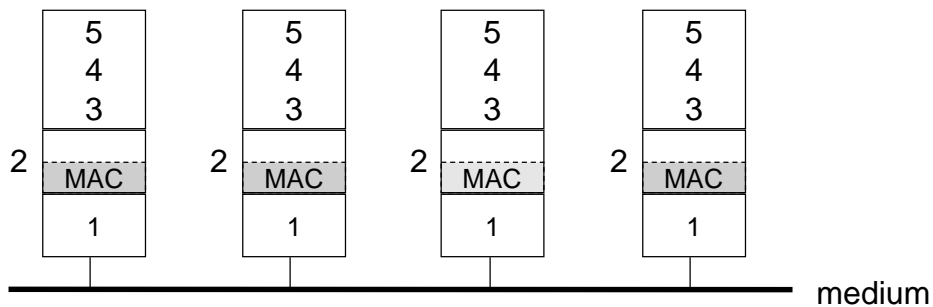
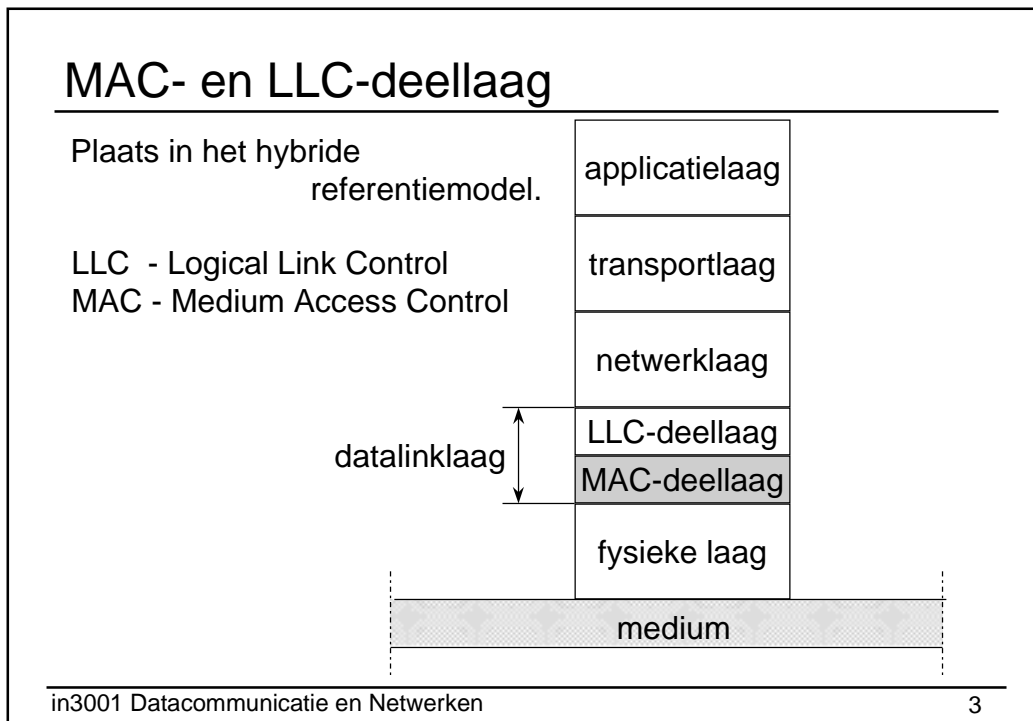

4. De deellaag Medium Access Control

Medium Access Control (MAC)

Plaats: onderin de datalinklaag



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



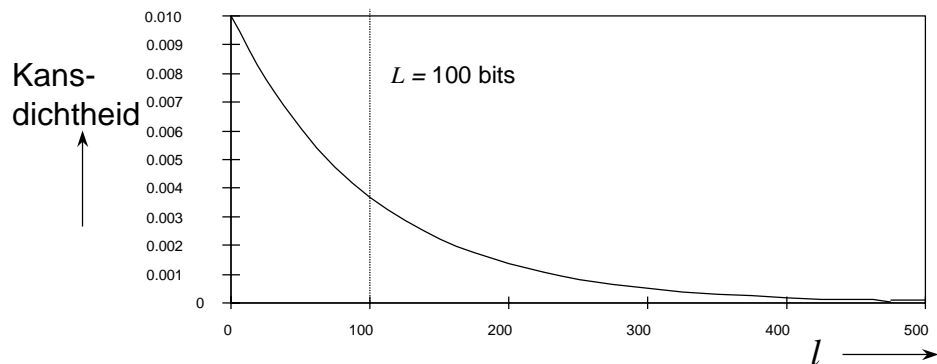
4.1 Probleem van toewijzing kanalen

- 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 aankomsttijden van de frames negatief-exponentieel verdeeld.

Vb.: Negatief-exponentiële verdeling

Framelengte l met gemiddelde L

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



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

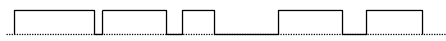
Dynamische kanaaltoewijzing (vervolg)

- Botsingen

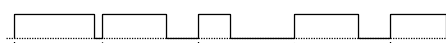
- Alle stations kunnen botsingen detecteren;
- Bij botsingen betrokken frames moeten opnieuw verzonden worden.

- Tijd

a. continu



b. discrete intervallen



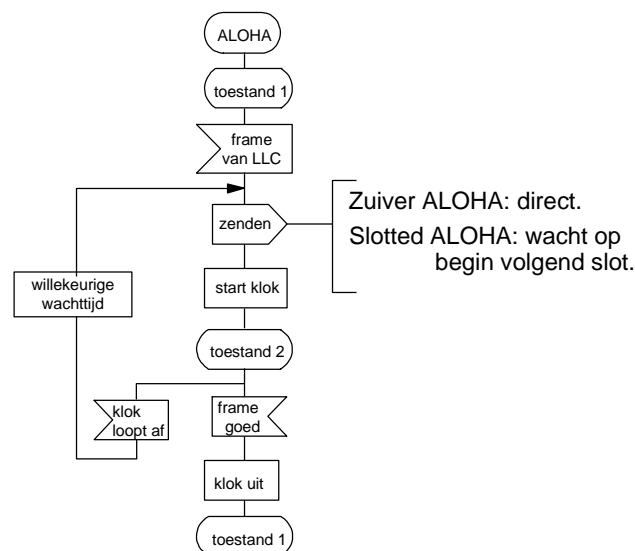
- Aftasten kanaal voor het zenden (“carrier sense”)

- a. wel
- b. niet

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.

