

3. De datalink-laag

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 1

Datalinklaag

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 2

Datalinklaag (laag 2)

Doel:
Betrouwbare en efficiënte communicatie tussen twee aangrenzende machines.

- foutbeheersing;
- stroombeheersing.

(Bits worden daartoe in blokken gegroepeerd (frames) met speciale bitpatronen aan begin en eind om voor de herkenning)

De zender zendt o.a. dataframes, de ontvanger bevestigingsframes.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 3

Noodzaak van een Datalink laag

Datalink laag maakt van fysieke "lijn" een kanaal waarover bits op de juiste wijze worden overgedragen.

Rekening te houden met:

- Transmissiefouten (foutkans)
- transmissiesnelheid (bit/s)
- transmissielooptijd ($\mu\text{sec/km}$)
- verwerkingstijd machines

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 4

3.1.1 Aan Netwerklaag geboden diensten

Verbindingsloos

- Onbevestigd verbindingsloos
 - onafhankelijke frames
 - geen poging tot herstel
 - bij lage foutkans
 - bij tijdgebonden data ("real time"), bijv. spraak.
- Bevestigd verbindingsloos
 - onafhankelijke frames
 - elk frame wordt bevestigd
 - nogmaals verzenden indien fout

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 5

Geboden diensten (2)

Verbindingsgericht

- Tot stand brengen verbinding (faciliteiten, variabelen, tellerstanden initialiseren)
- verzenden
- Opheffen verbinding (vrijgeven faciliteiten, variabelen, buffers)

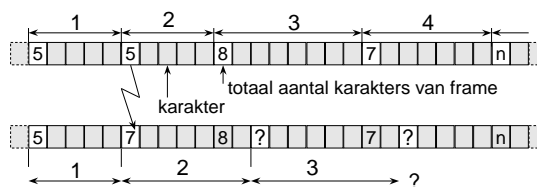
in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 6

3.1.2 Frame-indeling

Datalinklaag deelt berichten op in blokken (*frames*):

- Fysieke laag maakt fouten. DL-laag tracht die te herstellen: per frame een vast aantal bits reserveren voor detectie of correctie
- Datalinklaag moet de bitstream (snelheid) kunnen regelen, doet dat op basis van frames.
- Verschillende markeringsmethoden voor frames

a. Tellen van karakters



Foutgevoelig, weinig meer gebruikt.

b. Begin- en eind-karakters



- DLE, STX of DLE, ETX geven framegrenzen aan.
- Deze combinaties zouden in de data kunnen voorkomen.
- Vóór het toevoegen van de framegrenzen in de data DLE => DLE,DLE (*character stuffing*)
- In de bij de ontvanger binnenkomende bitstream geven slechts DLE, STX of DLE, ETX framegrenzen aan.
- DLE, DLE, STX en DLE, DLE, ETX worden als data herkend en weer omgezet in DLE, STX of DLE, ETX
(DLE = DataLink Escape, STX=Start of Text, ETX=End of Text)

Voorbeeld *character stuffing*

Data [A | B | DLE | STX | C | D | DLE | ETX | -----]

Voor verzenden [DLE] => [DLE | DLE]:

[A | B | DLE | DLE | STX | C | D | DLE | DLE | ETX | -----]

Begin en eindkarakters toevoegen:

[DLE | STX | A | B | DLE | DLE | STX | C | D | DLE | DLE | ETX | ----- | DLE | ETX]

Overzenden

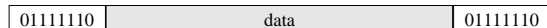
De paren [DLE | STX] en [DLE | ETX] opsporen en verwijderen:

[A | B | DLE | DLE | STX | C | D | DLE | DLE | ETX | -----]

[DLE | DLE] => [DLE]:

[A | B | DLE | STX | C | D | DLE | ETX | -----]

c. Begin en eindvlaggen



- Vlagpatroon kan ook in de data voorkomen
- Voor verzenden dit patroon verwijderen door na elke 5 énen in de data daar een "0" in te voegen (*bit stuffing*).
- De ontvanger detecteert de vlaggen, en verwijdert ze
- In de data wordt na elke 5 énen een "0" weggehaald.

