

TSKS10 Signaler, information & Kommunikation

Föreläsning 9

Fortsättning vågformskanaler

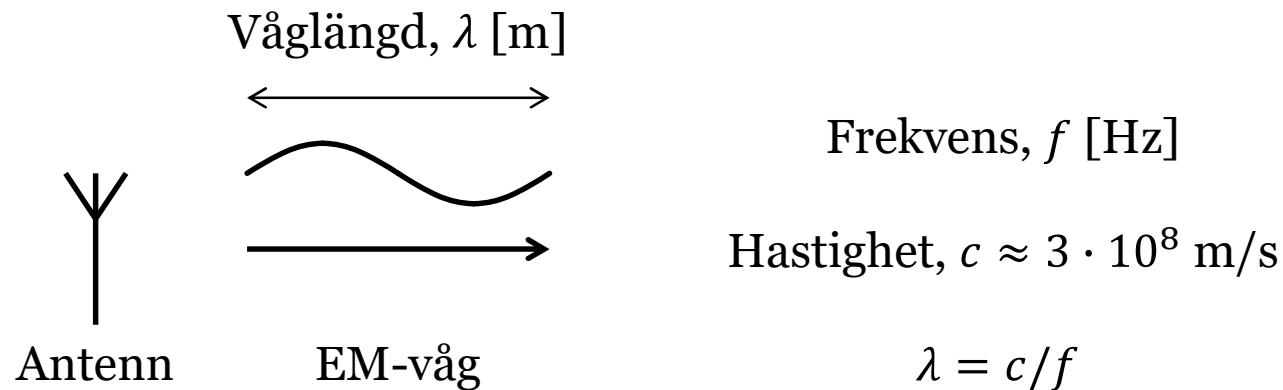
Kablar och radiokanaler

Mikael Olofsson

Institutionen för Systemteknik (ISY)

Ämnesområdet Kommunikationssystem

Radiosignal – Elektromagnetisk våg



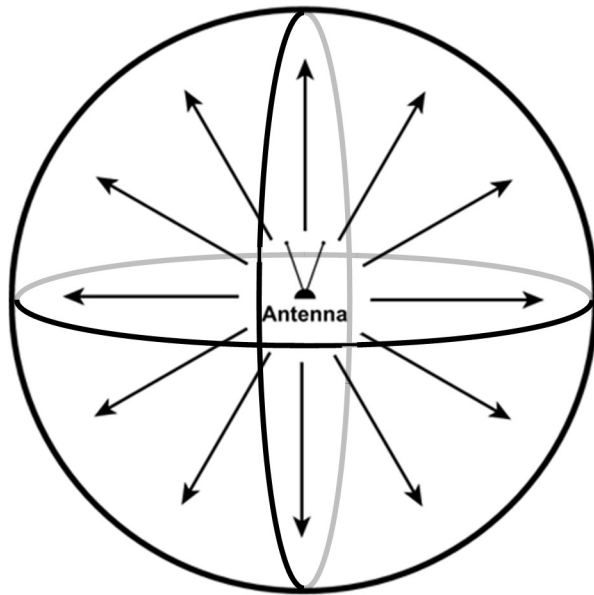
För bärfrekvensen, f_c :

$$\lambda_c = c/f_c$$

$$f_c = 1 \text{ GHz} \Leftrightarrow \lambda_c \approx 3 \text{ dm}$$

Radiokanaler – Radioutbredning i fri rymd

Isotropisk antenn: Teoretiskt koncept, strålar lika mycket i alla riktningar.



Sfärens radie: r

Sänd effekt: P_t

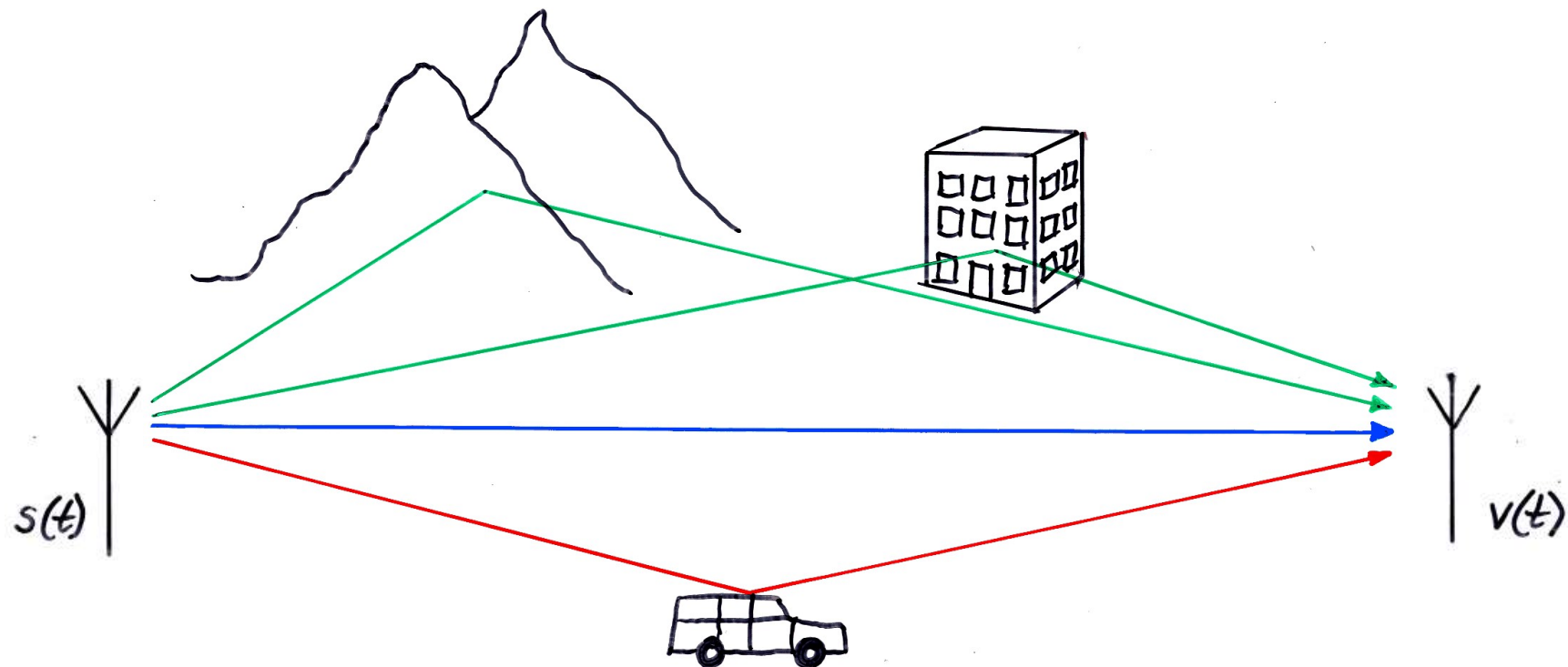
Effekttäthet på ytan: $p = \frac{P_t}{4\pi r^2}$

Effektiv mottagarapertur: A_e

Mottagen effekt: $P_r = pA_e = \frac{P_t A_e}{4\pi r^2}$

Utbredning genom vacuum $\Rightarrow$ Inga förluster.

