

2. De fysieke laag

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 1

2.1.1 Fourier-analyse (1)

Elk (redelijk net) periodiek signaal $g(t)$ kan beschreven worden als de som van een aantal sinus- en cosinus-functies:

$$g(t) = \frac{c}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

Waarin:

- T de periode van het signaal [s]
- $f = 1/T$ de grondfrequentie (1-e harmonische) [Hz]
- a_n en b_n de amplitudes van sin.- en cos.-component

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 2

Fourier-analyse (2)

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt$$

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 3

Fourier-analyse van bitsignaal (1)

Bitsignaal afwisselend 1 en 0, een periode T is een 1-0 combinatie. Afgezien van de gelijkspanningscomponent 0,5 ($c = 1$) is

$$g(t) = a_1 \sin(2\pi ft) + a_3 \sin(3 \cdot 2\pi ft) + a_5 \sin(5 \cdot 2\pi ft) + \dots = \frac{2}{\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) + \frac{2}{3\pi} \sin\left(3 \frac{2\pi}{T} t\right) + \frac{2}{5\pi} \sin\left(5 \frac{2\pi}{T} t\right) + \dots$$

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 4

Fourier-analyse van bitsignaal (2)

(gelijkspanningscomponent is hier 0,5 ($c = 1$))

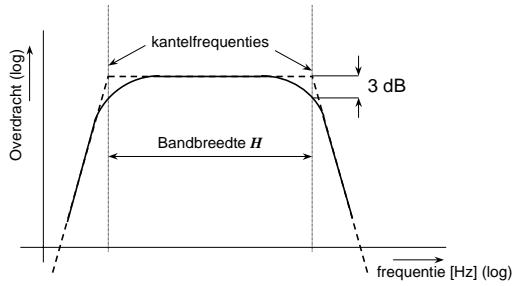
IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 5

Grondfrequentie of frequentie van 1-e harmonische

De frequentie van de eerste harmonische wordt vaak grondfrequentie genoemd.

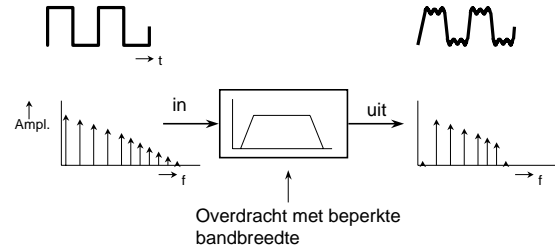
IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 6

2.1.2 Bandbreedte



Bandbreedte = het verschil tussen de hoogste en de laagste frequentie die nagenoeg onverzwakt worden overgedragen

Vervorming door beperkte bandbreedte

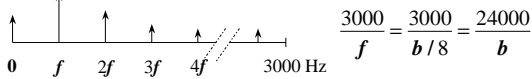


Binair oversturen van 1 byte (8 bits)

$$T = \frac{8}{b} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{b}{8}$$

(eerste harmonische = grondfrequentie)

Bij een bandbreedte van 3000 Hz is het aantal harmonische dat overgezonden kan worden:



Bij $b = 9600$ bit/s, is er ruimte voor $24000/9600 = 2$ harmonischen

2.1.3 Seinsnelheid in baud

- De snelheid waarmee gegevens overgezonden kunnen worden (de *bitsnelheid* of *transmissiesnelheid*) hangt af van de snelheid waarmee het signaal kan veranderen (de *signaalsnelheid*).
- Het aantal signaalwisselingen per seconde wordt uitgedrukt in **baud**
- Het verband tussen bandbreedte H [Hz] en maximum seinsnelheid M_{max} [baud] is (ongeacht de codering)

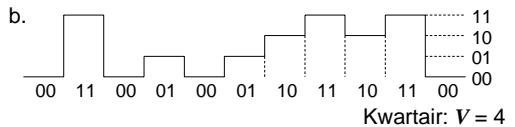
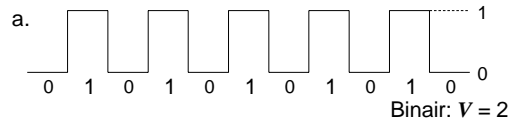
$$M_{max} = 2H$$

Seinsnelheid \Leftrightarrow transmissiesnelheid

$$C = M^2 \log V$$

- C transmissiesnelheid [bit/s] (ook bitsnelheid genoemd)
- M seinsnelheid [baud] (ook baudsnelheid of "signalling rate" genoemd)
- V aantal mogelijke signaaltoestanden

Seinsnelheid - transmissiesnelheid (1)



Seinsnelheid [baud] gelijk, transmissiesnelheid [bit/s] bij b twee maal zo hoog als bij a..