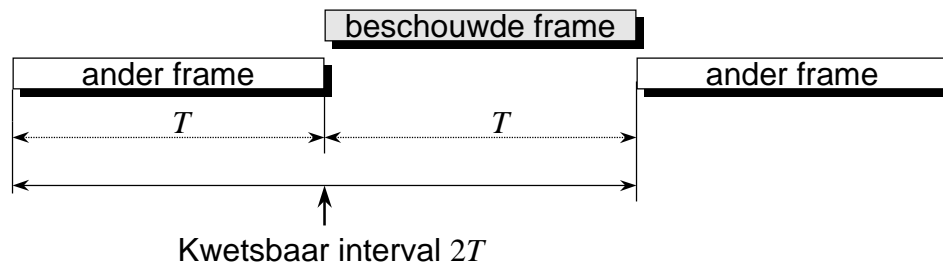
ALOHA-protocol



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

Zuiver Aloha



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

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)

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

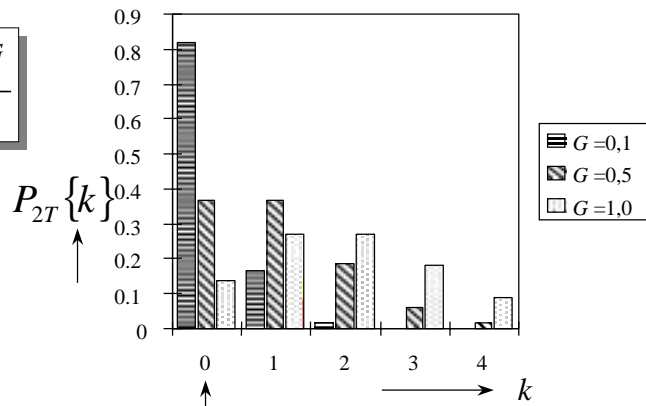
Evenwichtsvoorwaarde $S = P_0 G \Rightarrow$

Nuttig gebruik van het kanaal:

$$S = G e^{-2G}$$

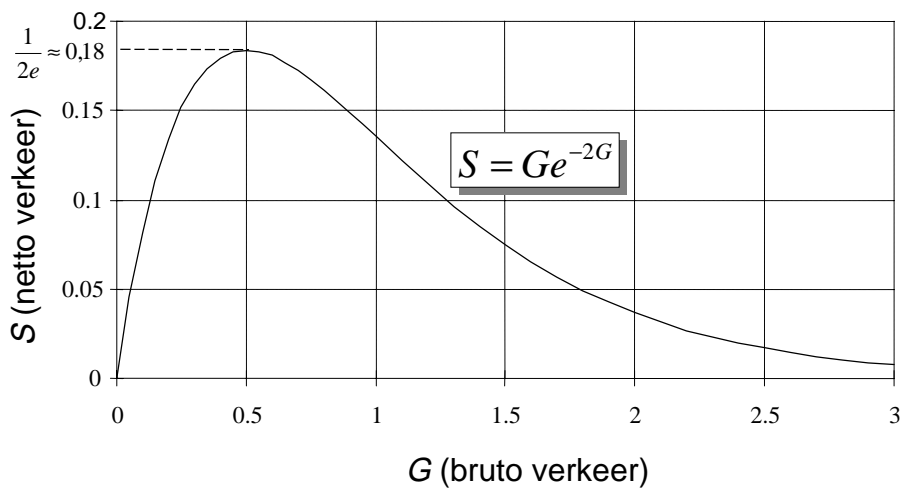
Kans op k frames in interval $2T$

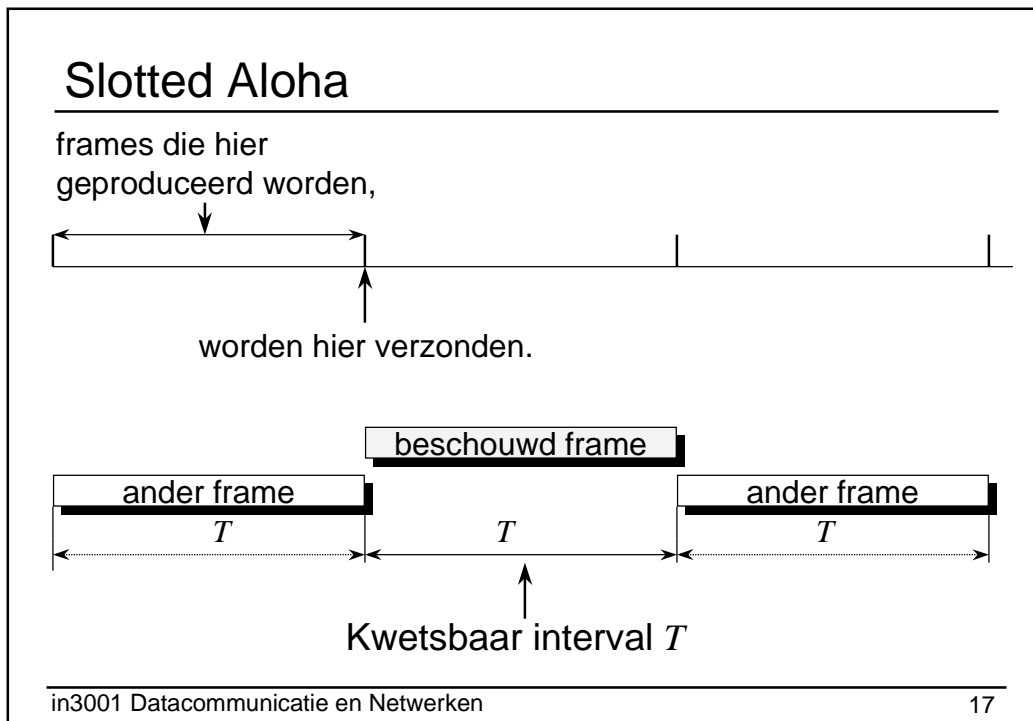
$$P_{2T}\{k\} = \frac{(2G)^k e^{-2G}}{k!}$$



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

Zuiver ALOHA





Slotted ALOHA

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)