Radiokanaler – flervägsutbredning 1(3)



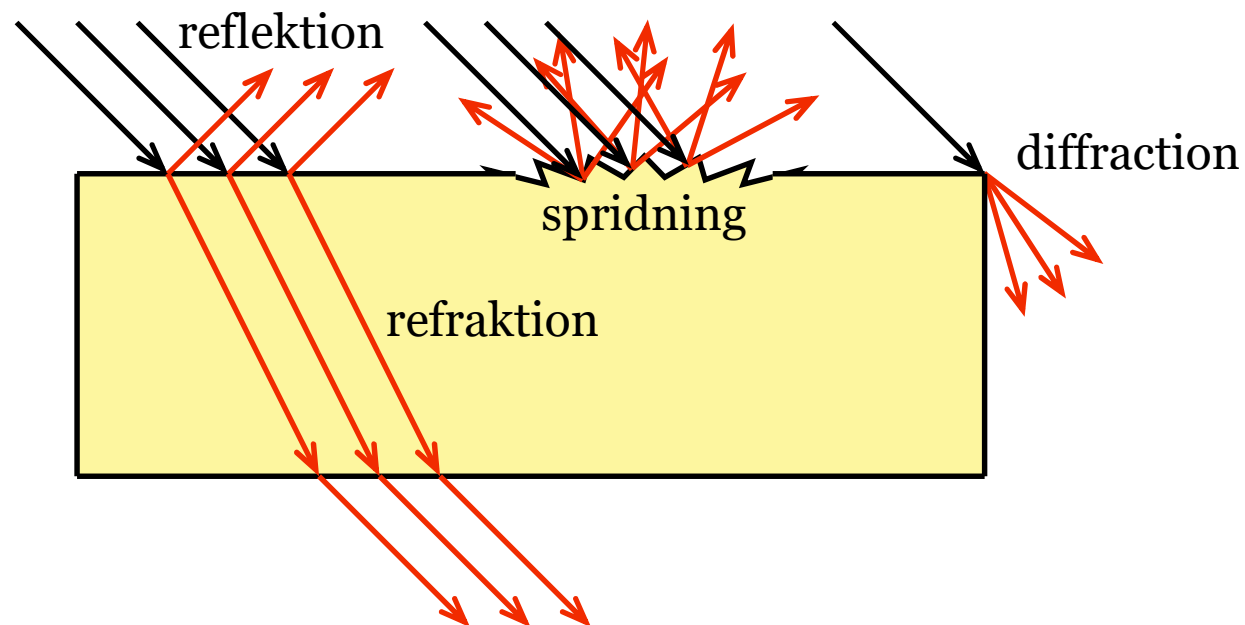
Utsignal:

$$v(t) = \sum_{k=1}^N \rho_k s(t - \tau_k)$$

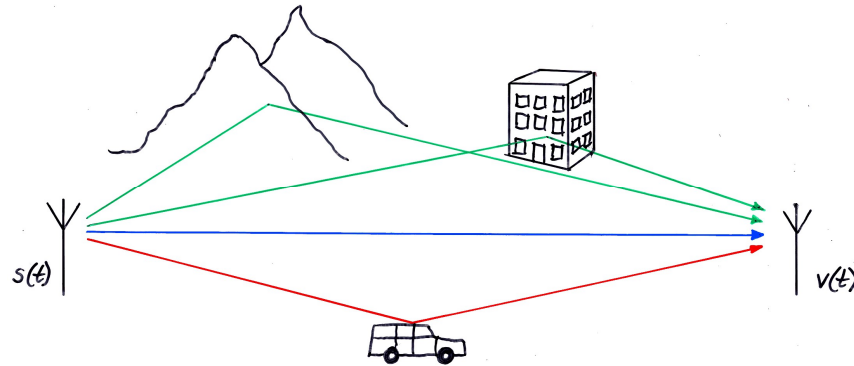
Skalningsfaktor

Fördröjning

Radiokanaler – flervägsutbredning 2(3)



Radiokanaler – flervägsutbredning 3(3)



Utsignal:

$$v(t) = \sum_{k=1}^N \rho_k s(t - \tau_k)$$

Impulssvar:

$$h(\tau) = \sum_{k=1}^N \rho_k \delta(\tau - \tau_k)$$

Frekvenssvar:

$$H(f) = \sum_{k=1}^N \rho_k e^{-j2\pi f \tau_k}$$

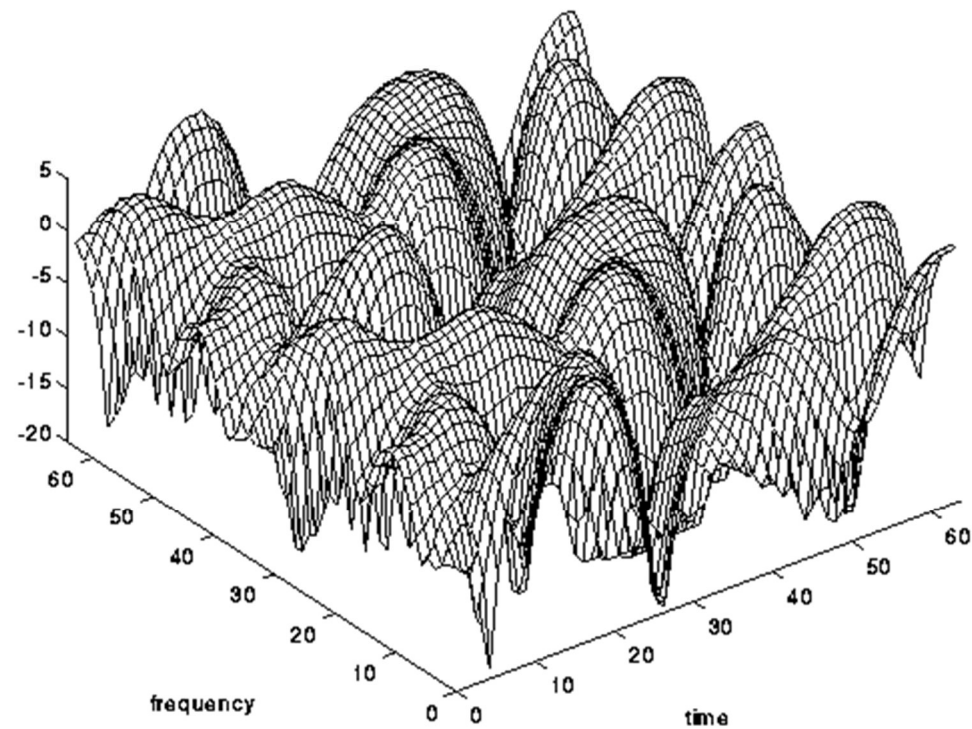
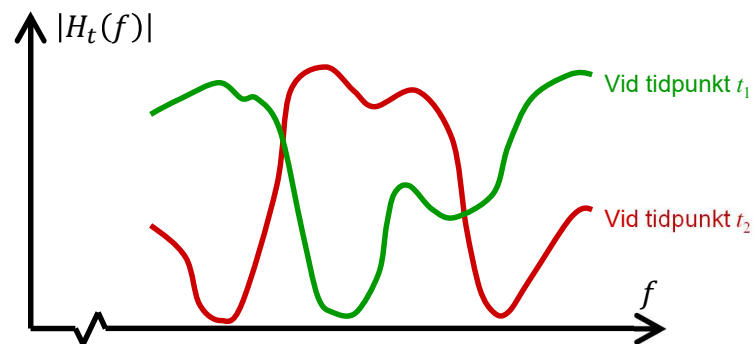
Tidsberoende förändringar av förutsättningarna

$\Rightarrow N, \rho_k$ & τ_k varierar med tiden.