Seinsnelheid - transmissiesnelheid (2)

a.

b.

Seinsnelheid [baud] van binair signaal bij a. twee maal zo hoog als bij b., transmissiesnelheid [bit/s] gelijk.

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 13

Stelling van Nyquist (1924)

- Transmissiecapaciteit (maximum transmissie-snelheid) is afhankelijk van de bandbreedte en het aantal mogelijke signaaltoestanden:

$$C_N = 2H \log V$$
- C_N Transmissiecapaciteit volgen Nyquist [bit/s];
- H Bandbreedte [Hz];
- V Aantal signaaltoestanden.
 V wordt beperkt door:
 - Vervorming (relatie met het verzonden signaal)
 - Storing (geen relatie met het verzonden signaal, bestaat bijv. uit ruis, schakelimpulsen, overspraak).

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 14

Stelling van Shannon (1948)

- Transmissiecapaciteit (maximum transmissie-snelheid) van een kanaal met ruis is

$$C_{SH} = H \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$
- C_{SH} Transmissiecapaciteit volgens Shannon [bit/s];
- H Bandbreedte [Hz];
- S Signaalvermogen [W];
- N Ruisvermogen [W].

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 15

Signaal-ruisverhouding

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{vermogen van gewenste signaal } s}{\text{vermogen van de ruis } n}$$

Deze verhouding wordt meestal uitgedrukt in decibels [dB]. (1 decibel = 1/10 bel)

$$(S/N)_{dB} = 10 \log \left(\frac{S}{N} \right)$$

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 16

Verhouding signaalvermogens in dB

P_1/P_2	dB	$\left(= 10 \log \frac{P_1}{P_2} \right)$
2	3	
10	10	
10^2	20	
10^3	30	
10^4	40	
10^5	50	
10^6	60	
$10 \cdot 10^6$	70	
$100 \cdot 10^6$	80	

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 17

Verband tussen Nyquist & Shannon

- Nyquist: $C_N = 2H \log V$
- Shannon: $C_{SH} = H \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)$

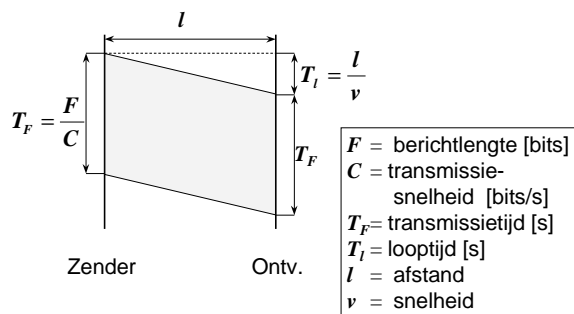
$$C_N < C_{SH}$$

Het aantal signaaltoestanden V wordt beperkt door Shannon:

$$V < \sqrt{1 + \frac{S}{N}}$$

IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 18

2.2 Transmissiemiddelen



Geleidende media

- Magnetsiche informatiedragers
- Getwijd draadpaar (engels: twisted pair)
- coaxiaal kabel
- Glasvezel

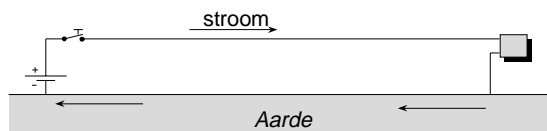
Voortplantingsnelheid

Snelheid van elektromagnetische golven en dus ook van licht:

in het luchtledige en (lucht ongeveer) 300 000 km/s
Handig in gebruik vaak de looptijd $\sim 3 \mu\text{s}/\text{km}$

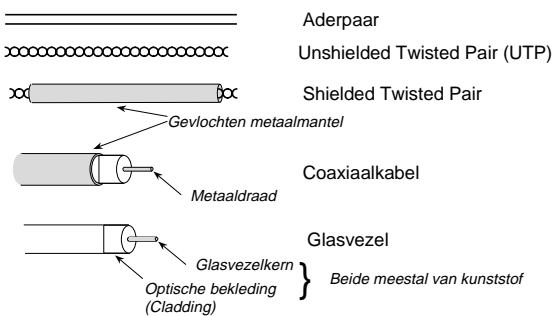
In een geleider ongeveer 200 000 km/s
(looptijd $\sim 5 \mu\text{s}/\text{km}$)

Begin telegrafie

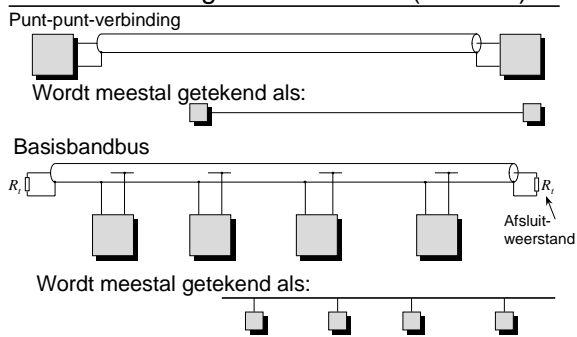


Veel storing onder andere van energievoorziening.

