

4. De deellaag Medium Access Control

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 1

Medium Acces Control (MAC)

Plaats: onderin de datalinklaag

Omroepkanaal vaak gebruikt bij LANs, radionetwerken en netwerken via satelliet.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 2

MAC- en LLC-deellaag

Plaats in het hybride referentiemodel.

LLC - Logical Link Control
MAC - Medium Access Control

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 3

4.1 Probleem van toewijzing kanalen

- Statische technieken (FDM en TDM) zijn niet doelmatig bij onregelmatig aanbod van verkeer.
- Als voorbeeld stel tegenover elkaar:
 - één kanaal met capaciteit C bits/s
 - N kanalen met elk C/N bits/s
- Aanbod gemiddeld λ frames/s
- Gemiddelde framelengte L bits.
- Framelengte en afstand tussen de aankomstijden van de frames negatief-exponentieel verdeeld.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 4

Vb.: Negatief-exponentiële verdeling

Framelengte l met gemiddelde L

$$\Prd\{l\} = \frac{1}{L} e^{-\frac{l}{L}}$$

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 5

Wachttijd statische technieken

- Bij één kanaal met capaciteit C bits/s is gemiddelde wachttijd:

$$T = \frac{1}{\frac{C}{L} - \lambda}$$
- Bij opdelen in N kanalen met capaciteit C/N is de gemiddelde wachttijd:

$$T_{opged.} = \frac{1}{\frac{C/N}{L} - \frac{\lambda}{N}} = \frac{N}{\frac{C}{L} - \lambda} = NT$$
- Gemiddelde wachttijd bij opdelen N maal zo groot!

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 6



Dynamische kanaaltoewijzing

Model:

- **Het station**
 - N onafhankelijke stations;
 - Er worden gemiddeld λ frames per station per sec. gegenereerd
 - Er worden geen frames in een station gegenereerd zolang de vorige nog niet verzonden is.
- **Het kanaal**
 - één gezamenlijk kanaal
 - de stations zijn gelijkwaardig

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 7

Dynamische kanaaltoewijzing (vervolg)

- **Botsingen**
 - Alle stations kunnen botsingen detecteren;
 - Bij botsingen betrokken frames moeten opnieuw verzonden worden.
- **Tijd**
 - a. continu 
 - b. discrete intervallen 
- **Aftasten kanaal voor het zenden ("carrier sense")**
 - a. wel
 - b. niet

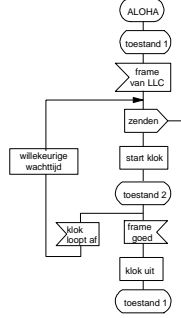
in3001 Datacommunicatie en Netwerken 8

4.2.1 ALOHA

- Ieder station zendt wanneer het wil;
- Alle stations kunnen alle andere "horen";
- Twee of meer stations tegelijk? => rommel;
- frames met fouten worden door de ontvangers weggegooid;
- De verzender kan detecteren of er een botsing op het kanaal plaatsvindt;
- Is er een botsing op het kanaal opgetreden dan worden na een willekeurig getrokken tijd de bij de botsing betrokken frames opnieuw verzonden.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 9

ALOHA-protocol



Zuiver ALOHA: direct.
Slotted ALOHA: wacht op begin volgend slot.

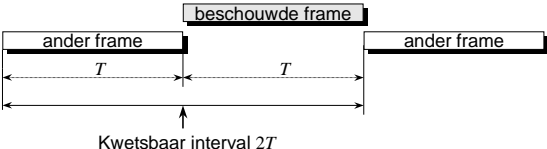
in3001 Datacommunicatie en Netwerken 10

Capaciteit van een ALOHA-kanaal

- (Oneindig) veel gebruikers;
- Vaste framelengte van T seconden;
- Gezamenlijk produceren de gebruikers gemiddeld S **nieuwe** frames per T sec., $0 < S < 1$;
- Gezamenlijk gemiddeld G frames per T sec. (oude + nieuwe frames)
- Er is evenwicht: $S = P_0 G$ (P_0 de kans op succes)
- Het aantal frames per tijdsinterval is Poisson-verdeeld

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 11

Zuiver Aloha



Indien een ander frame begint in het kwetsbare tijdsinterval dan wordt het beschouwde frame beschadigd.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 12