$\Rightarrow$ Tidsberoende impuls- och frekvenssvar.

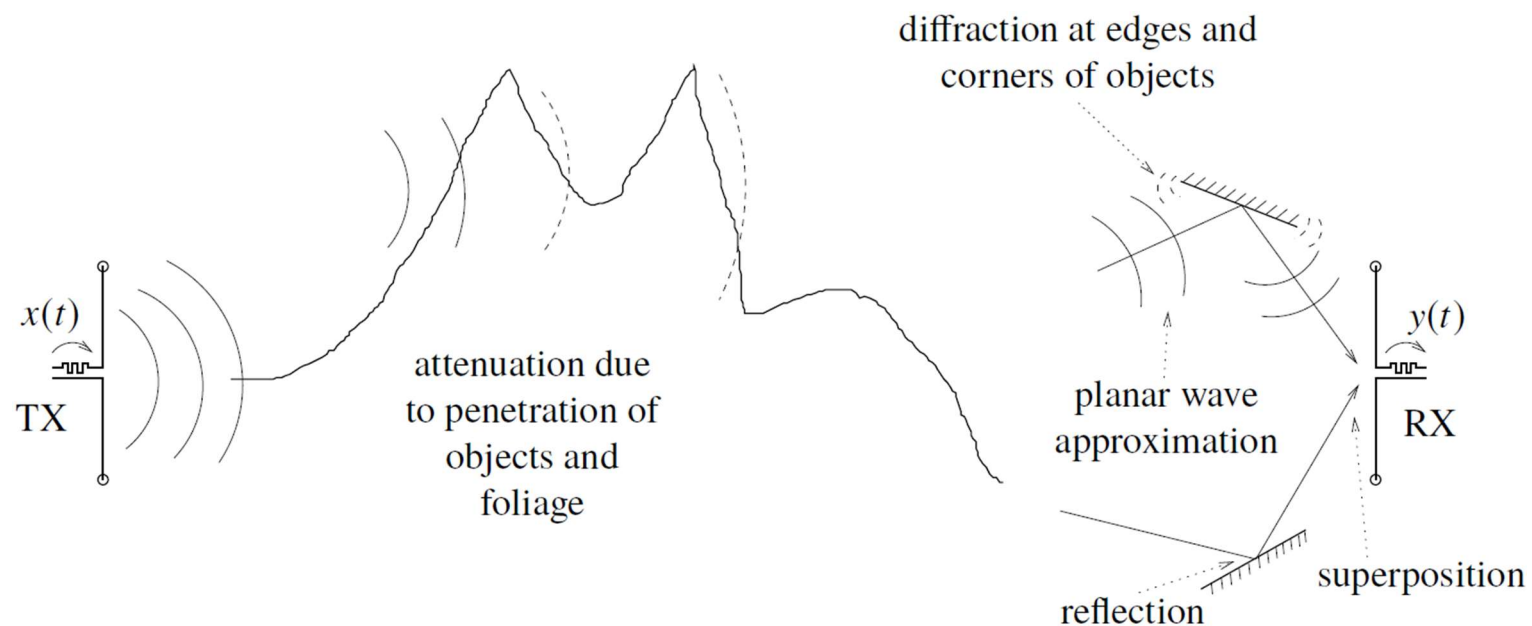
$$h_t(\tau) \quad H_t(f)$$

Frekvensselektiv fädning



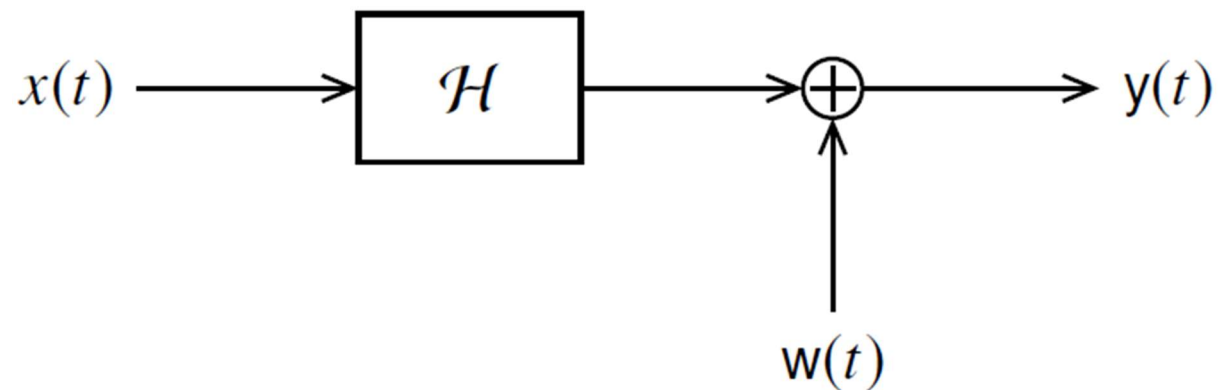
Utbredning av radiovågor

TX är sändare, RX är mottagare



Figur 8.2 ur kursboken

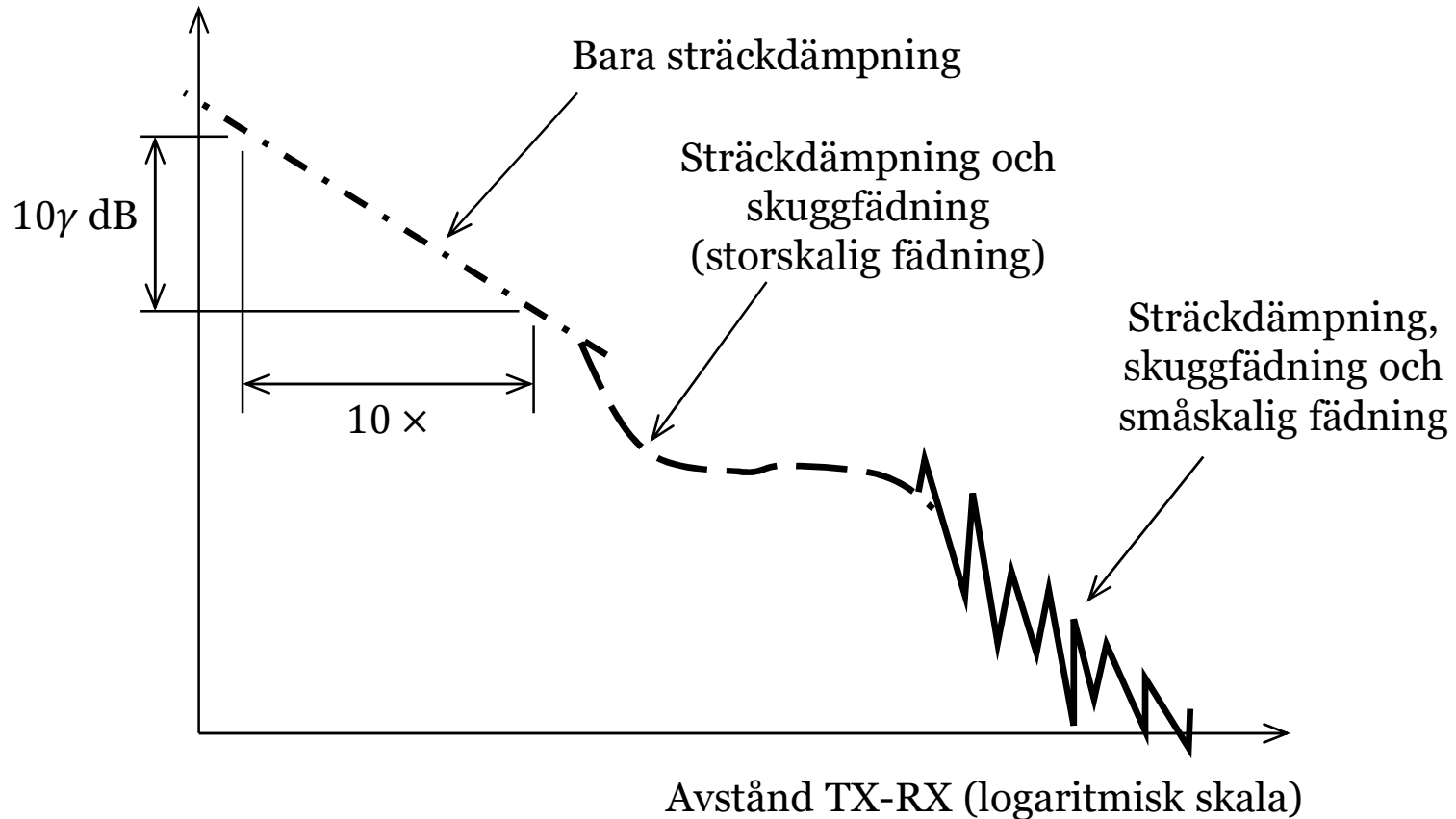
Generell vågformskanal



Figur 1.4 ur kursboken

Utbredning av radiovågor, modell

Mottagen signalstyrka [dB]



I princip figur 8.3 ur kursboken

Sträckdämpning (path loss)

Amplitudskalning:

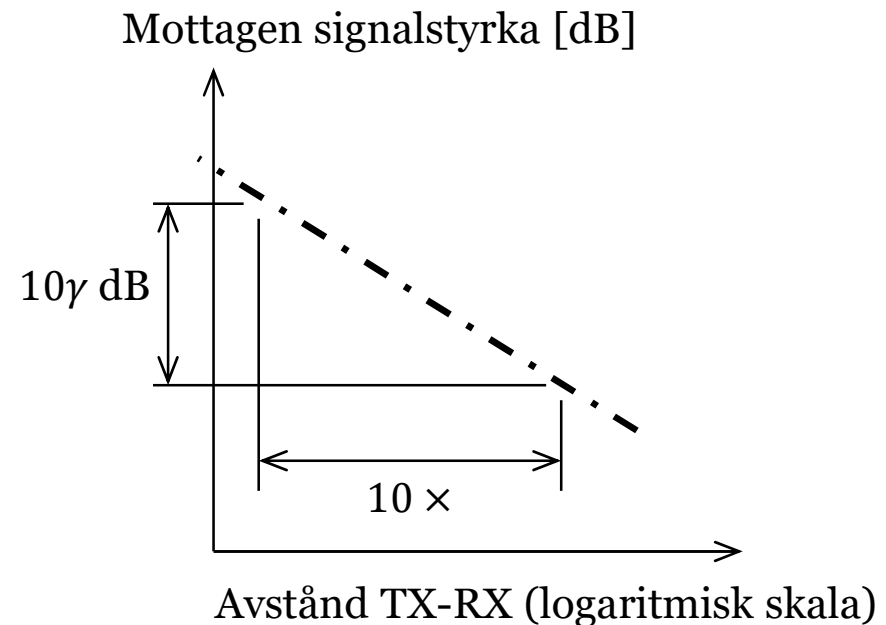
$$\sqrt{K \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\gamma}} \text{ för } r \geq r_0$$

Vanligen $2 \leq \gamma \leq 5$