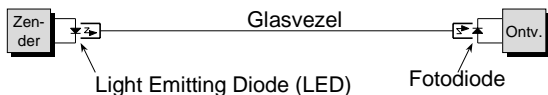
Verschiede media



2.2.3 Verbinding met coaxkabel (50 Ohm)



2.2.4 Verbinding met glasvezel



- Snelheid van LED en fotodiode in de praktijk de beperkende factor voor de bitsnelheid.
- Voordeel ten opzichte van coax-kabel vooral de langere afstanden die overbrugd kunnen worden zonder versterking.

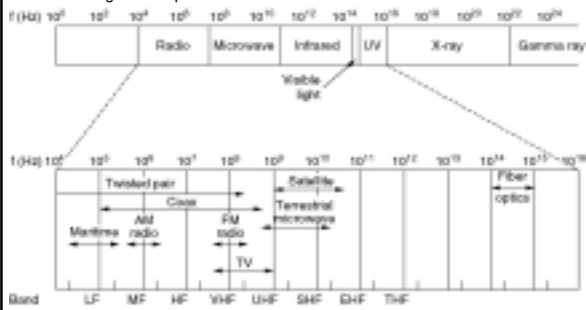
Capaciteit van enige transmissiemedia

Soort	bitsnelheid	bij lengte
Draadpaar	20 kbit/s	100 m
Getwijd draadpaar (UTP) tot 100 Mbit/s (er zijn verschillende kwaliteiten, "klassen")	100 Mbit/s	100 m
Shielded twisted pair	155 Mbit/s	100 m
Coaxiale kabel (basisband)	30 Mbit/s	1 km
Coaxiale kabel (breedband)	300 Mbit/s	10 km
Glasvezel	50 Gbit/s	<100 km
Glasvezel-record (1996) ruim	1 Tbit/s	150 km
Satelliet/radio	600 Mbit/s	

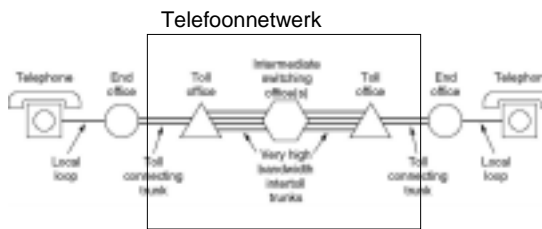
(k = 10³, M = 10⁶, G = 10⁹, T = 10¹²)