Poisson-verdeling

Kans op k frames in t sec.

$$P_t\{k\} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

λ = gemiddelde aantal frames/s
 t = beschouwde tijdsinterval

De Poisson-verdeling geeft de kans op een bepaald aantal frames in een bepaald tijdsinterval als de frames willekeurig in de tijd gegenereerd worden. (zeer algemene aanname die vaak gedaan wordt als gebeurtenissen willekeurig in de tijd plaatsvinden)

Zuiver ALOHA

Kwetsbare periode voor zuiver ALOHA $2T \Rightarrow t=2T$

$$P_{2T}\{k\} = \frac{(2\lambda T)^k e^{-2\lambda T}}{k!} = \frac{(2G)^k e^{-2G}}{k!}$$

$G = \lambda T$ (gemiddeld aantal frames per frameduur T)

Kans op succes (kans dat niemand anders zendt)

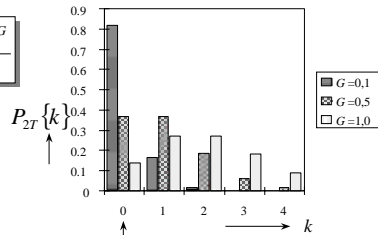
$$P_0 = P_{2T}\{0\} = \frac{(2G)^0 e^{-2G}}{0!} \Rightarrow P_0 = e^{-2G}$$

Evenwichtsvoorwaarde $S = P_0 G \Rightarrow$

Nuttig gebruik van het kanaal: $S = Ge^{-2G}$

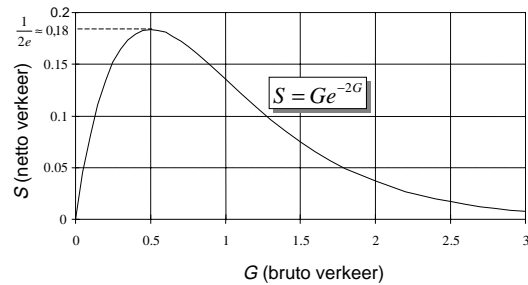
Kans op k frames in interval $2T$

$$P_{2T}\{k\} = \frac{(2G)^k e^{-2G}}{k!}$$



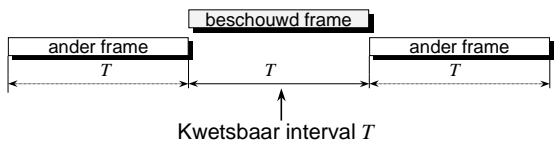
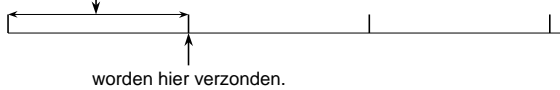
$$P_0 = P_{2T}\{0\} = e^{-2G}$$

Zuiver ALOHA



Slotted Aloha

frames die hier geproduceerd worden,



Slotted ALOHA

Kwetsbare periode voor slotted ALOHA $T \Rightarrow t=T$

$$P_T\{k\} = \frac{(\lambda T)^k e^{-\lambda T}}{k!} = \frac{(G)^k e^{-G}}{k!}$$

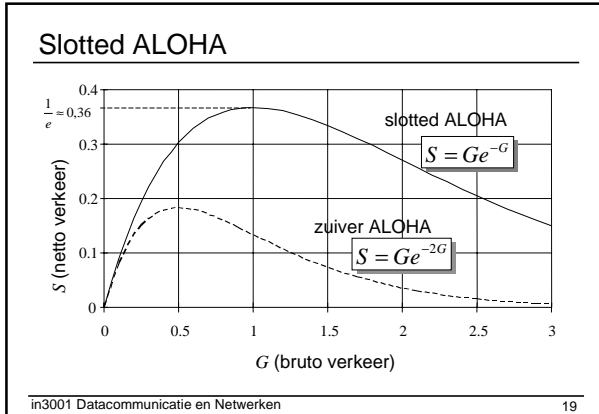
$G = \lambda T$ (gemiddeld aantal frames per frameduur T)

