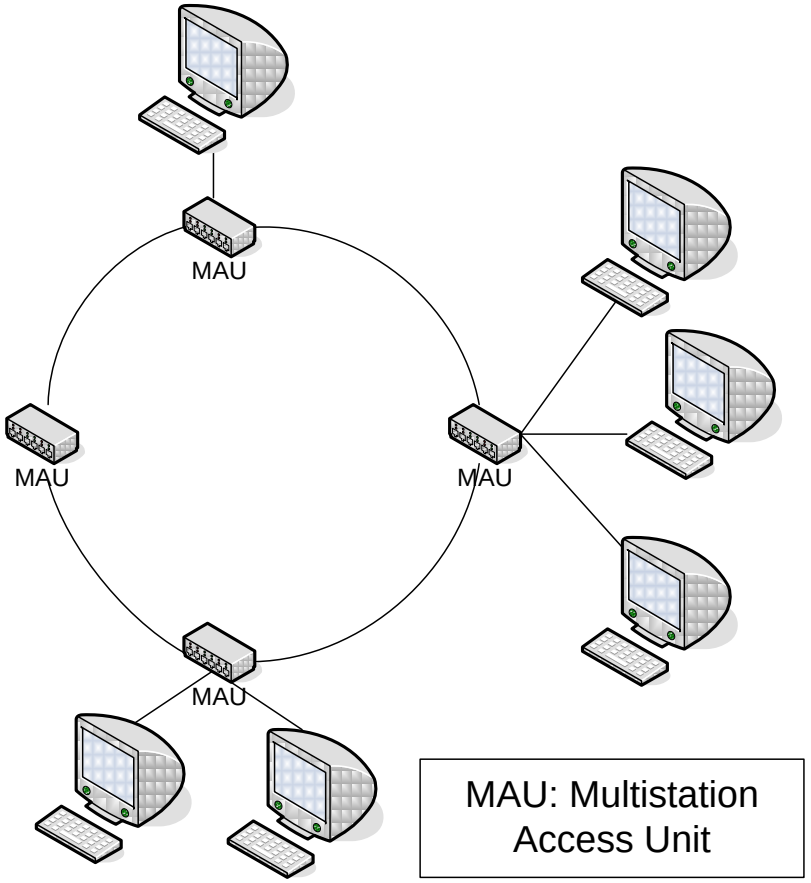
Echtzeitfähige Kommunikation

Tokenbasierte Verfahren

Vertreter: Token Ring

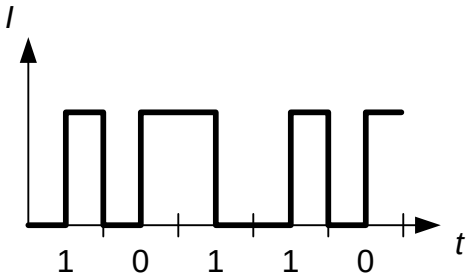
Tokenbasierte Verfahren

- Nachteil von CSMA/CA: Begrenzung der Datenrate und der Netzlänge durch Bitsynchronität
- Tokenbasierter Ansatz: Eine Einheit darf nur dann senden, wenn sie eine Berechtigung (Token) besitzt.
- Die Berechtigung wird zumeist zyklisch weitergegeben → Token Ring.
- Die Berechtigung / das Token ist dabei eine spezielle Bitsequenz.



Token Ring: Schicht 1

- Token Ring wird im Standard IEEE 802.5 spezifiziert.
- Erreichbare Geschwindigkeiten: 4 bzw. 16 MBit/s
  → aufgrund der Kollisionsfreiheit mit den effektiven Datenübertragungsraten von 10 bzw. 100 MBit/s Ethernet vergleichbar
- Codierung:
  - differentieller Manchester-Code
  - somit selbstsynchronisierend
- Topologie:
  - Ring
  - aufgrund der möglichen Verwendung von MAUs auch sternförmige Verkabelung möglich
- On-the-Fly Verarbeitung: Nachrichten werden im Durchlauf analysiert / modifiziert