Voorbeeld *bit stuffing*

Data [--01111110111110111110111110--]

Nullen invoegen

--0111110111110110111110011111010--

Vlaggen toevoegen:

[01111110 | --0111110111110110111110011111010-- | 01111110]

Overzenden

De paren vlaggen opsporen en verwijderen:



--0111110111110110111110011111010--

Na elke 5 énen een "0" weghalen:


--01111111111110111110111110--

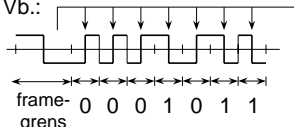
d. Bijzondere signalen in de fysieke laag

Voorbeeld: Manchester-codering.

Normale "0":  normale "1": 

Elk bit heeft een signaalwisseling in het midden

Framegrens: 

Vb.: 

frame- 0 0 0 1 0 1 1
grens

Een normaal bit heeft een signaalwisseling in het midden, bij een framegrens ontbreekt dat op die plaats.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 13

3.2 Foutdetectie en -correctie

- Fouten komen met vlagen (*bursts*)
- Indien fouten onafhankelijk => veel foute frames
- Indien fouten in vlagen => weinig foute frames, echter wel ernstig beschadigd
- Door redundante codering foutdetectie of eventueel foutcorrectie (*Forward Error Correction*) mogelijk.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 14

Hamming-afstand

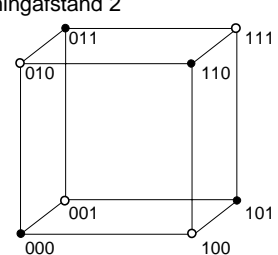
- Een n-bits code bestaat uit een verzameling codewoorden van n bits. (niet iedere combinatie van n bits hoeft een geldig codewoord te zijn)
- Hamming-afstand van twee codewoorden, is het aantal bits dat ze verschillen.
- Hamming-afstand van een code is het minimum van de Hamming-afstanden van alle mogelijke paren van codewoorden.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 15

Hamming-afstand

Voorbeeld:

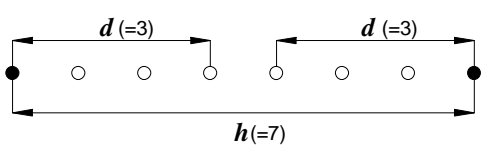
Driebitscode met Hammingafstand 2



- Gebruikte code
- Niet gebruikte code

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 16

Hammingafstand nodig voor correctie



Herstel mogelijk indien: $h \geq 2d + 1$

h = Hammingafstand [bits]
 d = aantal foute bits

of $d \leq \left\lfloor \frac{h-1}{2} \right\rfloor$

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 17

Eenvoudige pariteit

Even pariteit

0 1 0 1 1 0 1 0

Oneven pariteit

0 1 0 1 1 0 1 1

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 18

3.2.1 Eén bit kunnen herstellen

Hoeveel bits nodig?

$M = \text{databits}$
 $R = \text{bits voor foutcontrole}$

- De databits hebben 2^M verschillende bitpatronen
 - Per bitpatroon N patronen door een fout van één bit

$2^M + 2^M \cdot N \leq 2^N$

Oorspronkelijk aantal bitpatronen ↑
 Aantal foute bitpatronen ↑
 Totaal aantal bitpatronen ↑

Met $N = M + R$ volgt $M + R + 1 \leq 2^R$
 (R bepalen door proberen)

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 19

Hoeveel bits toevoegen voor herstel?

$M + R + 1 \leq 2^R$ (Herstel van één fout bit in bericht)

| | | | |
|---------|------------------|----------|------------------|
| $M = 1$ | $R + 2 \leq 2^R$ | $M = 4$ | $R + 5 \leq 2^R$ |
| $R = 1$ | $3 \leq 2^?$ | $R = 3$ | $8 \leq 8$ |
| $R = 2$ | $4 \leq 4$ | $M = 5$ | $R + 4 \leq 2^R$ |
| $M = 2$ | $R + 3 \leq 2^R$ | $R = 3$ | $9 \leq 8?$ |
| $R = 2$ | $5 \leq 4?$ | $R = 4$ | $10 \leq 16$ |
| $R = 3$ | $6 \leq 8$ | $M = 6$ | $R = 4$ |
| $M = 3$ | $R + 4 \leq 2^R$ | $R = 4$ | $11 \leq 16$ |
| $R = 3$ | $7 \leq 8$ | \vdots | \vdots |
| | | $M = 11$ | $R = 4$ |
| | | | $16 \leq 16$ |