Kans op succes (kans dat niemand anders zendt)

$$P_0 = P_T\{0\} = \frac{(G)^0 e^{-G}}{0!} \Rightarrow P_0 = e^{-G}$$

Evenwichtsvoorwaarde $S = P_0 G \Rightarrow$

Nuttig gebruik van het kanaal: $S = Ge^{-G}$



4.2.2. CSMA

Carrier Sense Multiple Access

- Bij ALOHA zenden wanneer je maar wilt
- Indien de looptijden klein zijn heeft luisteren voor het zenden zin =>

Dit voorkomt botsingen =>

Geeft hogere benuttingsgraad van het kanaal.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 20

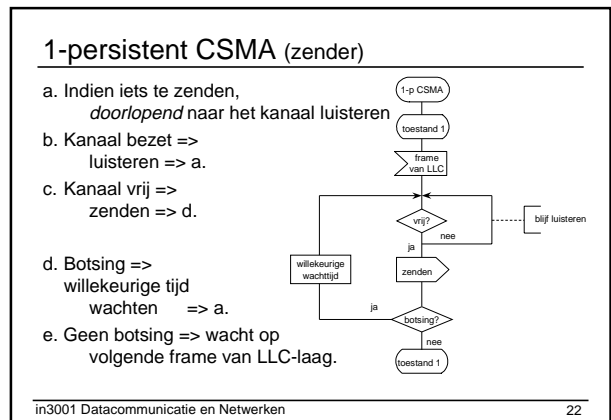
CSMA

- ALOHA: luisteren **na** zenden
- CSMA: luisteren **voor** en na zenden
- Looptijd kort t.o.v. framelengte
- elk station kan alle andere horen
- pas zenden indien niemand anders zendt

Ons model:

- vaste framelengte T
- gemiddeld S nieuwe frames per frametijd T
- gemiddeld G oude + nieuwe frames per T sec.
- aanbod frames Poisson-verdeeld

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 21



CSMA met botsingsdetectie (CSMA/CD)

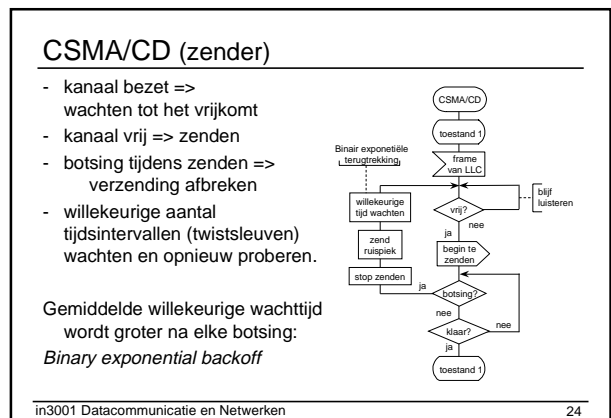
Ethernet (Xerox 1976)

1-persistent CSMA met

- detectie van botsingen tijdens zenden (CD - Collision Detect)
- afbreken van het zenden bij botsing
- Na een geloot aantal tijdsintervallen (twistsleuven) opnieuw proberen

Is zinvol indien looptijden *veel* korter zijn dan framelengte.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 23



CSMA/CD

Activiteit op het kanaal:

\boxtimes twistisleuf (contention slot);
 na een botsing moet een station een aantal van deze tijdsintervallen wachten alvorens weer te mogen proberen te zenden

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 25

Maximale duur van een botsing

Maximale botsingsduur 2τ

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 26

4.2.6 Draadloze LAN met CSMA

Probleem van het verborgen station

(hidden station problem)

- A zendt naar B
- C kan A niet horen en gaat zenden =>
- C stoort ontvangst bij B

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 27

Draadloze LAN

Probleem van het belemmerde station

(exposed station problem)

- B zendt naar A
- C kan B horen en mag daarom niet zenden naar D
- C zou dan echter ontvangst bij A niet storen

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 28

MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Lost het probleem van het verborgen station op.

- RTS (Request To Send, met erin lengte data) van A->B
- C houdt zich stil to na ontvangst CTS door A
- CTS (Clear To Send, met erin lengte data) van B->A
- D houdt zich stil tot na ontvangst van de data door B

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 29

4.3 Ethernet

Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base6	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 30

Functioneel principe van hub

2 twisted pairs (4 draden) per aangesloten computer

hub

coax

C aangesloten computer

In werkelijk zit er nogal wat electronica in de hub (versterkers). Insteekkaart moet geschikt zijn voor die 2 maal *twisted pair* (TP).