Differentieller Manchester-Code

Token Ring: Zugriffsverfahren

1. Die Station, die das Token besitzt, darf Daten versenden.
2. Das Datenpaket wird von Station zu Station übertragen.
3. Die einzelnen Stationen empfangen die Daten und regenerieren sie zur Weitersendung an den nächsten Nachbarn (on-the-fly).
4. Der Empfänger einer Nachricht kopiert die Nachricht und leitet die Nachricht mit dem gesetzten C-Bit (siehe Nachrichtenaufbau) zur Empfangsbestätigung weiter.
5. Empfängt der Sender seine eigene Nachricht, so entfernt er diese aus dem Netz.
6. Nach Ende der Übertragung wird auch das Token weitergesendet (maximale Token-Wartezeit wird vorher definiert, Standardwert: 10ms)
7. Im 16 MBit/s Modus wird das Token direkt im Anschluß an das Nachrichtenpaket versendet (**early release**) es können sich gleichzeitig mehrere Token im Netz befinden

Token Ring: Prioritäten

- Token Ring unterstützt Prioritäten:
  - Insgesamt gibt es 8 Prioritätsstufen (3 Bit)
  - Jeder Nachricht wird eine Priorität zugewiesen.
  - Der Datenrahmen enthält zwei Prioritätsfelder: die Priorität der Nachricht bzw. des Tokens, sowie ein Reservierungsfeld.
  - Eine Station kann seine Priorität in dem Reservierungsfeld von Nachrichten vormerken, allerdings darf die Priorität nur erhöht werden.
  - Stationen dürfen Tokens nur dann annehmen, wenn ihre Priorität mindestens so hoch ist, wie die Priorität des Tokens.
  - Applet zum Ablauf: http://www.nt.fh-koeln.de/vogt/mm/tokenring/tokenring.html

Token Ring: Token Paket

- Das Token besteht aus:
  - Startsequenz (1 Byte, JK0JK000)
    - J, K: Codeverletzungen entsprechend Manchester-Code (kein Übergang in Taktmitte)
  - Zugriffskontrolle (1 Byte, PPPTMRRR)
    - P: Zugriffspriorität
    - T: Tokenbit (0: freies Token, 1:Daten)
    - M: Monitorbit
    - R: Reservierungspriorität
  - Endsequenz (1 Byte, JK1JK1IE)
    - I: Zwischenrahmenbit (0: letztes Paket, 1: weitere Pakete folgen)
    - E: Fehlerbit (0: fehlerfrei, 1: Fehler entdeckt)

Token Ring: Tokenrahmen

- Der Datenrahmen besteht aus:
  - Startsequenz wie Token
  - Zugriffskontrolle wie Token
  - Rahmenkontrolle (1 Byte, FFrrZZZZ)
    - FF: Paketart (00: Protokollsteuerpaket, 01: Paket mit Anwenderdaten)
    - rr: reserviert für zukünftige Anwendungen
    - ZZZZ: Informationen zur Paketpufferung
  - Zieladresse (6 Byte): Adresse eines spezifischen Geräts oder Multicast-Adresse
  - Quelladresse (6 Byte)
  - Routing Informationen (0-30 Bytes): optional
  - Daten
  - Prüfsumme FCS (4 Byte): Berechung auf Basis der Daten zwischen Start- und Endsequenz
  - Endsequenz wie Token
  - Paketstatus (1 Byte ACrrACrr)
    - A: Paket wurde vom Empfänger als an in adressiert erkannt
    - C: Paket wurde vom Empfänger erfolgreich empfangen

Token Ring: Monitor

- Für den fehlerfreien Ablauf des Protokolls existiert im Token Ring ein Monitor.
- Aufgaben:
  - Entfernung von fehlerhaften Rahmen
  - Neugenerierung eines Tokens bei Verlust des Tokens (nach Ablauf einer Kontrollzeit)
  - Entfernung endlos kreisender Nachrichten bei Ausfall der Senderstation (Markierung der Nachricht beim Passieren des Monitors, Löschen der Nachricht beim 2. Passieren)
  - Signalisierung der Existenz des Monitors (durch Active Monitor Present Nachricht)