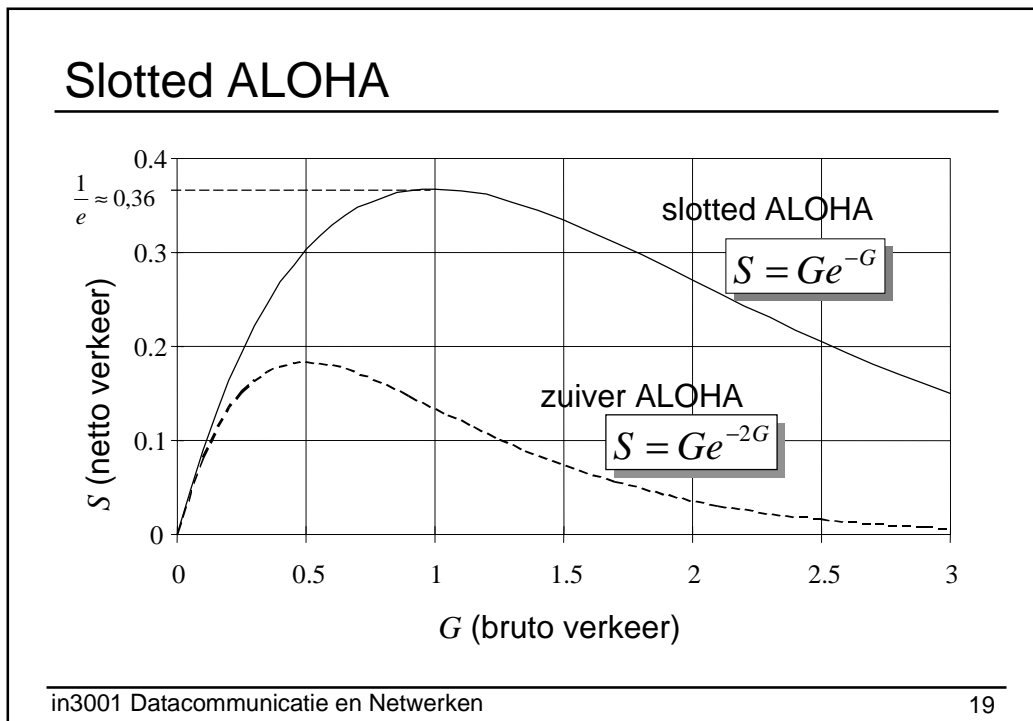
Kans op succes (kans dat niemand anders zendt)

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

Evenwichtsvoorwaarde $S = P_0 G \Rightarrow$

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

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 18



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.

CSMA

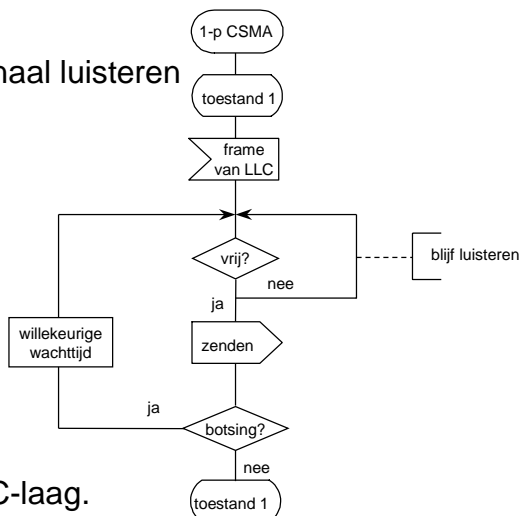
- ALOHA: luisteren **na** zenden
- CSMA: luisteren **voor** en na zenden
- Looptijd kort t.o.v. framelengte
- elk station kan alle andere horen
- pas zenden indien niemand anders zendt

Ons model:

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

1-persistent CSMA (zender)

- Indien iets te zenden, *doorlopend* naar het kanaal luisteren
- Kanaal bezet => luisteren => a.
- Kanaal vrij => zenden => d.
- Botsing => willekeurige tijd wachten => a.
- Geen botsing => wacht op volgende frame van LLC-laag.



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

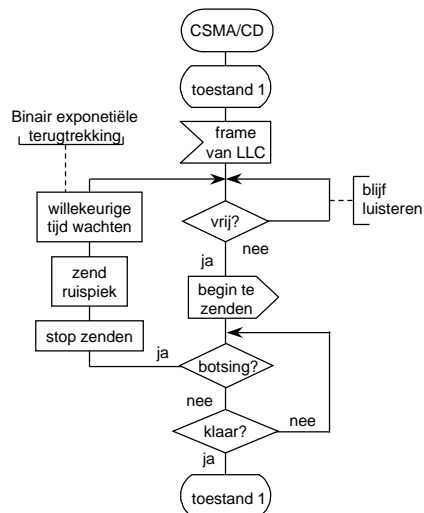
Is zinvol indien looptijden *veel* korter zijn dan
framelengte.

CSMA/CD (zender)

- kanaal bezet => wachten tot het vrijkomt
- kanaal vrij => zenden
- botsing tijdens zenden => verzending afbreken
- willekeurige aantal tijdsintervallen (twistsleuven) wachten en opnieuw proberen.

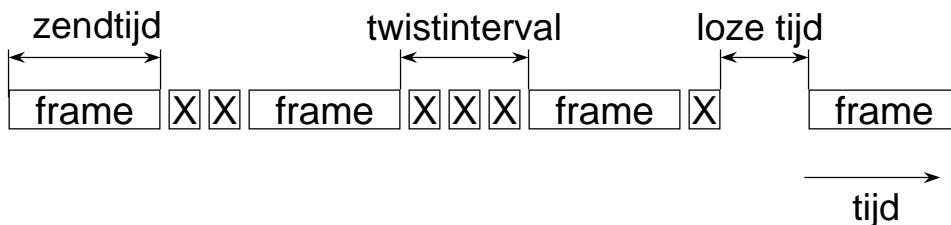
Gemiddelde willekeurige wachttijd
wordt groter na elke botsing:

Binary exponential backoff



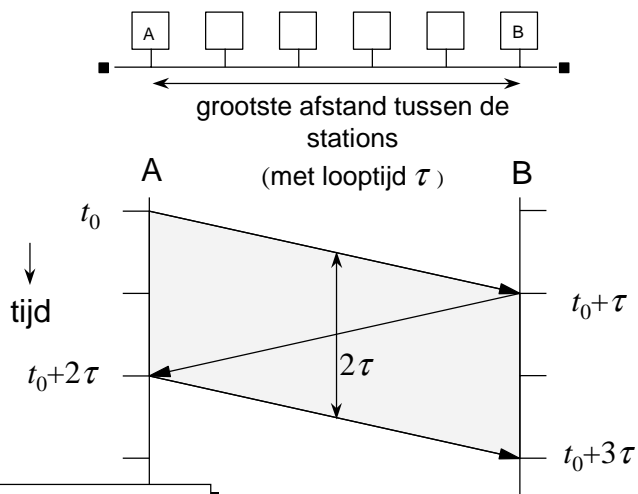
CSMA/CD

Activiteit op het kanaal:



- X twist sleuf (contention slot);
 na een botsing moet een station een aantal van deze tijdsintervallen wachten alvorens weer te mogen proberen te zenden

Maximale duur van een botsing

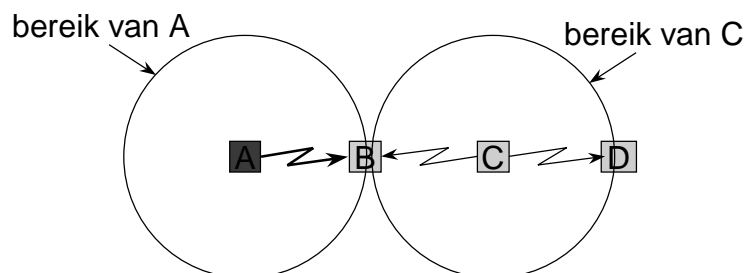


Maximale botsingsduur 2τ

4.2.6 Draadloze LAN met CSMA

Probleem van het verborgen station

(hidden station problem)

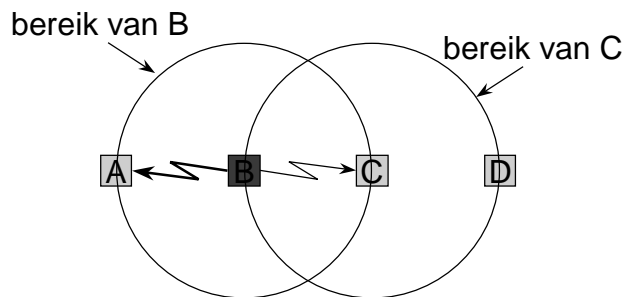


- A zendt naar B
- C kan A niet horen en gaat zenden =>
- C stoort ontvangst bij B

Draadloze LAN

Probleem van het belemmerde station

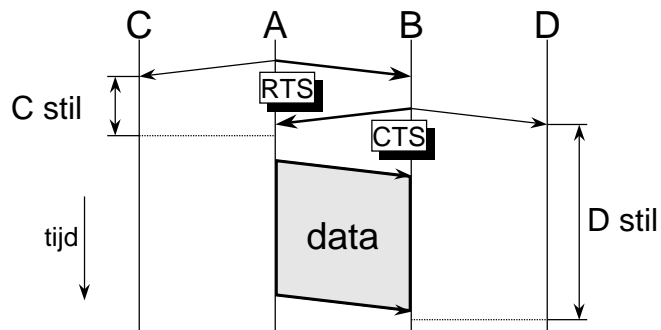
(exposed station problem)



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

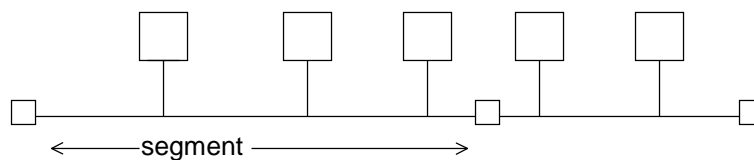
MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

Lost het probleem van het verborgen station op.



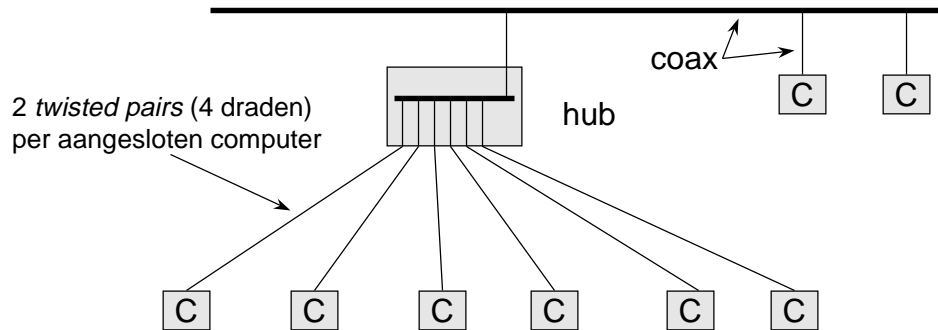
- RTS (Request To Send, met erin lengte data) van A->B
- C houdt zich stil to na ontvangst CTS door A
- CTS (Clear To Send, met erin lengte data) van B->A
- D houdt zich stil tot na ontvangst van de data door B

4.3 Ethernet



Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	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

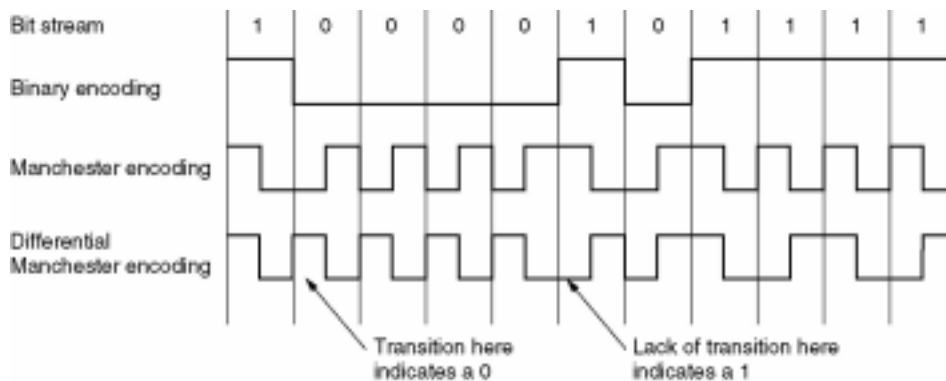
Functioneel principe van hub



C aangesloten computer

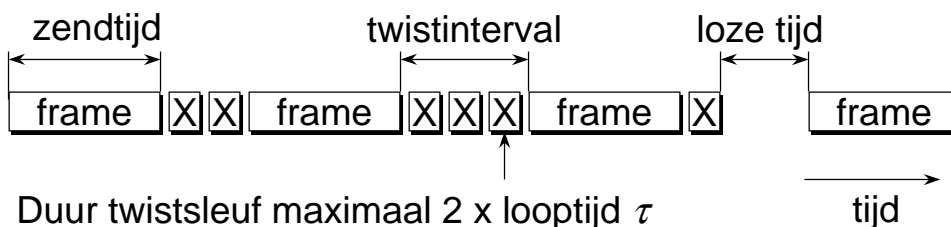
In werkelijk zit er nogal wat electronica in de hub (versterkers).
Instekkaart moet geschikt zijn voor die 2 maal *twisted pair* (TP).