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 31

4.3.2 Manchester Encoding

Bit stream: 1 0 0 0 1 1 1 1 1

Binary encoding

Manchester encoding

Differential Manchester encoding

Transition here indicates a 0

Lack of transition here indicates a 1

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 32

CSMA/CD

Activiteit op het kanaal:

zendtijd

twistinterval

loze tijd

frame X X frame X X X frame X frame

↑

Duur twistinterval maximaal 2 x looptijd τ

tijd

X Bij IEEE 802.3 gekozen voor vaste lengte van twistinterval van 512 bits (51,2 μ s). Vaste twistinterval is nodig voor mechanisme van binair exponentiële terugtrekking.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 33

Keuze twistinterval in IEEE 802.3

- Uitgangspunt: 2,5km kabel en 4 repeaters

voortplantingstijd	2,5*5 μ sec =	12,5 μ sec
4 repeaters met 1 bit vertraging		0,4 μ sec
Totale vertraging τ		12,9 μ sec

- Maximum twistinterval $2\tau = 25,8 \mu$ sec
- Gekozen is voor een veilige 64 bytes = 512 bits = 51,2 μ sec

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 34

4.3.4 Binair exponentiële terugtrekking

Doel: Verbetering van prestatie bij hoge belasting.

- Een twistintervalgrootte van 512 bits is gekozen
- Na de eerste botsing willekeurig kiezen uit eerste twee twistintervallen
- Na de tweede botsing willekeurig kiezen uit de eerste vier intervallen
- Na k botsingen willekeurig kiezen uit de eerste 2^k intervallen
- Maximum is $k = 10$, dus 1024 intervallen
- Na 16 botsingen foutmelding; hogere lagen voeren herstelpogingen uit.

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 35

4.3.5 Prestatie IEEE 802.3 (Ethernet)(1)

Gebruiksgraad van kanaal (*Channel efficiency R*)

$$R = \frac{\text{tijdsduur van frame}}{\text{Gemiddelde totale tijd nodig voor één frame}}$$

of

$$R = \frac{P}{P + T_v}$$

P = tijdsduur van frame
 T_v = gemiddelde tijdsduur tussen twee opeenvolgende frames

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 36

Prestatie IEEE 802.3 (Ethernet) (2)

- k stations willen zenden
- zendkans voor elk station in een twistslot is p
- Kans op succes van één willekeurig station is de kans dat precies dat station zendt en de andere $k-1$ stations niet:

$$p(1-p)^{k-1}$$

- Kans op succes van enig station is: $A = kp(1-p)^{k-1}$

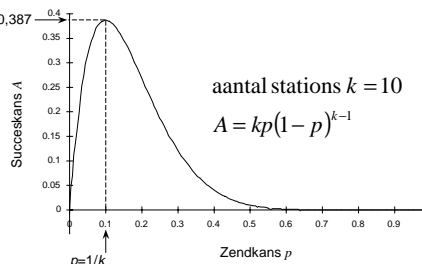
- Maximale kans op succes:

$$\frac{dA}{dp} = 0 \Rightarrow p = \frac{1}{k} \Rightarrow A_{\max} = \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{k-1}$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{k}\right)^k = e^x$$

$$\text{Voor } \lim_{k \rightarrow \infty} A_{\max} = \frac{1}{e} \approx 0,37$$

Succeskans A



Hoe vaak botsen

- Kans op precies j botsingen: $(1-A)^j A$ (j botsingen gevolgd door 1 maal succes)
- Gemiddeld aantal botsingen per twistinterval is:

$$w_{\text{gem}} = \sum_{j=0}^{\infty} jA(1-A)^j = \frac{1-A}{A}$$

- Voor de maximale kans op succes $A_{\max} = 1/e$ geldt:

$$w_{\text{gem}} = \frac{1 - \frac{1}{e}}{\frac{1}{e}} = e - 1 \approx 1,7$$

- Gemiddelde lengte twistinterval bij optimale zendkans is:

$$2\tau \cdot w_{\text{gem}} = 3,4\tau$$

Aantal botsingen per twistinterval

$$w_{\text{gem}} = \sum_{j=0}^{\infty} jA(1-A)^j = A(1-A) \sum_{j=0}^{\infty} j(1-A)^{j-1}$$