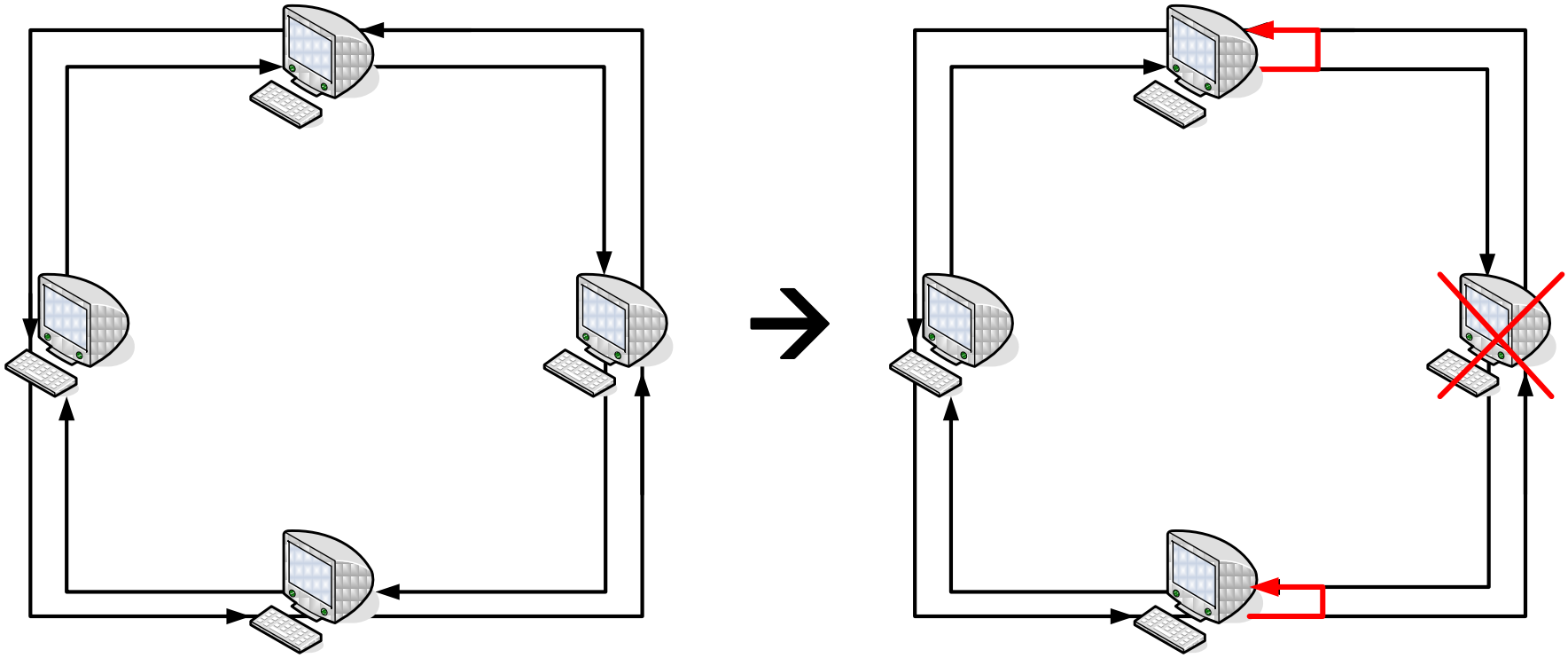
Token Ring: Initialisierung / Rekonfigurierung

- Bei der Initialisierung bzw. dem Ablauf des Standby Monitor Timer (Mechanismus zur Tolerierung des Ausfalls des Monitors)
  1. Senden eines Claim Token Paketes
  2. Überprüfung, ob weitere Pakete die Station passieren
  3. Falls nein → Station wird zum Monitor
  4. Generierung eines Tokens
  5. Jede Station überprüft mittels des Duplicate Adress Test Paketes, ob die eigene Adresse bereits im Netzwerk vorhanden ist.
- Der Ausfall einer Station kann durch das Netzwerk erkannt werden und evtl. durch Überbrückung kompensiert werden.