4.3.2 Manchester Encoding



CSMA/CD

Activiteit op het kanaal:



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

Keuze twistsleuf in IEEE 802.3

- Uitgangspunt: 2,5km kabel en 4 repeaters

voortplantingstijd	$2,5 \cdot 5 \mu\text{sec} =$	12,5 μsec
4 repeaters met 1 bit vertraging		<u>0,4 μsec</u>
Totale vertraging τ		12,9 μsec

- Maximum twistsleuf $2\tau = 25,8 \mu\text{sec}$
- Gekozen is voor een veilige
64 bytes = 512 bits = 51,2 μsec

4.3.4 Binair exponentiële terugtrekking

Doel: Verbetering van prestatie bij hoge belasting.

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

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

Prestatie IEEE 802.3 (Ethernet) (2)

- k stations willen zenden
- zendkans voor elk station in een twistsleuf 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: $A = kp(1-p)^{k-1}$

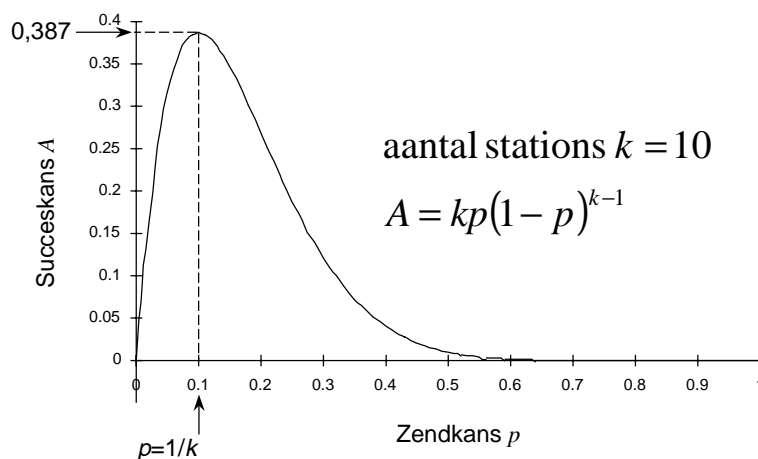
- Maximale kans op succes:

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

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

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

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:

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

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

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

- Gemiddelde lengte twistinterval bij optimale zendkans is: $2\tau \cdot w_{gem} = 3,4\tau$

Aantal botsingen per twistinterval

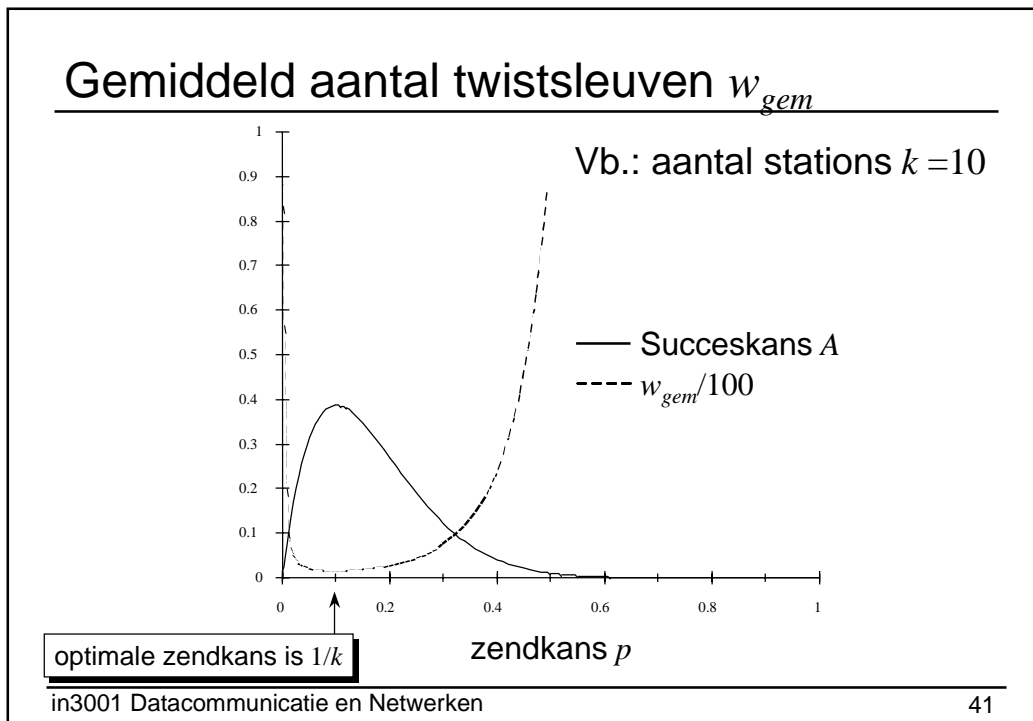
$$w_{gem} = \sum_{j=0}^{\infty} jA(1-A)^j = A(1-A) \sum_{j=0}^{\infty} j(1-A)^{j-1}$$

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

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

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

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



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

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

$F = \text{framelengte in bits}$ } $\Rightarrow P = \frac{F}{B}$
 $B = \text{bitsnelheid}$

$L = \text{lengte bus}$ } $\Rightarrow \tau = \frac{L}{v}$ (niet de standaard twist sleuf)
 $v = \text{voortplantingssnelheid}$