Effektskalning: $K \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\gamma}$ för $r \geq r_0$

I dB: $10 \log_{10}(K) - 10\gamma \log_{10}\left(\frac{r}{r_0}\right)$

I princip oberoende av tid.
Normalt oberoende av frekvens.
I princip deterministisk.



I princip del av figur 8.3 ur kursboken

Skuggfädning – Skuggning av stora objekt

Amplitudskalning:

$$\sqrt{10^{X/10}}, \text{ med } X: N(0, \sigma)$$

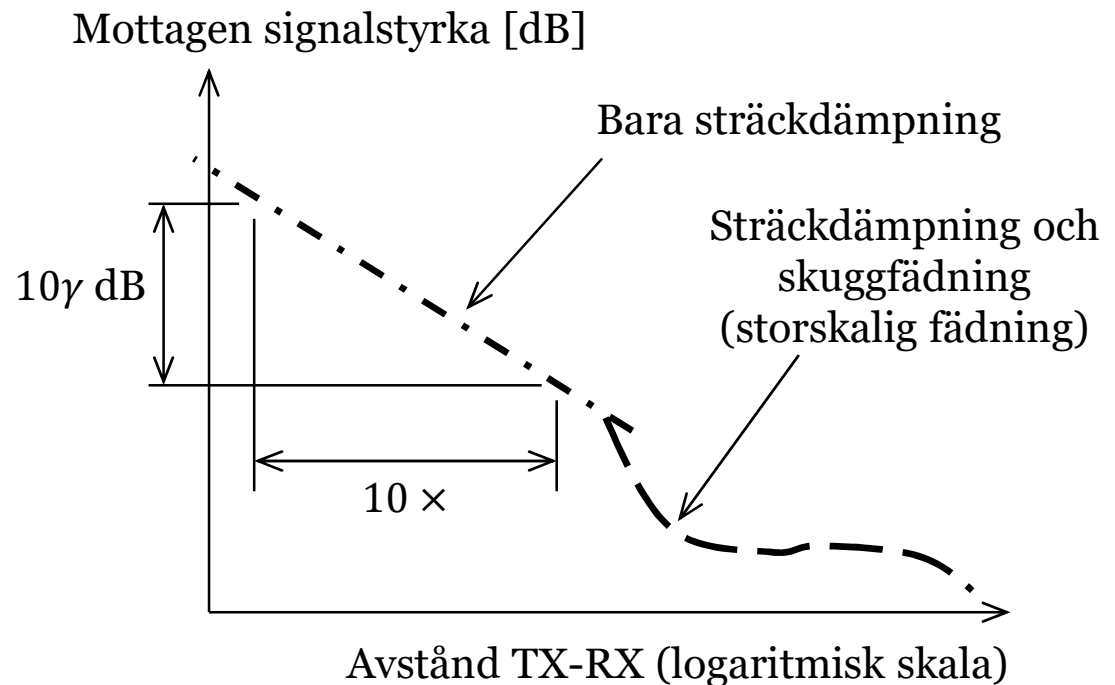
Normalt: $6 \leq \sigma \leq 8$ [dB]

Effektskalning: $10^{X/10}$

$$I \text{ dB: } 10 \log_{10}(10^{X/10}) = X$$

$10^{X/10}$ kallas log-normal fördelning

Varierar långsamt. Beror på miljö.
Väsentligen en multiplikativ skalning.
Beror vanligtvis mycket lite på frekvens.