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 20

Aantal extra bits nodig

(Herstel van één fout bit)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| M | | | | | | | | | | | | | | | |
| + | | | | | | | | | | | | | | | |
| R | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| = | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 3 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 |

$M =$ netto aantal bits van het bericht (databits)
 $R =$ aantal benodigde controlebits
 $N =$ totaal aantal bits (machten van 2 ontbreken!)

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 21

Hammingcodering

- Nummer de plaatsen, begin links met 1
- Plaats pariteitsbits op plaatsnummers die machten van 2 zijn (1, 2, 4, 8, 16...)

P P 3 P 5 6 7 P 9 10 11 12

- Plaatsnrs. van de databits ontbinden in som van machten van 2 (Vb. 11=1+2+8)
- Een pariteitsbit telt die databits waarbij zijn plaatsnr. in de "ontbinding" voorkomt

| | | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|---|----|-----|-----|----|-----|
| 1 telt | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | ... | | | |
| 2 telt | 3 | | 6 | 7 | 10 | 11 | ... | | |
| 4 telt | | 5 | 6 | 7 | | 12 | ... | | |
| 8 telt | | | | | 9 | 10 | 11 | 12 | ... |

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 22

Hammingcodering (voorbeeld)

$M = 8 \Rightarrow R \geq 4$

Databericht 0 1 1 0 0 1 0 1 (even pariteit):

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 23

Voorbeeld: correctie van fout

Even pariteit

| | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|----|----|----|----|
| p1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | | | |
| p2 | 3 | | 6 | 7 | 10 | 11 | | |
| p4 | | 5 | 6 | 7 | | 12 | | |
| p8 | | | | | 9 | 10 | 11 | 12 |

plaats 6 is de enige die alleen in p2 en p4 voorkomt

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 24

Welk bit is er dan fout?

| fout in bit | indien fout in pariteitsbits |
|-------------|------------------------------|
| 1 | p1 |
| 2 | p2 |
| 3 | p1 & p2 |
| 4 | p4 |
| 5 | p1 & p4 |
| 6 | p2 & p4 |
| 7 | p1 & p2 & p4 |
| 8 | p8 |
| 9 | p1 & p8 |
| 10 | p2 & p8 |
| 11 | p1 & p2 & p8 |
| 12 | p4 & p8 |

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 25

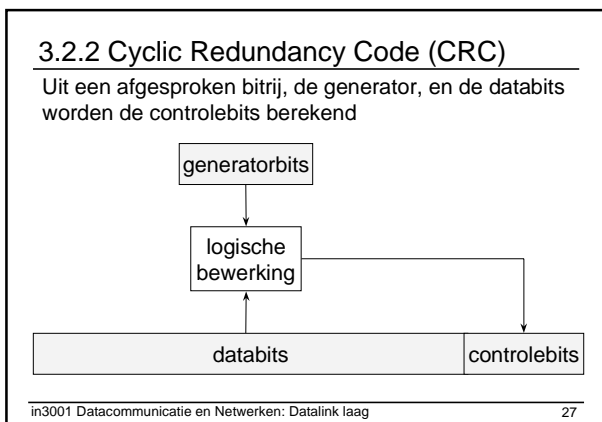
Detectie van fouten door bursts

codewoord ↓

| | d | a | t | a | c | o | m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| P | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |

volgorde van verzenden

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 26



Bitreeks voorgesteld door een veelterm

$$a_{k-1}x^{k-1} + a_{k-2}x^{k-2} \dots a_2x^2 + a_1x + a_0$$

Machten van x geven het plaatsnummer aan; de bijbehoren coëfficiënten a_i zijn 1 of 0.