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

Konstant \uparrow

in3001 Datacommunicatie en Netwerken 42

Verhogen capaciteit van 802.3

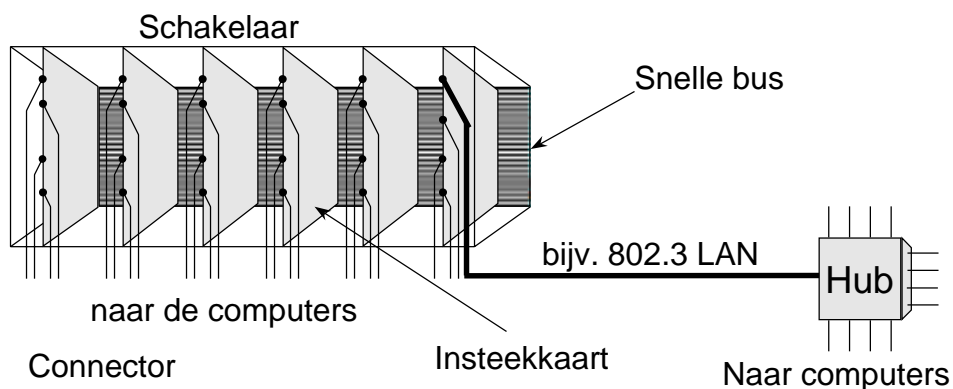
$$R = \frac{1}{1 + K \frac{BL}{F}} \quad K = \text{konstante}$$

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



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)

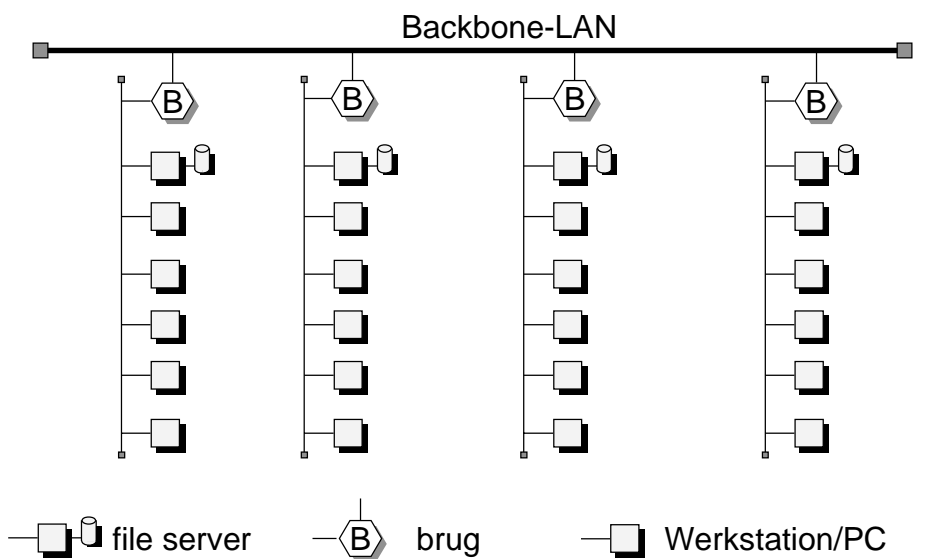
4.7 Datalink layer switching

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

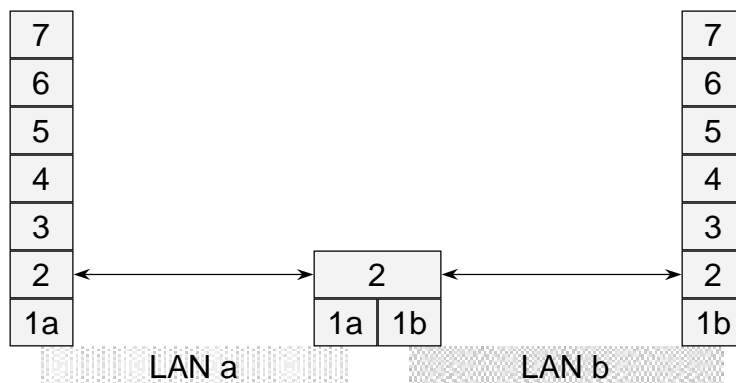
Motieven:

- 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

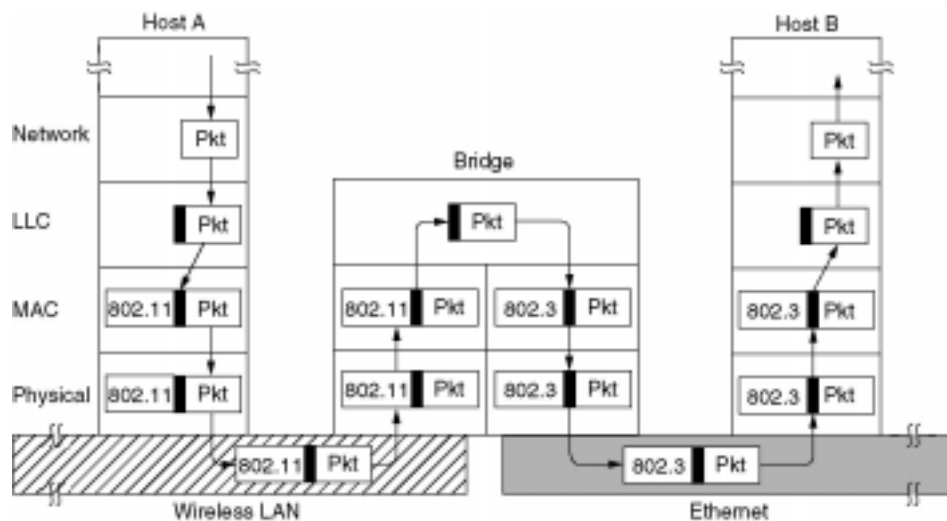


Bridge (koppelen op laag 2)



Leest frames (DL-PDU's) in, slaat ze op en zendt ze door.