FDDI

- Fiber Distributed Data Interface (FDDI) ist eine Weiterentwicklung von Token Ring
- Medium: Glasfaserkabel
- doppelter gegenläufiger Ring (aktiver Ring, Reservering) mit Token-Mechanismus
- Datenrate: 100 MBit/s, 1000 MBit/s
- Codierung: 4B5B (wie in FastEthernet)
- maximal 1000 Einheiten
- Ringlänge: max. 200 km
- Maximaler Abstand zwischen zwei Einheiten: 2 km
- Fehlertoleranz (maximal eine Station)
- Nachrichten können hintereinander gelegt werden (early release)
- Weitere Entwicklungen FDDI-2

Fehlerkonfiguration in FDDI



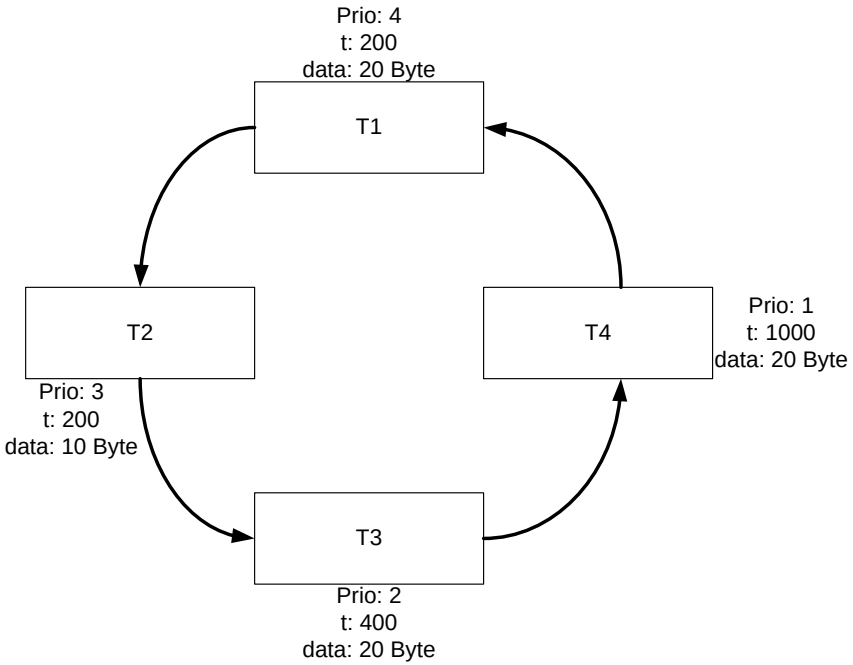
MAP / Token Bus

- **MAP**: **Manufacturing Automation Protocol** (Entwicklung ab 1982 von General Motors)
- Einsatz hauptsächlich im Produktionsbereich
- Schicht 1: anstelle von Ring-Topologie nun beliebige Topologie durch den Einsatz von Bridges, Gateways und Routern
- Medienzugriffsverfahren:
  - Token Bus, spezifiziert in IEEE 802.4
  - ähnlich Token-Ring, die benachbarte Station zur Weiterleitung des Tokens wird anhand einer Adresse bestimmt.
- In MAP werden zudem alle sieben Schichten des ISO/OSI-Modells spezifiziert.
- Aufgrund des Umfangs und der Komplexität konnte sich MAP nicht durchsetzen.
- Maximale Übertragungsrate: 10 MBit/s