I princip delar av figur 8.3 ur kursboken

Småskalig fädning – flervägsutbredning

Mottagen signal Sänd signal

↓ ↓

$$y(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i x(t - \tau_i)$$

M : Antal signalvägar – mycket stor.

α_i : Skalningsfaktor för väg nummer i . Beror på allt som händer längs vägen.

τ_i : Fördröjning för väg nummer i . Beror helt på sträckan r_i : $\tau_i = r_i/c$

Om M , α_i och τ_i vore konstanter:

LTI-system med

impulssvar:
$$h(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i \delta(t - \tau_i)$$

frekvenssvar:
$$H(f) = \sum_{i=1}^M \alpha_i e^{-j2\pi f \tau_i}$$

Vårt frekvensband:

Idealt BP: $h_{BP}(t)$

Impulssvar:
$$h_1(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i h_{BP}(t - \tau_i)$$

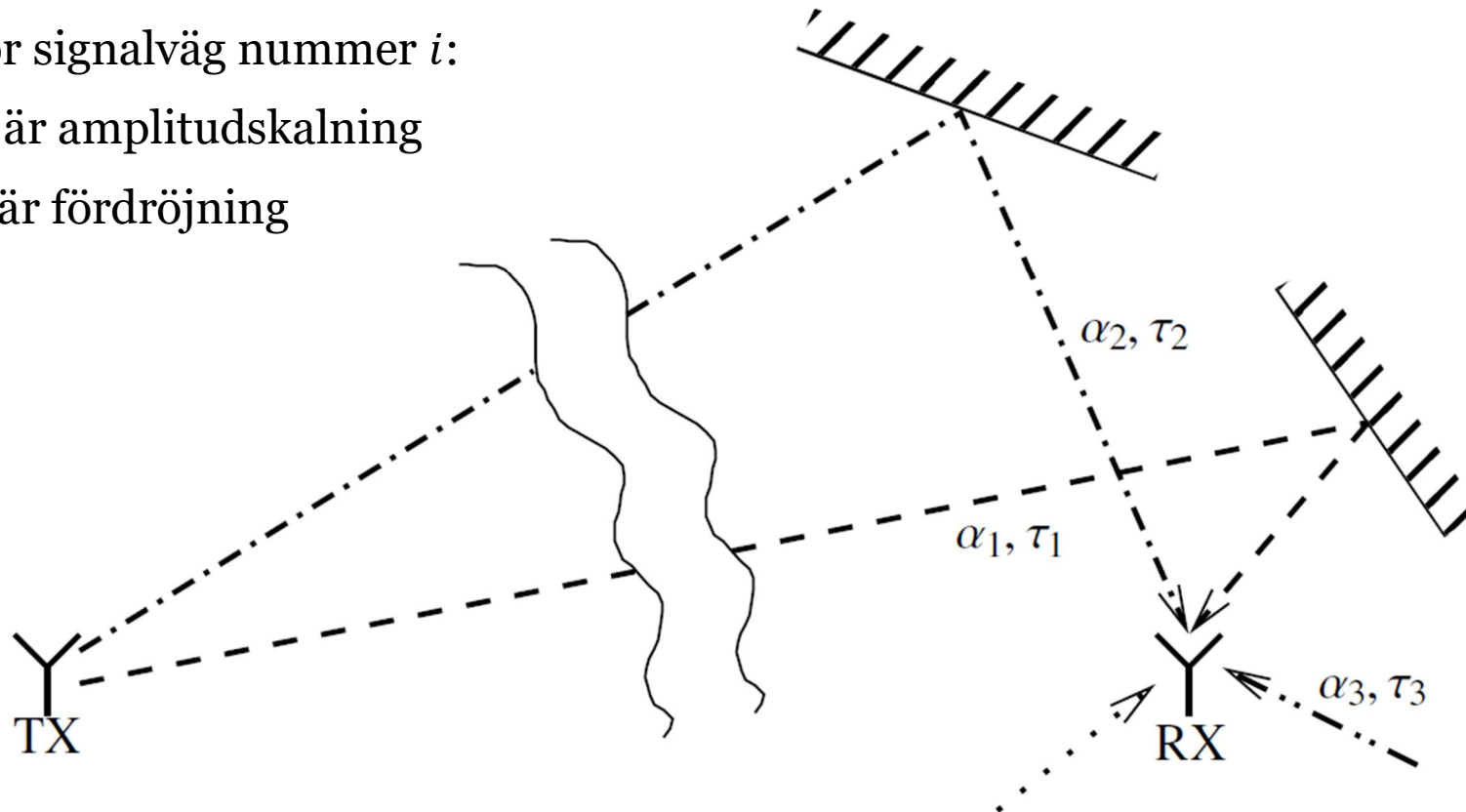
Frekvenssvar:
$$H_1(f) = H_{BP}(f) \sum_{i=1}^M \alpha_i e^{-j2\pi f \tau_i}$$

Interferensfenomen bakom småskalig fädning

För signalväg nummer i :

α_i är amplitudskalning

τ_i är fördröjning



Figur 8.4 ur kursboken

Småskalig fädning – egenskaper

Mottagen signal Sänd signal

↓ ↓

$$y(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i x(t - \tau_i)$$

Inom koherenstiden T_c :

Impulssvar:
$$h_1(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i h_{BP}(t - \tau_i)$$

Frekvenssvar:
$$H_1(f) = H_{BP}(f) \sum_{i=1}^M \alpha_i e^{-j2\pi f \tau_i}$$

α_i : Varierar långsamt även om sändare/mottagare rör sig flera våglängder.

Infallsvinklarna varierar också långsamt.

τ_i : Varierar i absoluta termer långsamt, men resulterande fasvridning varierar snabbt. Förflyttning i storleksordning våglängd ger fasvridning i storleksordning 2π . Hastigheten på förflyttningen avgör koherenstiden.