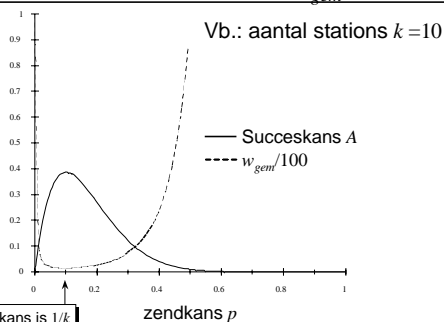
$$= A(1-A) \frac{d}{d(1-A)} \sum_{j=0}^{\infty} (1-A)^j$$

Met $(1-A) = x$ en $1 + x + x^2 + x^3 + \dots = \frac{1}{1-x}$ volgt

$$w_{\text{gem}} = A(1-A) \frac{d}{d(1-A)} \left(\frac{1}{1-A}\right) = A(1-A) \frac{1}{A^2}$$

$$w_{\text{gem}} = \frac{1-A}{A}$$

Gemiddeld aantal twistsloten w_{gem}



Optimale gebruiksgraad ($w_{\text{gem}} = e-1$)

$$R = \frac{P}{P + T_v} = \frac{P}{P + 2\tau w_{\text{gem}}} = \frac{P}{P + 2\tau(e-1)}$$

$$F = \text{framelengte in bits} \quad \left. \vphantom{F} \right\} \Rightarrow P = \frac{F}{B}$$

$$L = \text{lengte bus} \quad \left. \vphantom{L} \right\} \Rightarrow \tau = \frac{L}{v} \quad (\text{niet de standaard twistslot})$$

$$R = \frac{F/B}{F/B + 2\frac{L}{v}(e-1)} = \frac{1}{1 + \frac{2(e-1)BL}{vF}}$$

Konstant

Verhogen capaciteit van 802.3

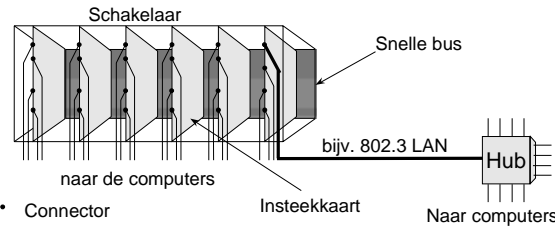
$$R = \frac{1}{1 + K \frac{BL}{F}} \quad K = \text{konstante}$$

Efficiëntie omlaag met hogere bitsnelheid B
 omlaag met grotere lengte van de bus L
 omhoog met grotere frame-lengte F

Zonder meer verhogen bitsnelheid van 802.3 levert niet veel op.

Wat wel helpt is de max. toegestane lengte van de bus beperken.

4.3.6 Geschakeld Ethernet



- Connector

Twee mogelijkheden:

- Een botsingsdomein per insteekkaart
- Inkomende frames worden gebufferd en doorgezonden

4.3.7 Fast Ethernet

- beschreven door: IEEE 802.3u
- alles als bij 802.3 maar bittijd factor 10 kleiner
- gebruikt hubs en switches
- bekabeling:
 - 100Base-T4 max 100 m (4 twisted pairs)
 - 100Base-TX max 100 m (cat 5 UTP)
 - 100Base-FX max 2000 m (Glasvezel)

4.3.8 Gigabit Ethernet

- beschreven door IEEE802.3z
- gebruikt hubs en switches
- twee mogelijkheden:
 - full duplex mode, geen CSMA/CD nodig
 - half duplex, wel CSMA/CD
- max afstand 25 meter, onacceptabel, twee alternatieve oplossingen:
 - carrier extension (frame aanvullen tot 512 bytes)
 - frame bursting (meer frames tegelijk zenden)
- bekabeling:
 - 1000Base-SX, 1000Base-LX (glasvezel)
 - 1000Base-CX, 1000Base-T (STP, resp. UTP cat 5)