Klausur 06/07 (modifiziert) – TokenRing (8 Punkte = 8 min)

a) Geben Sie die Reihenfolge der Nachrichten an, die im Netzwerk bei Verwendung des TokenRing-Protokolls gesendet werden und begründen Sie ihre Antwort.
Zum Zeitpunkt 0 soll dabei der Teilnehmer T1 im Besitz des Tokens sein.
Zur Erinnerung: Ein Token besteht aus insgesamt 3 Byte (8 Bit Startbegrenzer, 8 Bit Zugriffskontrolle mit Zugriffspriorität und Reservierungspriorität, 8 Bit Endbegrenzer). Der Header für ein Datenpaket besteht aus mindestens 21 Byte.

Lösung: Token, Nachricht von T2, T3 reserviert, T1 kann wegen höherer Priorität von T3 nicht reservieren, Token, Nachricht von T3, T4 reserviert, T1 kann wegen höherer Priorität von T4 nicht reservieren, Token, Nachricht von T4, T1 reserviert, Token, Nachricht von T1



Annahmen: Bitsendedauer 1 Zeiteinheit
Laufzeit zwischen 2 Knoten 200 Zeiteinheiten
Priorität: 1 – hoch, 4 – niedrig

Echtzeitfähige Kommunikation

Zeitgesteuerte Verfahren

Vertreter: TTP, Flexray

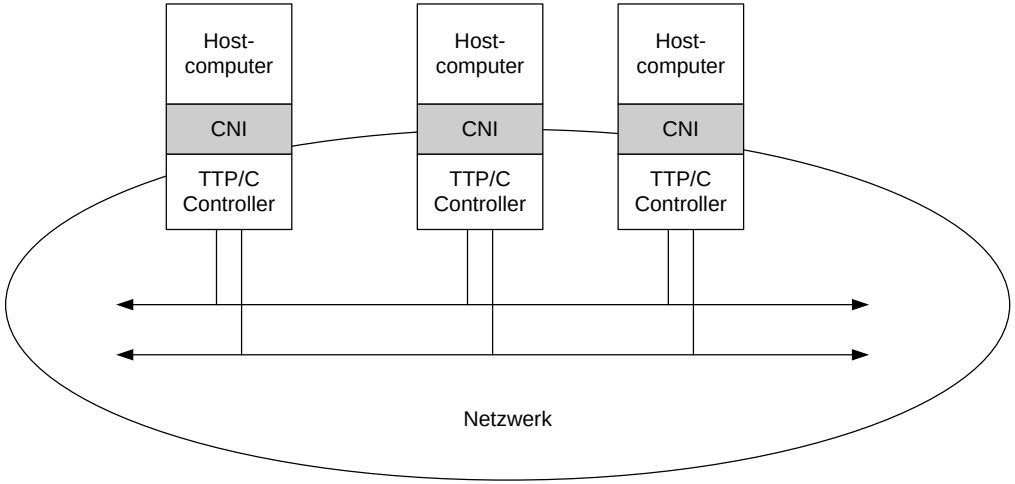
Zugriffsverfahren: TDMA

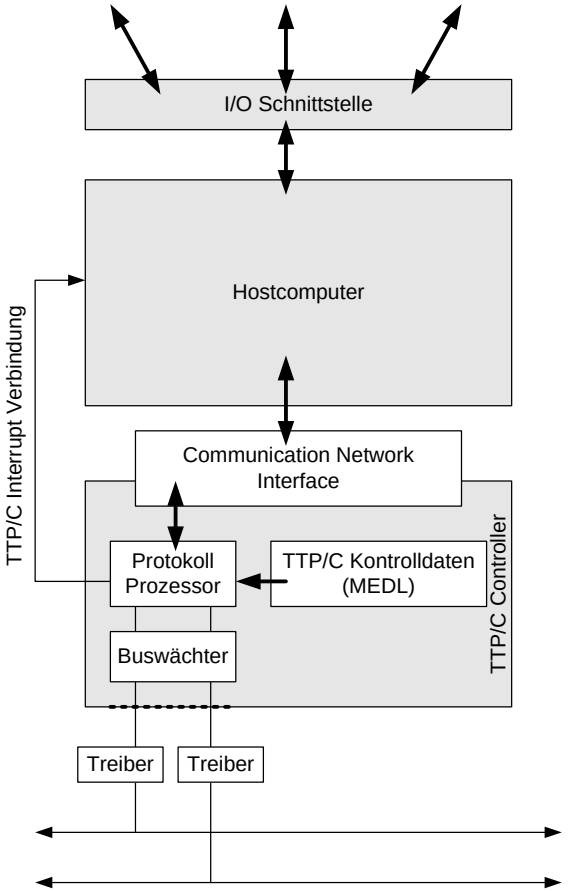
- **TDMA** (**Time Division Multiple Access**) bezeichnet ein Verfahren, bei dem der Zugriff auf das Medium in Zeitscheiben (slots) eingeteilt wird.
- Die Zeitscheiben werden für jeweils einen Sender zur Verfügung gestellt.
- Vorteile:
  - Kollisionen sind per Design ausgeschlossen