4.7.1 Bridge tussen 802.11 en 802.3

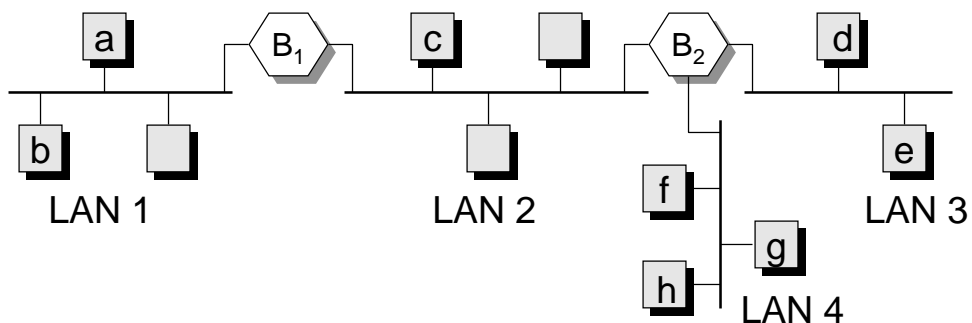


Problemen koppelen 802.x <-> 802.y

Verschillen in:

- Frame-indeling
- Transmissiesnelheid
- Maximum voor de framelengte
- veiligheid

4.7.2 Transparante brug



Twee mogelijkheden:

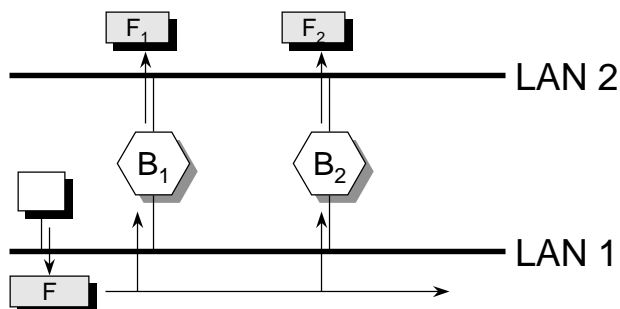
Bron-LAN = Doel-LAN (bijvoorbeeld a<->b, d<->e)

Bron-LAN ≠ Doel-LAN (bijvoorbeeld a<->c, a<->g)

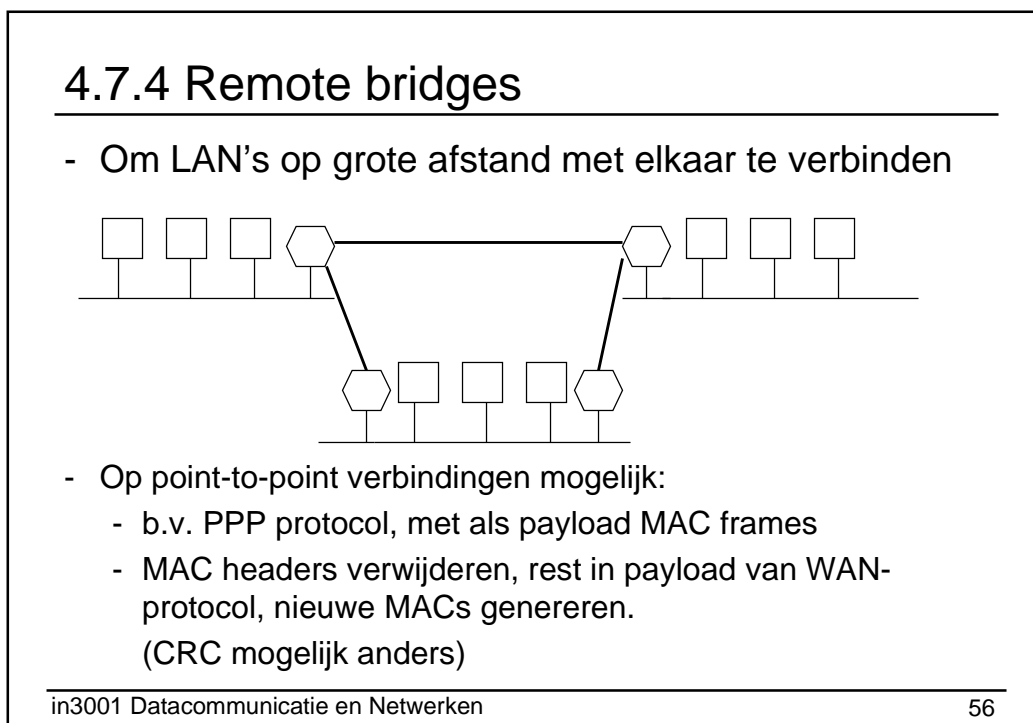
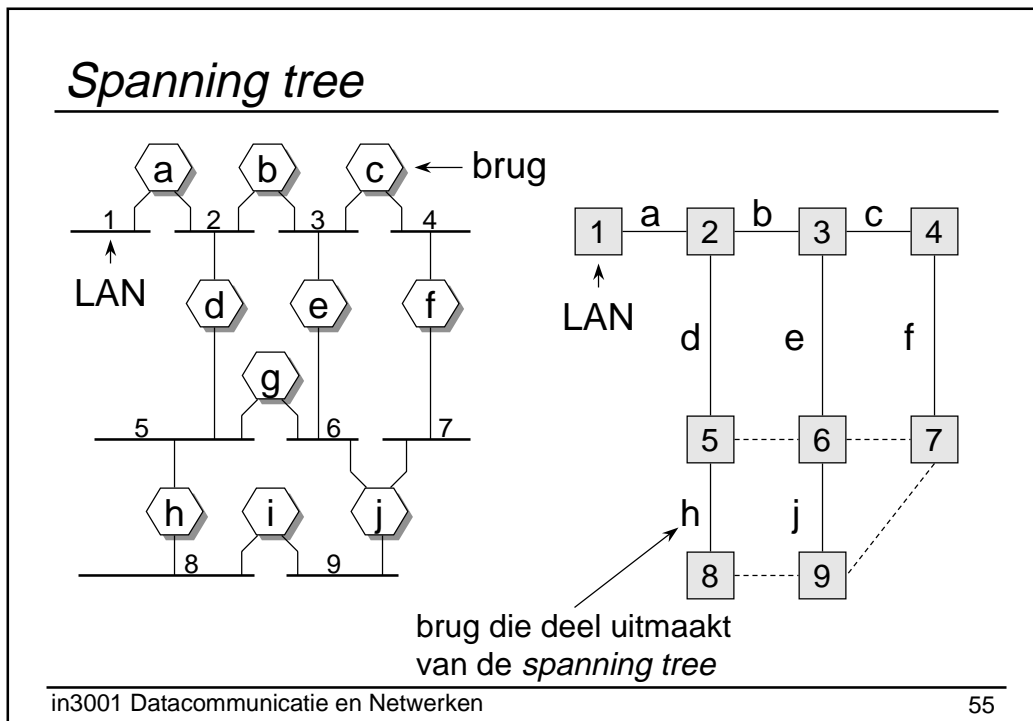
Transparante brug

- Brug kan alle frames van de aangesloten LAN's ontvangen (*promiscue mode*)
- Al doende leren (*backward learning*) van de langskomende frames
- Bron-LAN = Doel-LAN ==> brug gooit frame weg
- Bron-LAN \neq doel-LAN ==> brug zendt frame door
- Doel-LAN onbekend ==> brug zendt frame naar alle aangesloten LAN's (*flooding*)
- Brug gooit regelmatig oude gegevens weg.