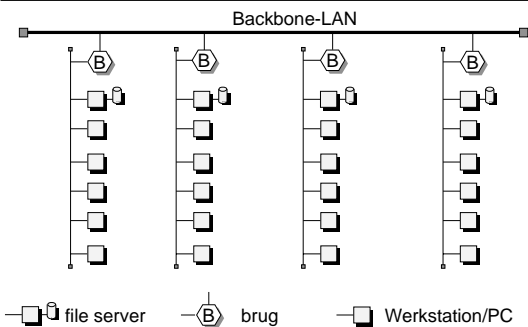
4.7 Datalink layer switching

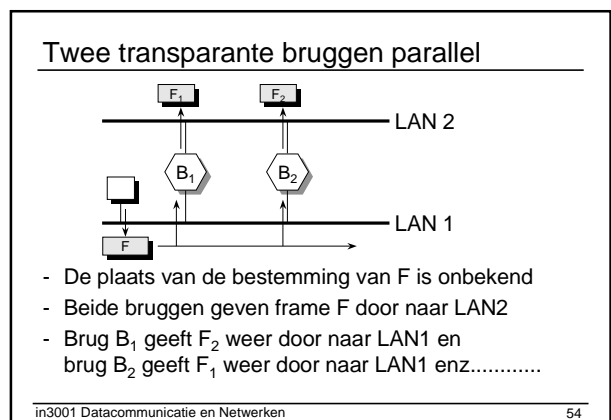
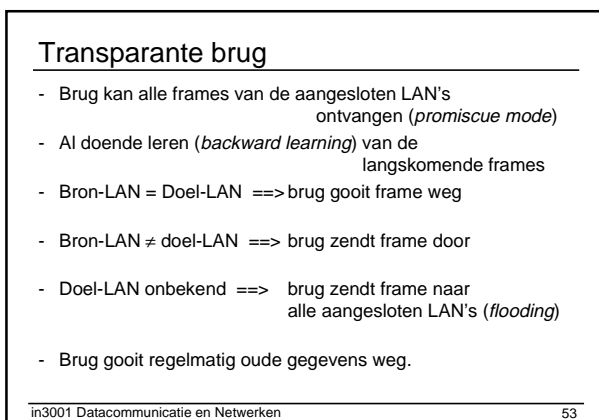
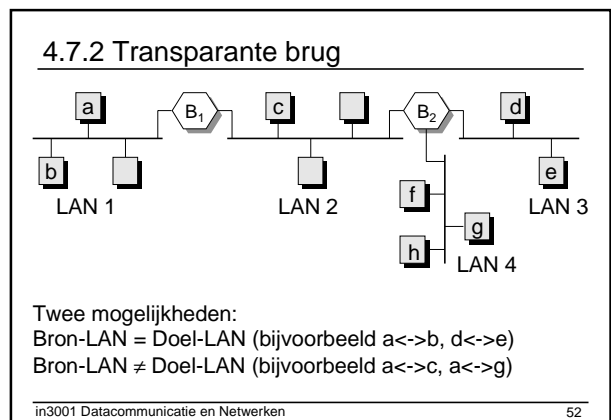
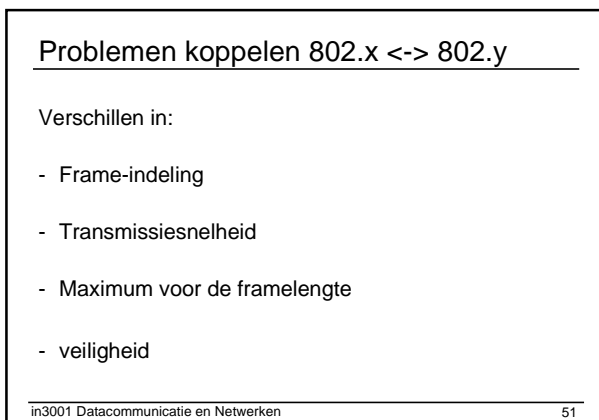
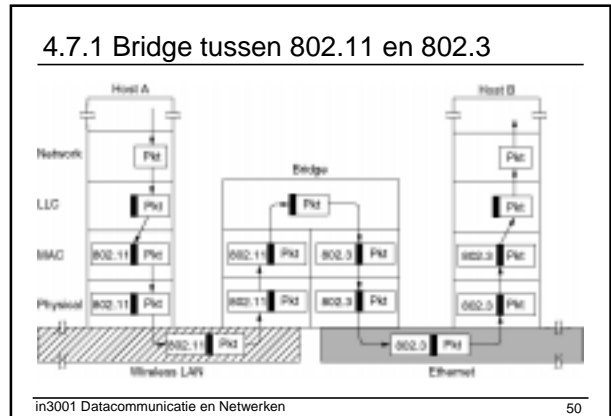
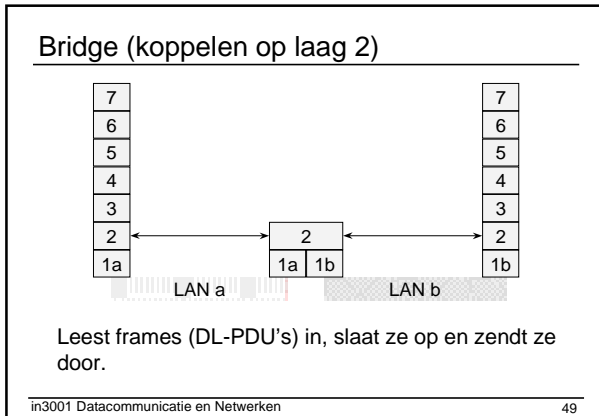
Vaak wordt in een bedrijf gekozen voor gekoppelde LAN's in plaats van één LAN.