  - Einzelnen Sendern kann eine Bandbreite garantiert werden.
  - Das zeitliche Verhalten ist vollkommen deterministisch.
  - Synchronisationsalgorithmen können direkt im Protokoll spezifiziert und durch Hardware implementiert werden.
- Nachteil:
  - keine dynamische Zuteilung bei reinem TDMA-Verfahren möglich
- Bekannte Vertreter: TTP, Flexray (kombiniert zeitgesteuert und dynamische Kommunikation)

Einführung TTP

- Entstanden an der TU Wien (SpinOff TTTech)
- TTP steht für Time Triggered Protocol
- TTP ist geeignet für harte Echtzeitsysteme:
  - verteilter, fehlertoleranter Uhrensynchronisationsalgorithmus (Einheit: 1 µs), toleriert beliebige Einzelfehler.
  - Zwei redundante Kommunikationskanäle → Fehlersicherheit
  - Einheiten werden durch Guards geschützt (Vermeidung eines babbling idiots).
  - Kommunikationsschema wird in Form einer **MEDL** (**Message Descriptor List**) a priori festgelegt und auf die Einheiten heruntergeladen.
- Einsatz unter anderem im Airbus A380

TTP-Architektur

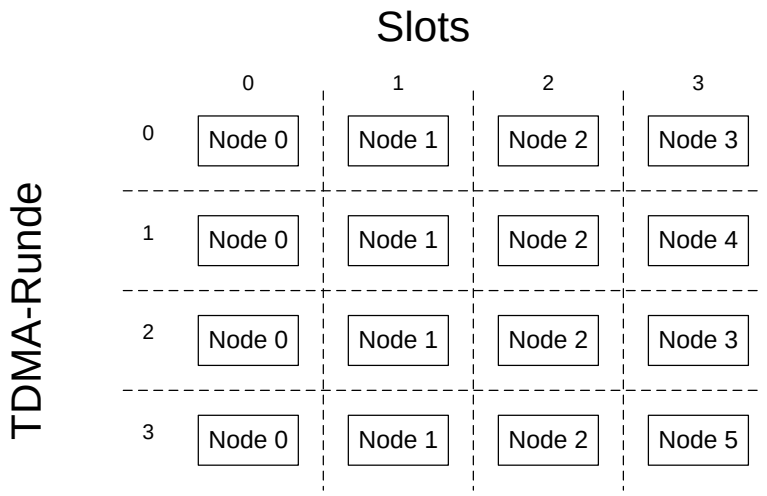




- Erläuterung:
  - Hostcomputer: Ausführung der eigentlichen Anwendung
  - CNI: Gemeinsamer Speicherbereich von Hostcomputer und TTP/C-Kontroller
  - Unterbrechungsverbindung: zur Übermittlung von Ticks der globalen Uhr und außergewöhnlicher Ereignisse an den Hostcomputer
  - MEDL: Speicherplatz für Kontrolldaten