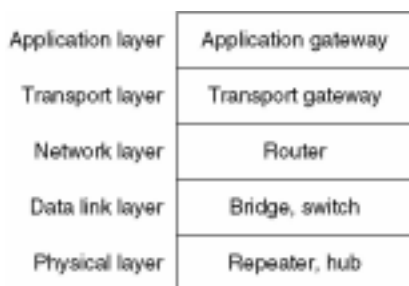
Twee transparante bruggen parallel



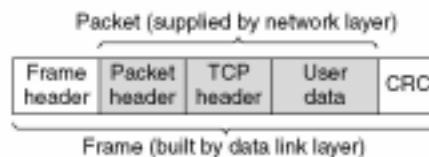
- De plaats van de bestemming van F is onbekend
- Beide bruggen geven frame F door naar LAN2
- Brug B₁ geeft F₂ weer door naar LAN1 en brug B₂ geeft F₁ weer door naar LAN1 enz.....



4.7.5 Verschillende niveaus van koppelen



(a)

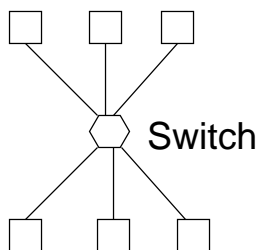
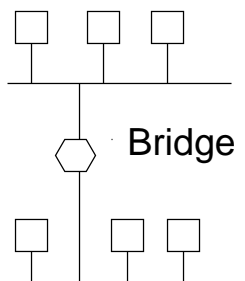


(b)

- Welk device werkt in welke laag
- frames, pakketten en headers en trailer

bridges en switches

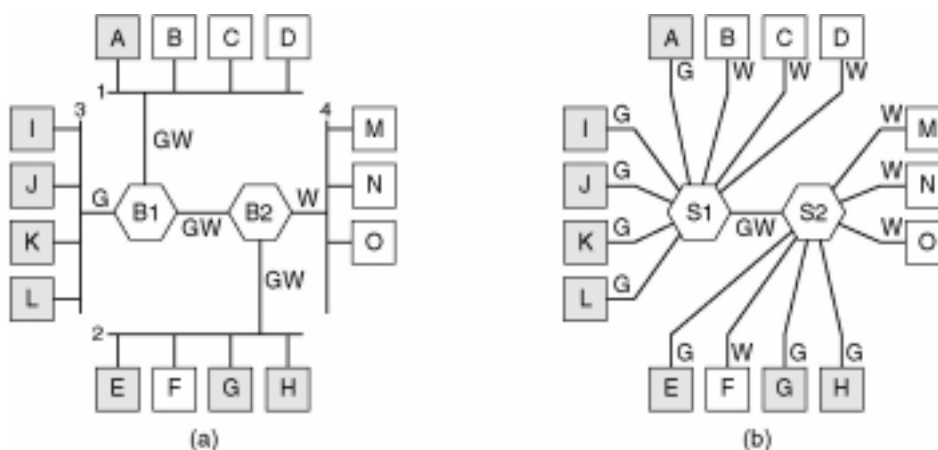
- Verschil tussen bridge en switch:
Switch verbindt individuele stations
bridge verbindt netwerken



4.7.6 Virtual LAN's

- Vaak gewenst logische topologie te scheiden van fysieke topologie.
 - reden: organisatie niet altijd weerspiegelt in huisvesting
- VLAN geeft flexibiliteit m.b.t. locatie
- Maakt gebruik van VLAN-aware switches (of bridges)

VLANs and switches

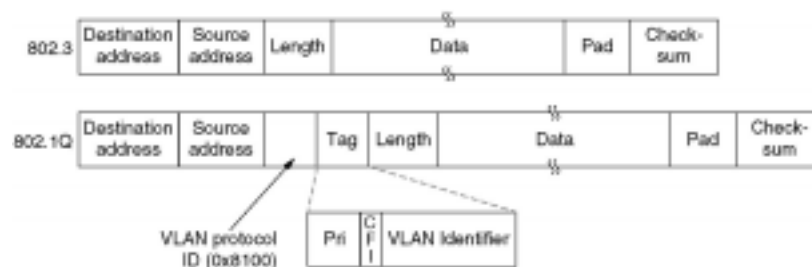


VLAN aware switches

- 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 !!)

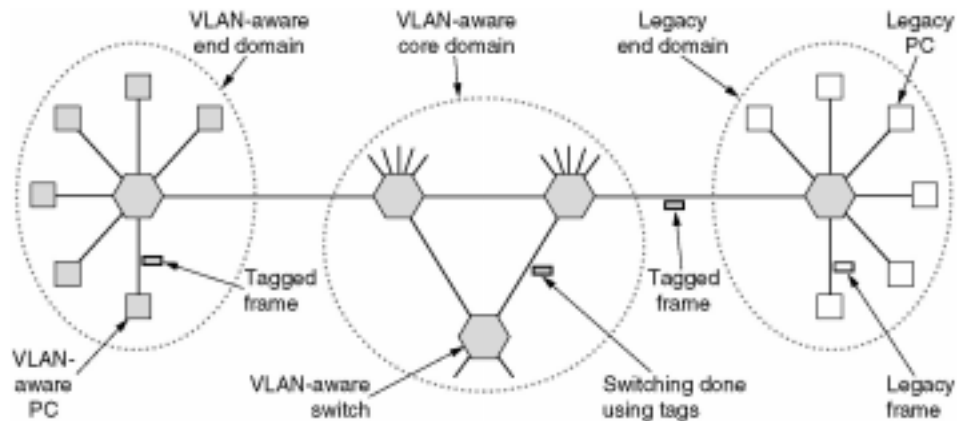
IEEE 802.1Q (1)

- 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.