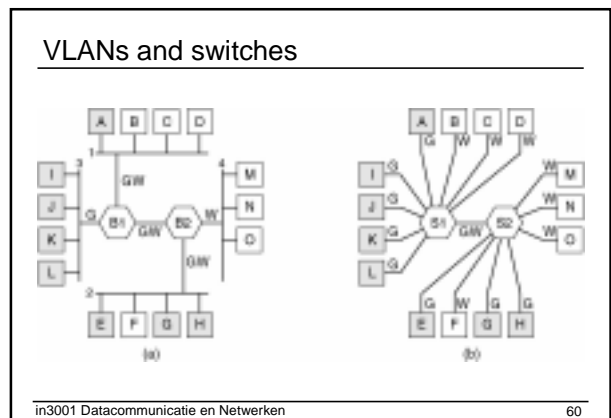
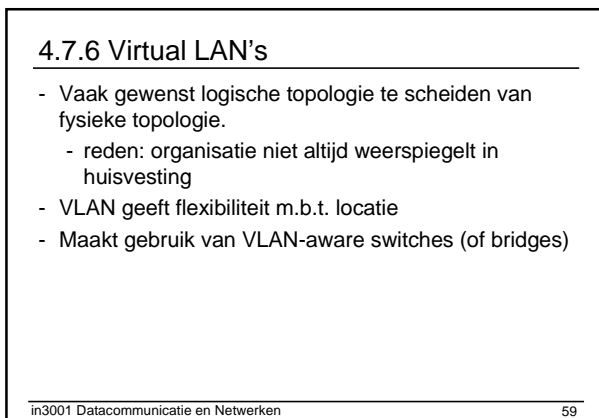
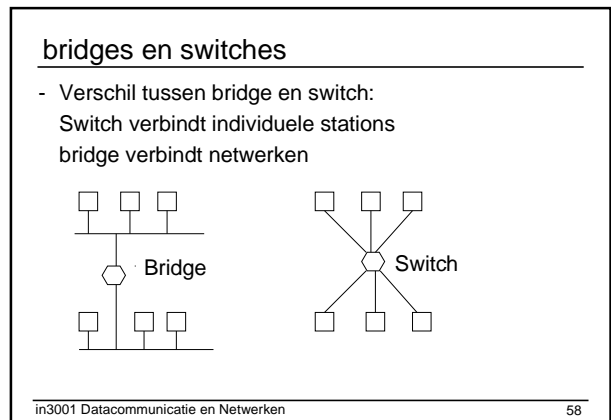
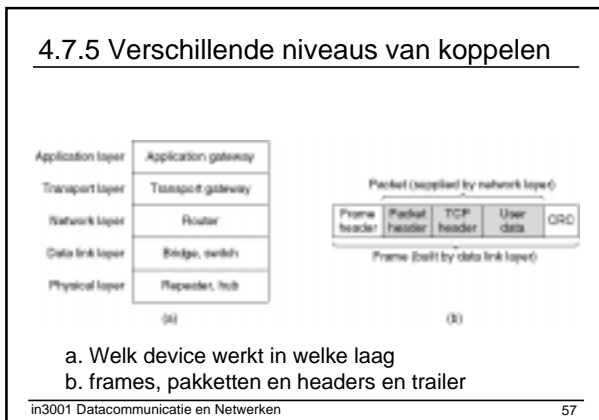
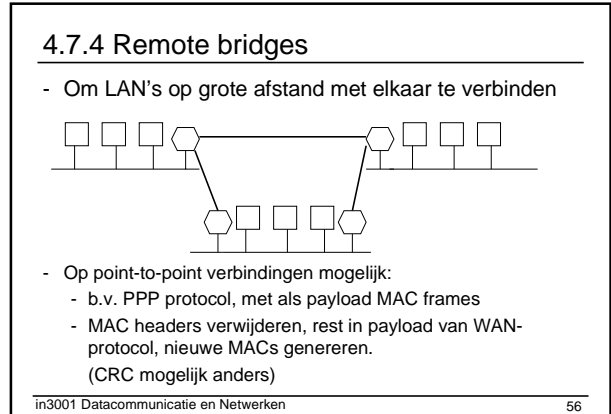
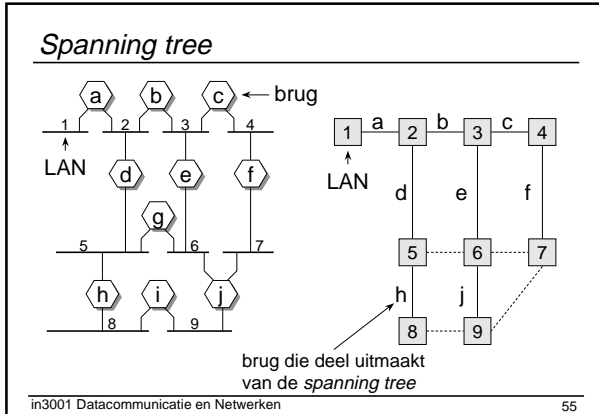
Motieven:

- De verschillende LAN's zijn van een ander type
 - Van uit het verleden zo gegroeid
 - Andere toepassing (fabriek, kantoor)
- Afstand
- Beperking belasting
- Betrouwbaarheid
- Veiligheid

LAN's gekoppeld door bridges





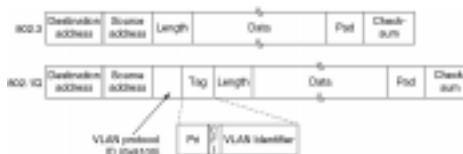


VLAN aware switches

- geven inkomende frames alleen door naar poorten van dezelfde VLAN als die van het inkomende frame.
- drie mogelijke methoden:
 - iedere poort heeft een VLAN "color" (werkt alleen als iedere machine op een bij hetzelfde VLAN horen)
 - ieder MAC adres heeft een VLAN "color"
 - iedere laag IP adres heeft een VLAN color. (laag 2 kijkt hierbij naar de laag 3 header !!)

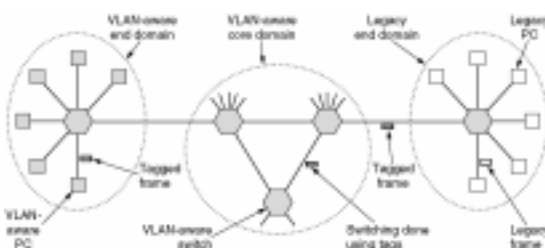
IEEE 802.1Q (1)

- biedt support voor VLANs
- is een aanpassing van de Ethernetheader van 802.3



- nieuwe Ethernetkaarten genereren 802.1Q header
- te combineren met oude kaarten in één netwerk

IEEE 802.1 (2)



802.1Q (3)

- Eerste VLAN enabled switch past legacy frame aan
 - voegt nieuwe velden o.a. VLAN identifier toe
- Laatste VLAN enabled switch verwijdert de extra velden.
- N.B. tabellen met VLAN id's worden automatisch gevuld, aan de hand van de VLAN id's van de inkomende frames.