TTP: Arbeitsprinzip

- Die Controller arbeiten autonom vom Hostcomputer (notwendige Daten sind in MEDL enthalten)
  - für jede zu empfangende und sendende Nachricht: Zeitpunkt und Speicherort in der CNI
  - zusätzliche Informationen zur Ausführung des Protokolls
- In jeder TDMA-Runde sendet ein Knoten genau einmal
  - Unterscheidung zwischen
    - reellen Knoten: Knoten mit eigenem Sendeschlitz
    - virtuelle Knoten: mehrere Knoten teilen sich einen Sendeschlitz
    - Die Länge der Sendeschlitze kann sich dabei unterscheiden, für einen Knoten ist die Länge immer gleich
      → TDMA-Runde dauert immer gleich lang



Protokolldienste

- Das Protokoll bietet:
  - Vorhersagbare und kleine, nach oben begrenzte Verzögerungen aller Nachrichten
  - Zeitliche Kapselung der Subsysteme
  - Schnelle Fehlerentdeckung beim Senden und Empfangen
  - Implizite Nachrichtenbestätigung durch Gruppenkommunikation
  - Unterstützung von Redundanz (Knoten, Kanäle) für fehlertolerante Systeme
  - Unterstützung von Clustermoduswechseln
  - Fehlertoleranter, verteilter Uhrensynchronisationsalgorithmus ohne zusätzliche Kosten
  - Hohe Effizienz wegen kleinem Protokollaufwand
  - Passive Knoten können mithören, aber keine Daten versenden.
  - Schattenknoten sind passive redundante Knoten, die im Fehlerfall eine fehlerhafte Komponente ersetzen können.

Fehlerhypothese

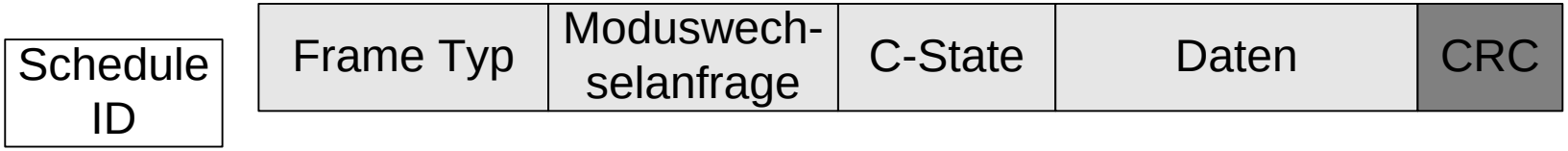
- Interne physikalische Fehler:
  - Erkennung einerseits durch das Protokoll, sowie Verhinderung eine babbling idiots durch Guards.
- Externe physikalische Fehler:
  - Durch redundante Kanäle können diese Fehler toleriert werden.
- Designfehler des TTP/C Kontrollers:
  - Es wird von einem fehlerfreien Design ausgegangen.
- Designfehler Hostcomputer:
  - Protokollablauf kann nicht beeinflusst werden, allerdings können inkorrekte Daten erzeugt werden.
- Permanente Slightly-Off-Specification-Fehler:
  - können durch erweiterte Guards toleriert werden.
- Regionale Fehler (Zerstören der Netzwerkverbindungen eines Knotens):
  - Folgen können durch Ring- und Sternarchitektur minimiert werden.