Småskalig fädning – amplitudskalning

Bara en frekvens: $x(t) = \cos(2\pi f_0 t)$

Sinus-in-sinus-ut: $y(t) = |H(f_0)| \cos(2\pi f_0 t + \arg\{H(f_0)\})$

$$|H(f)| = \left| \sum_{i=1}^M \alpha_i e^{-j2\pi f \tau_i} \right| = \sqrt{\sum_{i=1}^M \alpha_i^2} \cdot \underbrace{\sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^M \alpha_i \cos(2\pi f_0 \tau_i))^2 + (\sum_{i=1}^M \alpha_i \sin(2\pi f_0 \tau_i))^2}{\sum_{i=1}^M \alpha_i^2}}}_{\text{Kallas } \xi_{ss}(f) \text{ i boken.}}$$

$$\approx \sqrt{\sum_{i=1}^M \alpha_i^2}$$

I genomsnitt 1 om α_i är godtycklig
och τ_i likformigt fördelad.

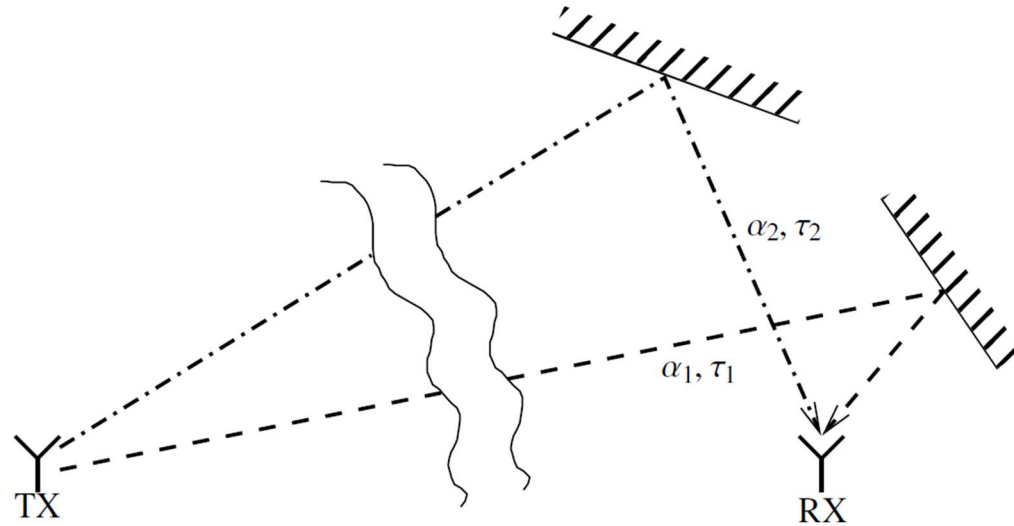
Nära 1 med stor sannolikhet för $M \gg 1$.

Småskalig fädning – Ex. Tvåvägsmodell

$$M = 2$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

Godtyckliga τ_1 & τ_2 .



Delar av figur 8.4 ur kursboken

$$\Rightarrow \xi_{ss}(f) = 1 + \cos(2\pi f(\tau_1 - \tau_2))$$

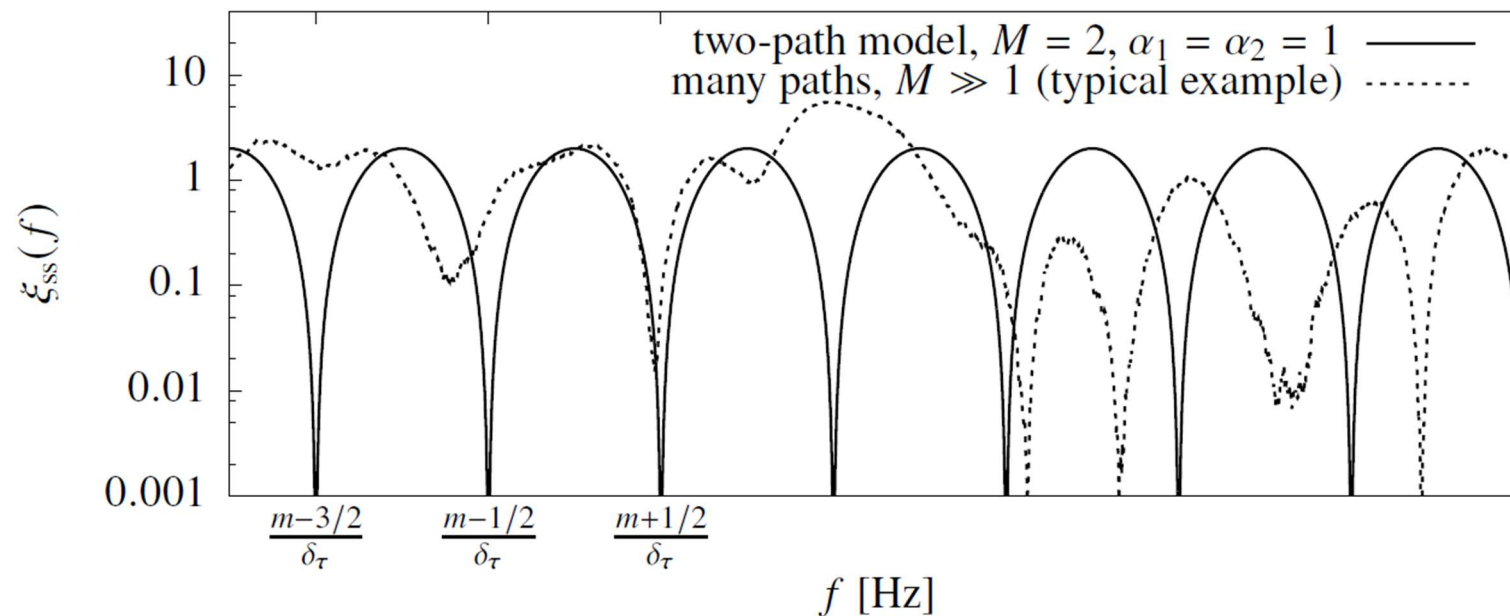
$$\text{Definiera: } \delta_\tau = |\tau_1 - \tau_2|$$

$$\Rightarrow \xi_{ss}(f) = 0 \quad \text{för} \quad f = \frac{m-1/2}{\delta_\tau} \quad \text{med } m \text{ heltal.}$$