Voorbeeld:

| | | | | | |
|-------------|---|---|---|---|---------|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| $x^5 + x^4$ | | | | | $+ x^0$ |

Voorbeeld:

| | | | | | | | |
|-------------|---|---|---------|---|---|---|-------|
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| $x^7 + x^6$ | | | $+ x^4$ | | | | $+ x$ |

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 28

Modulo-2 rekenen

0 +/- 0 = 0
 1 +/- 1 = 0
 1 +/- 0 = 1
 0 +/- 1 = 1

Vb.: $x^3 + x$ 1 0 1 0
 $\frac{x^3 + 1}{x + 1} +/-$ $\frac{1 0 0 1}{0 0 1 1} +/-$

Vb.: $x^3 + x$ 1 0 1 0
 $\frac{x^3 + x}{0} +/-$ $\frac{1 0 1 0}{0 0 0 0} +/-$

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 29

Nullen toevoegen aan bitrij

Een bitrij voorgesteld door polynoom $M(x)$. Die zelfde bitrij maar dan met r nullen erachter is dan $x^r M(x)$

Voorbeeld: $x^5 + x^4 + x + 1 \triangleq 110011$
 $x^4(x^5 + x^4 + x + 1) =$
 $x^9 + x^8 + x^5 + x^4 \triangleq 1100110000$

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 30

Algoritme CRC

- Afgesproken generatorveelterm $G(x)$ met graad r
- Bericht $M(x)$
- Maak $x^r M(x)$
- Deel dit door $G(x)$
- Tel de rest van de deling, $R(x)$, op bij $x^r M(x) \Rightarrow$
- Verstuur $x^r M(x) + R(x)$ (Dit is deelbaar door $G(x)$)
- Bij de ontvanger wordt $x^r M(x) + R(x)$ gedeeld door $G(x)$
- Is de rest 0 dan is het bericht goed
- Is de rest *niet* 0 dan is het bericht beschadigd

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 31

Algoritme CRC (2)

$$\frac{x^r M(x)}{G(x)} = D(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$$

$$x^r M(x) = D(x) \cdot G(x) + R(x)$$

$$x^r M(x) \pm R(x) = D(x) \cdot G(x) + \cancel{R(x)} \pm \cancel{R(x)}$$

← verstoren; is deelbaar door $G(x)$ → ~~is 0 bij mod 2 optelling~~

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 32

Voorbeeld CRC berekening

Generatorveelterm: $x^3 + x + 1$ (1 0 1 1)
 Data: $x^3 + 1$ (1 0 0 1)
 Data met nullen: $x^6 + x^3$ (1 0 0 1 0 0 0)

$$x^3 + x + 1 \overline{) x^6 + x^4 + x^3}$$

$$\underline{x^6 + x^4 + x^3}$$

$$\text{rest} \Rightarrow \underline{x^2 + x}$$

Verzonden bericht:
 $x^6 + x^3 + x^2 + x$

Of direct met enen en nullen:

$$1011 \overline{) 1001000}$$

$$\underline{1011}$$

$$\underline{1000}$$

$$\underline{1011}$$

rest => 110
 bericht met nullen => 1001000
 verzonden bericht => 1001110

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 33

Generatorveeltermen

ITU-T $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ <==

CRC-16 (IBM) $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^2 + 1$

CRC-12 $G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 34

3.3 Elementaire datalinkprotocollen

SDL- Specification and Description Language (genormaliseerd door ITU)

- tekst Startsymbool
- tekst Toestand; protocol verlaat die slechts door invoer
- tekst Invoer
- tekst Uitvoer
- tekst Taak
- tekst Beslissing
- tekst Commentaar
- Verbinding