2.3 Draadloze transmissie

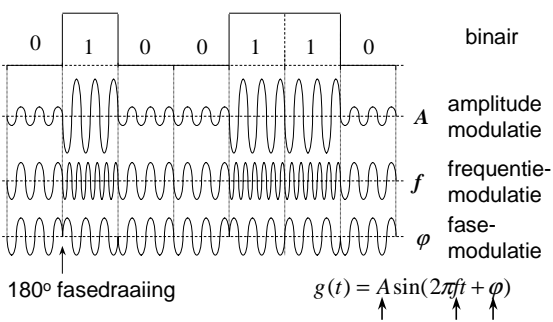
Het elektromagnetisch spectrum



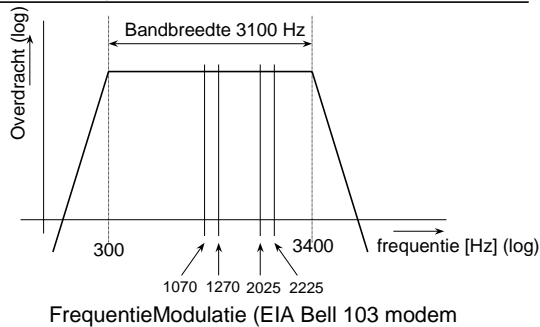
2.5 Het openbare telefoonnetwerk

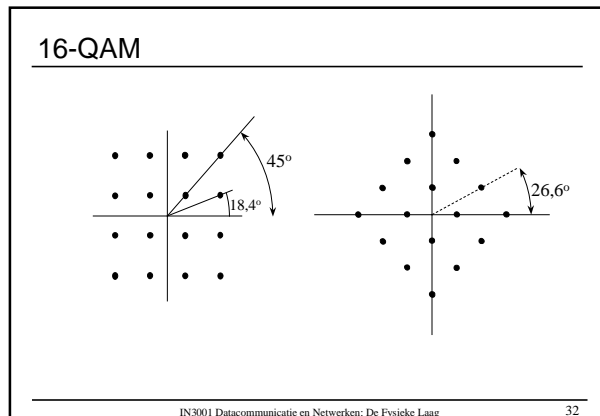
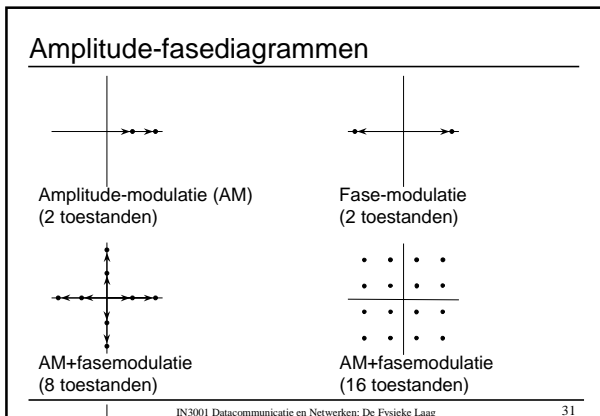


2.5.3a Modulatie

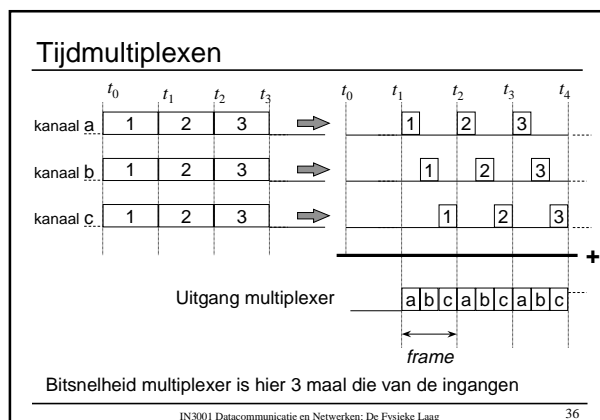
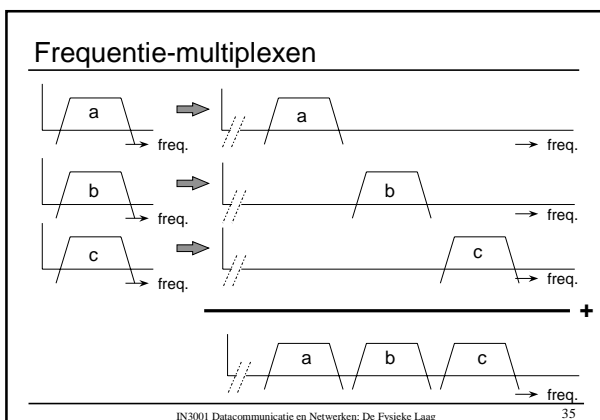
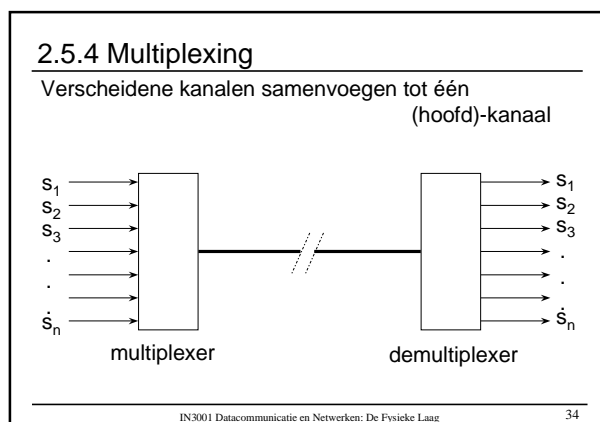


Eenvoudig 300 bit/s full-duplex-modem





- ### 2.5.3b ADSL
- bandbreedte van de local loop is standaard 3100 Hz
 - laag gehouden d.m.v filter
 - zou op korte afstand van centrale veel hoger kunnen b.v. 10 Mb/s over 1 km, of 1 Mb/s over 4 a 5 km
 - voor ADSL filter verwijderd
 - ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)
 - verschil tussen upstream en downstream ("asymmetric")
 - b.v. 256 kb/s upstream en 1 Mb/s downstream
- IN3001 Datacommunicatie en Netwerken: De Fysieke Laag 33



CDMA(6) Voorwaarden:

- Synchronisatie op de gewenste zender
- Het **ontvangen** vermogen van alle stations moet hetzelfde zijn; de zender moet zijn zendvermogen zodanig regelen, *power control* (moeilijk)
- Stations moeten weten wie ze een bericht zendt, (moeten spreidingscode weten waarmee ze moeten filteren) of moeten alle berichten decoderen (veel werk).