$$\text{Koherensbandbredd: } B_c < \frac{1}{\delta_\tau}$$

Variation av amplitudkaraktistiken

– pga flervägsutbredning för en LTI-kanal



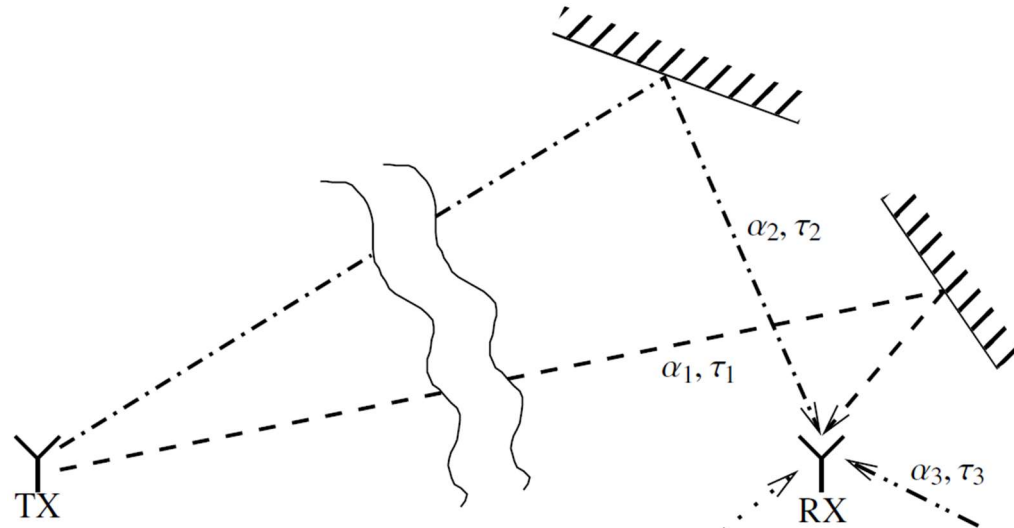
Figur 9.5 ur kursboken

Dispersion och koherensbandbredd

$$T_d \sim \max_{i,k} |\tau_i - \tau_k|$$

Över de vägar för vilka α_i
och α_k är signifikanta.

$$B_c \sim \frac{1}{T_d} \sim \frac{1}{\max_{i,k} |\tau_i - \tau_k|}$$



Figur 8.4 ur kursboken

Nu i termer av avstånd:

Skillnad i gångväg: $\delta_r = \delta_\tau c$

Inomhus: 10 à 100 m $\Rightarrow B_c \sim 1$ MHz

Utomhus: 1 à 10 km $\Rightarrow B_c \sim 10$ kHz

Jämförelse bandbredder:

GSM (2G): $B = 200$ kHz

LTE (4G): $B = 20$ MHz

5G: $B = 100$ MHz

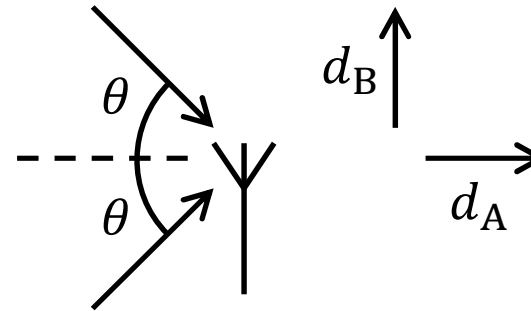
Tvåvägsmodell – Flytta mottagaren

$$\xi_{ss}(f) = 1 + \cos(2\pi f(\tau_1 - \tau_2))$$

Förflyttningen d_A :
ändrar både τ_1 och τ_2 lika.

$\Rightarrow$ Oförändrat

Förflyttningen d_B :
ändrar τ_1 med $\frac{d_B}{c} \sin(\theta)$,
och τ_2 med $-\frac{d_B}{c} \sin(\theta)$.
 $\Rightarrow \tau_1 - \tau_2$ ändras med $\frac{2d_B}{c} \sin(\theta)$



Från en dipp till nästa när
 $2\pi f(\tau_1 - \tau_2)$ ändrats med 2π .

$$\Rightarrow f_c \frac{2d_B}{c} \sin(\theta) = 1$$

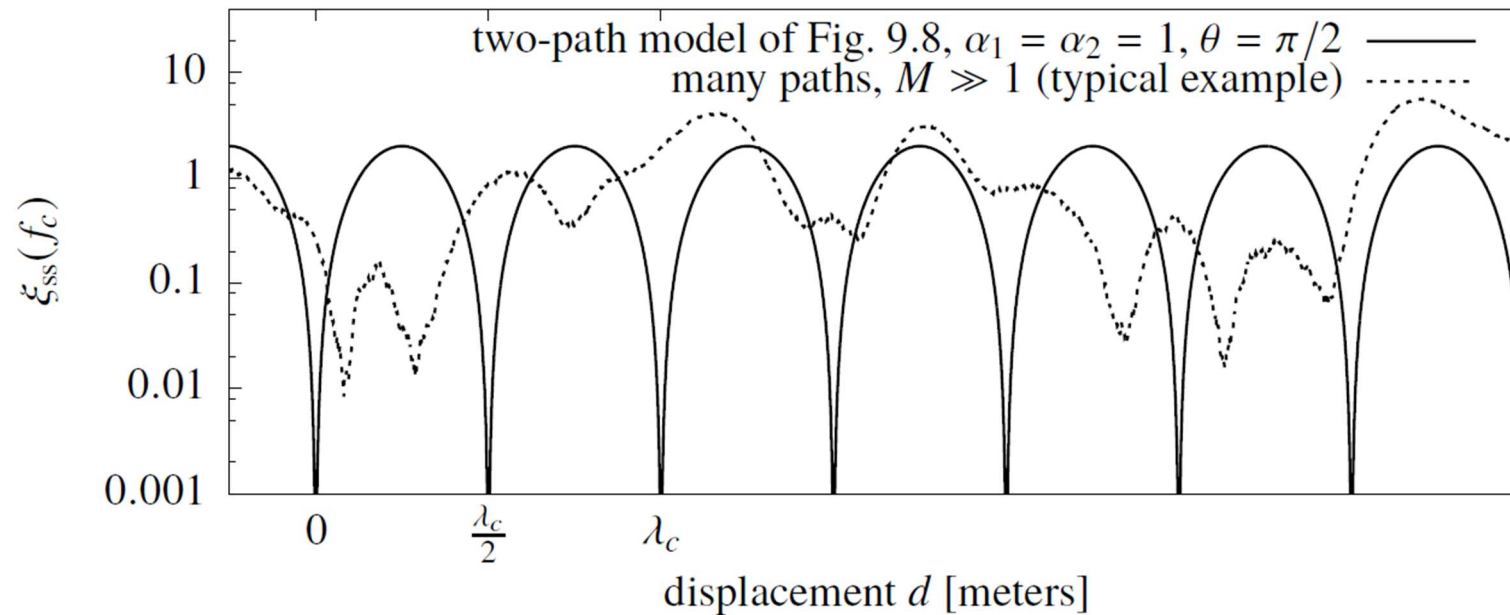
$$\Rightarrow d_B = \frac{c/f_c}{2 \sin(\theta)} = \frac{\lambda_c}{2 \sin(\theta)}$$