Zustandsüberwachung

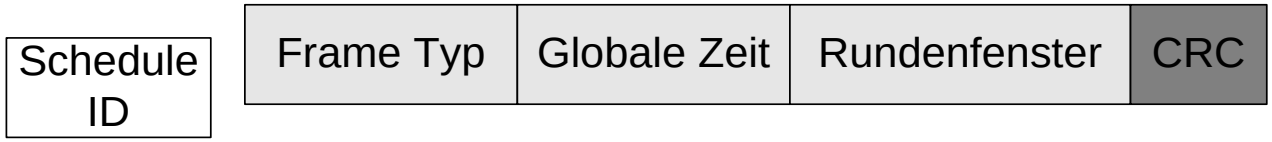
- Das Protokoll bietet Möglichkeiten, dass Netzwerk zu analysieren und fehlerbehaftete Knoten zu erkennen.
- Der Zustand des Netzwerkes wird dabei im Kontrollerzustand (C-State) gespeichert.
- Der C-State enhält:
  - die globale Zeit der nächsten Übertragung
  - das aktuelle Fenster im Clusterzyklus
  - den aktuellen, aktiven Clustermodus
  - einen eventuell ausstehenden Moduswechsel
  - den Status aller Knoten im Cluster
- Das Protokoll bietet einen Votierungsalgorithmus zur Überprüfung des eigenen Zustands an.
- Ein Knoten ist korrekt, wenn er in seinem Fenster eine korrekte Nachricht versendet hat.
- Knoten können sich durch die Übernahme der Zeit und der Schedulingposition integrieren, sobald ein integrierender Rechner eine korrekte Nachricht sendet, erkennen in die anderen Knoten an.

Datenpakete in TTP

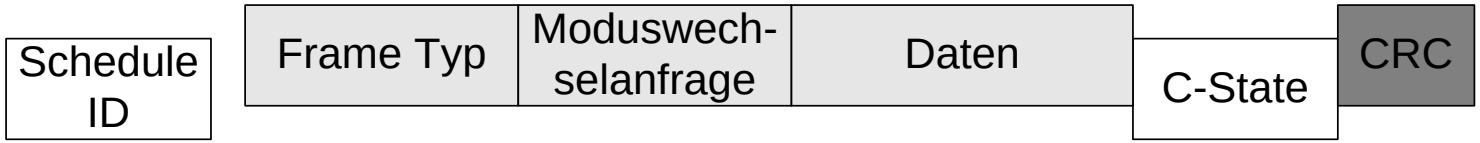
- Paket mit explizitem C-State



- Kaltstartpaket



- Paket mit implizitem C-State



TTP: Clusterstart

- Der Start erfolgt in drei Schritten:
  1. Initialisierung des Hostcomputers und des Controllers
  2. Suche nach Frame mit expliziten C-State und Integration
  3. a) Falls kein Frame empfangen wird, werden die Bedingungen für einen Kaltstart geprüft:
     - Host hat sein Lebenszeichen aktualisiert
     - Das Kaltstart Flag in der MEDL ist gesetzt
     - die maximale Anzahl der erlaubten Kaltstarts wurde noch nicht erreicht

     Sind die Bedingungen erfüllt, sendet der Knoten ein Kaltstartframe.
  3. b) Falls Frame empfangen wird: Versuch zur Integration

TTP: Sicherheitsdienste / Synchronisation

- Sicherheitdienste:
  - Korrektheit: Alle Knoten werden über die Korrektheit der anderen Knoten mit einer Verzögerung von etwa einer Runde informiert.
  - Cliquenentdeckung: Es werden die Anzahl der übereinstimmenden und entgegen gesetzten Knoten gezählt. Falls mehr entgegen gesetzte Knoten gezählt werden, so wird ein Cliquenfehler angenommen.
  - Host/Kontroller Lebenszeichen: der Hostcomputer muss seine Lebendigkeit dem Kontroller regelmäßig zeigen. Sonst wechselt der Kontroller in den passiven Zustand.
- Synchronisation:
  - In regelmäßigen Abständen wird die Uhrensynchronisation durchgeführt.
  - Es werden die Unterschiede der lokalen Uhr zu ausgewählten (stabilen) Uhren (mind.4) anderer Rechner anhand den Sendezeiten gemessen.
  - Die beiden extremen Werte werden gestrichen und vom Rest der Mittelwert gebildet.
  - Die Rechner einigen sich auf einen Zeitpunkt für die Uhrenkorrektur.