**Data Link Layer**

Aufgaben

Bereitstellung grundlegender Übertragungsprotokolle  
Sicherstellung einer effizienten Übertragung durch  
 Kanalzugriffssteuerung (⇒ MAC-Teilschicht)  
 Maskierung von Übertragungsfehlern  
 Kompensation unterschiedlicher Geschwindigkeiten von Sender und Empfänger

Bilden von Frames

Lösungsversuche  
- Frames alle mit einheitlicher Länge (Beispiel: ATM-Zelle)  
 - durch Pausen zwischen den Frames   
- durch Zählen der Zeichen pro Frame

Stuffing

- Character-Stuffing

Idee: Innerhalb der Sicherungsschicht werden Anfang und Ende jedes Frames mit speziellen Escape-Sequenzen markiert:   
DLE STX (Data Link Escape, Start of TeXt) bzw.   
DLE ETX (Data Link Escape, End of TeXt).

Problem: Wie codiert man im Zeichenstrom auftretende DLEs?

Lösung: Doppelt Senden.

- Bit-Stuffing

Idee: Anfang und Ende des Frames werden mittels eines speziellen Bitmusters markiert (01111110)

Problem: Wie lassen sich im Datenstrom auftretende 01111110-Sequenzen codieren?

Lösung: Nach jeweils fünf ’1’ wird eine ’0’ eingefügt.

Fehlererkennung und -korrektur

Frames werden vom Sender als Codewörter geeignet codiert übertragen  
 Die Menge aller Codewörter heißt Code

Definition: Hamming-Distanz

- zweier Codewörter  
Die Hamming-Distanz zweier Codewörter ist die Anzahl der Bits, in denen sich die beiden unterscheiden

- eines Codes d  
wenn zwei beliebige Codewörter des Codes eine Hamming-Distanz von d oder größer besitzen

Um Bereiche mit e oder weniger Einzelbit-Fehlern sicher erkennen zu können, ist es notwendig und hinreichend, wenn der Code eine Hamming-Distanz von mindestens e + 1 besitzt.

Um Bereiche mit k oder weniger Fehlern sicher korrigieren zu können, ist es notwendig und hinreichend, wenn der Code eine Hamming-Distanz von mindestens 2k + 1 besitzt.

CRC: Cyclic Redundancy Check – Herleitung

Siehe Polynome Semester 1

Flusskontrolle

Problem: Frames werden schneller gesendet als sie der Empfänger verarbeiten kann  
Lösung: Die Übertragungsrate muss individuell angepasst werden

Problem: Ein Sender weiß nicht, ob ein Frame korrekt angekommen ist  
Lösung: Der Empfänger schickt eine Bestätigung (ACK)

Problem: Bestätigungen können ebenfalls verlorengehen  
Lösung: Der Sender hat einen Timer; nach Auftreten eines Timeouts wiederholt er  
 alle unbestätigten Frames

Problem: Der Empfänger erhält nun manche Frames mehrfach; er kann jedoch  
 Duplikate nicht als solche erkennen  
Lösung: Sequenznummern für Frames verwenden

Problem: Sequenznummern sind ein Header-Feld und daher nicht beliebig lang   
Lösung: Zurzeit genügen 0 und 1

Problem: Bei größeren RTTs ist das Protokolls nicht sehr effizient  
Lösung: Puffer einbauen

Sliding Window

Anstatt die Frames einzeln zu senden, darf der Sender eine größere Anzahl von aufeinanderfolgenden Frames (das so genannte Sendefenster) versenden

Frames bleiben immer so lange im Sendefenster gespeichert, bis ein passendes ACK eingetroffen ist

Der Empfänger besitzt analog ein Empfangsfenster, das eine bestimmte Anzahl an Frames speichern kann. Von hier holt die darüberliegende Schicht die Frames ab

Beschädigte Frames bleiben so lange im Empfangsfenster stehen, bis eine korrekte Version empfangen wurde

Frame Nr. k bleibt so lange im Empfangsfenster stehen bis Frame Nr. k − 1 verarbeitet wurde.

Wieso? Neue Frames, die nicht mehr ins Empfangsfenster passen, werden kommentarlos zerstört.

Medium Access Control: MAC-Sublayer

Es gibt drei alternative Strategien zur Kanalzuteilung:

* Mit Reservierung:

Eine Station mit Sendewunsch macht vor dem Senden eine Reservierung

Protokolle: Bit-Map, Binärer Countdown, . . .

* Round-Robin:

Der Kanal wird den Stationen in festgelegter Reihenfolge abwechselnd zugeteilt. Realisierung z. B. mittels Tokens

* Optimistisch:

Jede Station, die senden will, sendet einfach. Falls eine Kollision auftritt, dann muss eben was getan werden, um die Kollision beheben. Die Kollisionshäufigkeit sollte hier recht geringgehalten werden

Protokolle: ALOHA, CSMA, …

Statistische Analyse

Die Sendeereignisse bilden einen sogenannten Poisson-Prozess.

Die Zufallsvariable X, die die Anzahl der Sendereignisse während einer festen Zeitspanne  
 beschreibt, ist Poisson-verteilt mit Parameter λ.

⇒ Prob (X = k) = (λk/k!) e−λ, k = 0, 1, 2, ...

λ entspricht der innerhalb der festgelegten Zeitspanne im Mittel gesendeten Frames.

Bestimmen des Durchsatzes

* Anzahl der während der festgelegten Zeitspanne (I.d.R. TFrame erfolgreich übertragenen Frames heißt Durchsatz
* Für einen Frame, der gerade in Übertragung ist, gilt: Es erfolgt dann und nur dann keine Kollision, wenn während der gefährlichen Zeitspanne keine anderen Frames gesendet werden
* Nur unbeschädigt, wenn während der Zeitdauer von 2Tframe genau 0 weitere Frames gesendet werden.
* P0 = e−2G
* Durchsatz S des ALOHA-Protokolls berechnet sich somit:

S = G · P0 = G · e−2G

Slotted ALOHA

* Wir unterteilen den Kanal in Slots und legen fest, dass Übertragungen nur zu Beginn eines Slots starten dürfen
* Durchsatz ist nun S = G · e−G

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

* Bevor ein Frame gesendet wird, lauscht der Sender am Kanal, ob dieser gerade frei ist.

CSMA/CD ( mit Kollisionserkennung)

* Lauscht auch beim Übertragen weiter und bricht bei Kollision ab

Bit-Map

* Reservierendes Protokoll
* Alle Stationen haben eine eindeutige ID
* Jede Konkurrenzphase wird in N Slots unterteilt
* Wenn Station k ein Frame übertragen will, dann sendet sie eine “1” im ¨ k-ten Slot
* Von allen Stationen, die einen Sendewunsch geäußert haben, beginnt die Station mit der niedrigsten ID.