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 35

3.3.1 Onbeperkt simplex protocol (prot. 1)

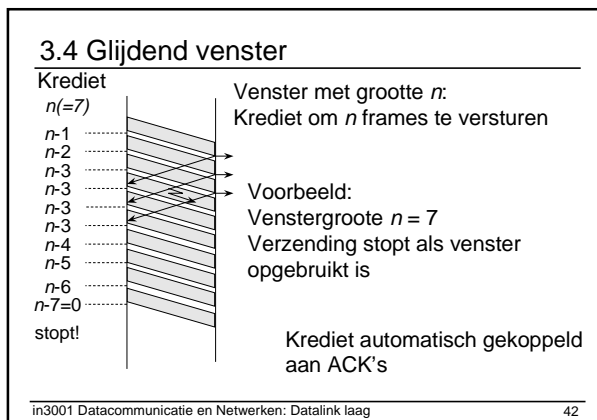
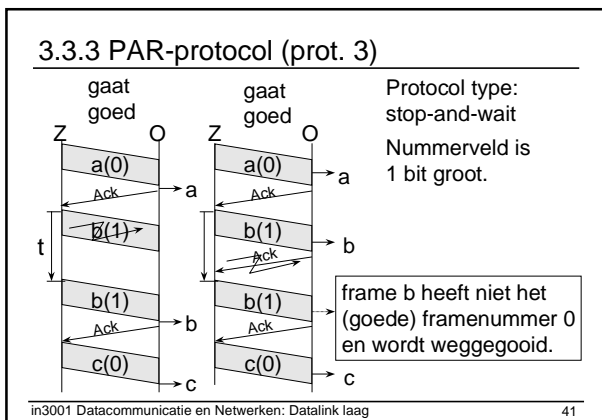
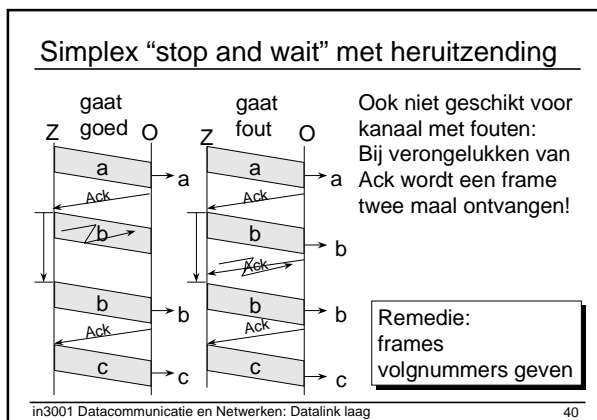
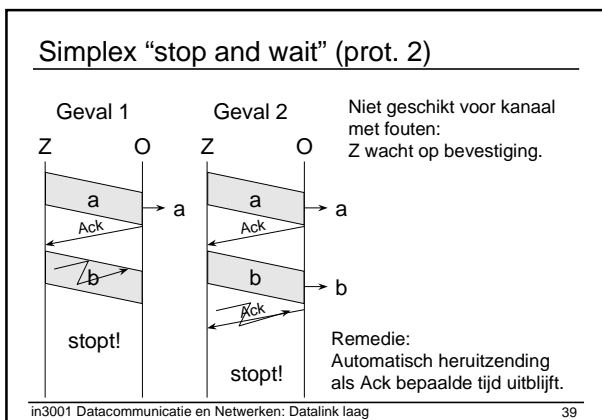
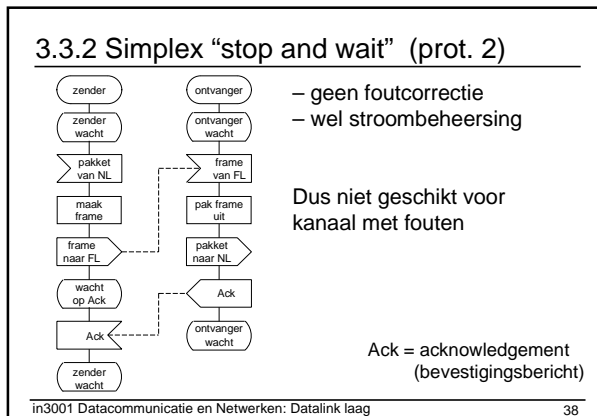
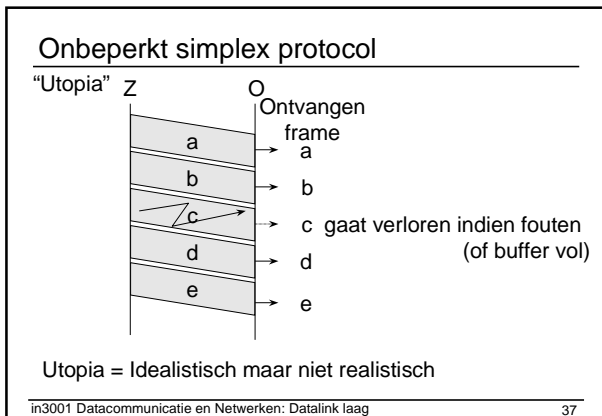
"Utopia"

- geen foutcorrectie
- geen stroombeheersing

Dus niet geschikt voor kanaal met fouten of voor trage ontvanger.

NL = netwerklaag
 FL = fysieke laag

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 36



Glijdend venster

Krediet $n(=7)$

Is venster groot genoeg dan kunnen frames aansluitend worden verzonden: "pipelining"

In dit voorbeeld is de looptijd op de verbinding te groot om aansluitende verzending van frames mogelijk te maken.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 43

Glijdend venster

Zendvenster:
Volnummers die verzonden mogen worden + die verzonden zijn maar nog niet bevestigd

Ontvangstvenster:
Volnummers die geaccepteerd mogen worden.

Volnummers vaak 3 bits (0 ..7) of 7 bits (0 .. 127)

6 7 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4

venstergrootte 6

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 44

Piggy Backing

- *Piggy Backing* = het laten meereizen van een bevestiging in de header van een retourbericht. Dit heeft tot gevolg dat een bevestiging soms niet meteen wordt gezonden, maar pas als er een bericht de andere kant opgaat

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 45

Error afhandeling bij pipelining

Een fout frame wordt pas laat door zender ontdekt, twee mogelijke wijzen van aanpak

- **Go back n**
Bij een fout:
 - ontvanger gooit alle volgende frames weg, zendt geen bevestigingen
 - zender zendt na een time-out alle niet bevestigde frames opnieuw
- **Selective Repeat**
Bij een fout:
 - ontvanger buffert alle volgende goed ontvangen frames
 - zender zendt alleen foute frame opnieuw

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 46

3.6 Voorbeelden datalink-laag protocollen

HDLC familie (bit oriented, bit stuffing)

- SDLC - Synchronous Data Link Control (IBM 1969)
- ADCCP - Advanced Data Communication Control Protocol (ANSI 1971)
- HDLC - High-level Data Link Control (ISO)
 - subset van HDLC: LAP - Link Access Procedure (onderdeel van X.25)

X.25 is een toegangprotocol voor datanetwerken, genormaliseerd door de ITU-T (Internat. Telecomm. Union, een overlegorgaan van PTT's.)

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 47

High level Data Link Control

HDLC-frame

| | | | | | | |
|------|----------|-------|-----------|------|-----|----------|
| bits | 8 | 8 | 8 | ≥0 | 16 | 8 |
| | 01111110 | adres | besturing | data | CRC | 01111110 |

Information frame - Verbindingsgericht datatransport. Besturingsveld bevat o.a. volgnrns.

Supervisory frame - Begeleiding van verbindingsgericht datatransport. Besturingsveld bevat o.a. volgnrns. (dataveld ontbreekt)

Unnumbered frame - Beheer van verbinding en voor verbindingsloos datatransport

in3001 Datacommunicatie en Netwerken: Datalink laag 48

PPP (Point-to-Point Protocol)

Ondersteunt:

- Foutdetectie
- Verscheidene netwerkprotocollen
- Dynamisch toekennen van IP-adressen
- Authentiseren
- LCP (Link Control Protocol)
Onderhandelen over datalinkverbinding,
maken en verbreken van verbinding
- NCP (Network Control Protocol)
Onderhandelen over netwerkopties

PPP

PPP-frame lijkt veel op HDLC frame maar gebruikt
byte stuffing (0x7E) ipv bitstuffing
(dataveld geheel aantal bytes)

bytes 1 1 1 1 of 2 variabel 2 of 4 1

| | | | | | | |
|----------|-------|-----------|----------|------|-----|----------|
| 01111110 | adres | besturing | protocol | data | CRC | 01111110 |
|----------|-------|-----------|----------|------|-----|----------|

adres 1 1 1 1 1 1 1 (iedereen)

besturing 0 0 0 0 0 1 1 (ongenummerd frame)
dit is de verstekwaarde, framenummering is wel mogelijk