Alltså storleksordning: λ_c

I princip del av figur 8.8 ur kursboken

Variation av amplitudkaraktistiken

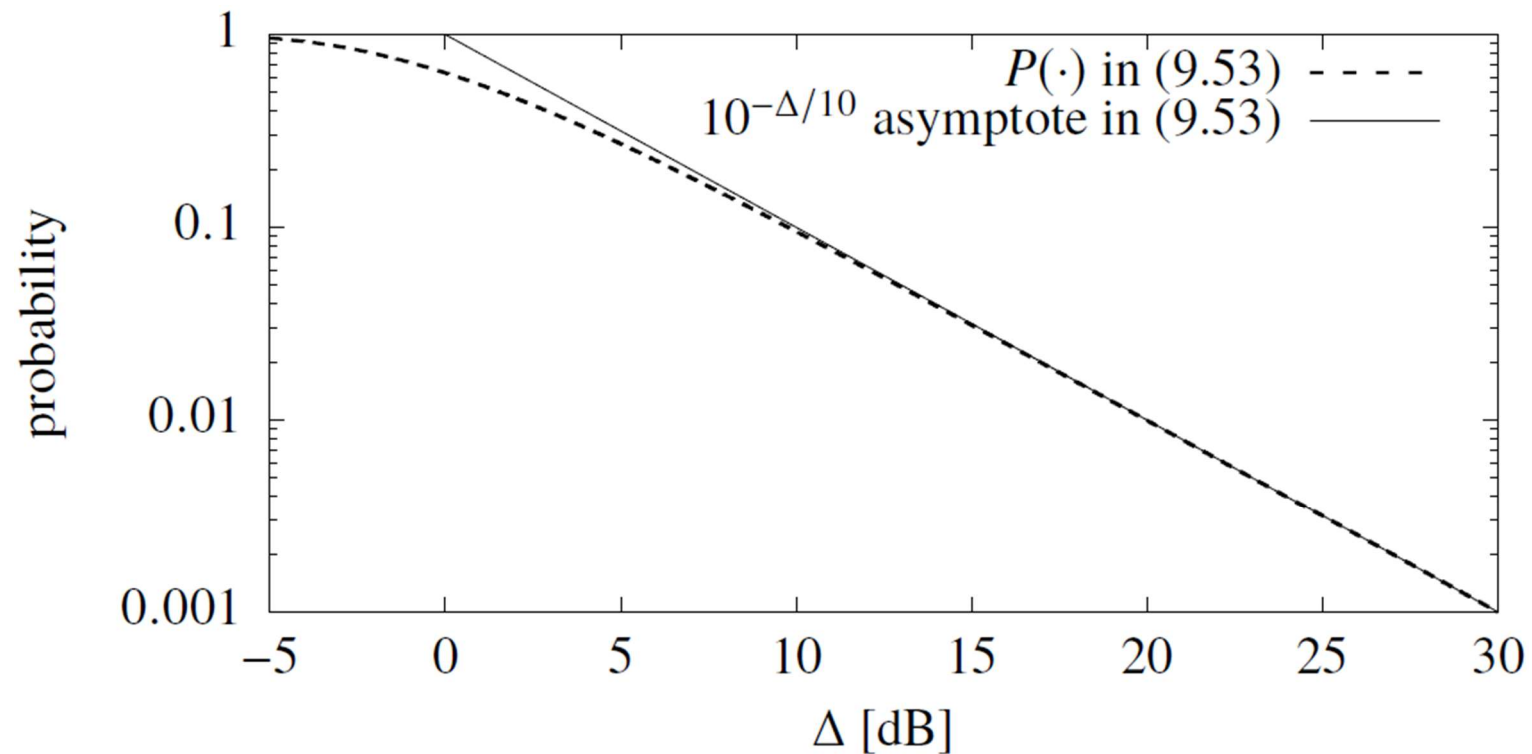
– pga att mottagaren förflyttas



Figur 8.7 ur kursboken

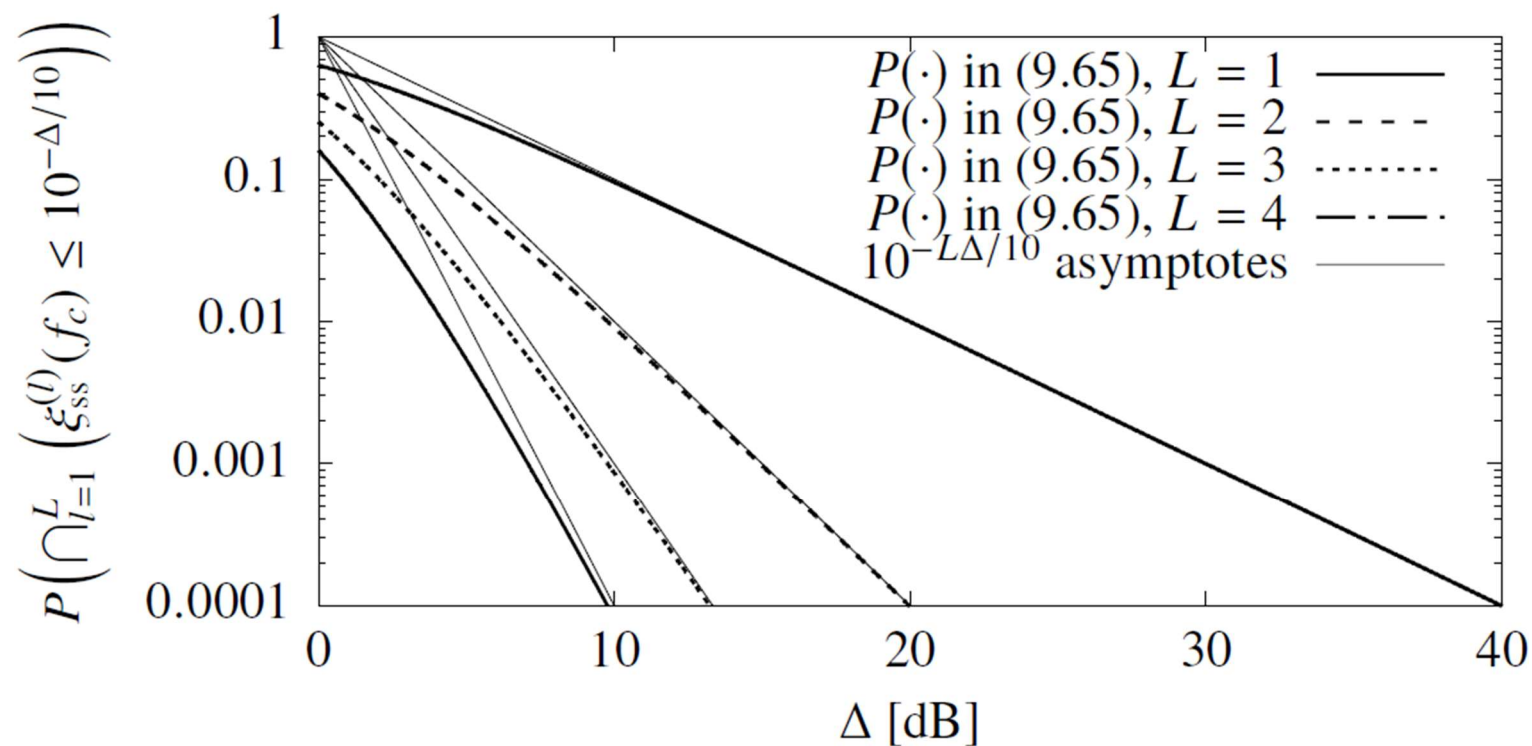
Sannolikhet för fädningsdipp

– vid rayleigh-fädning



Figur 8.6 ur kursboken

Sannolikhet för samtidiga fädningsdippar vid L vägars diversitet



Figur 9.9 ur kursboken

Analog kommunikationslänk

Amplitudmodulation, t.ex.:

$$x(t) = m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

Flera varianter, DC-offset och/eller filtrering

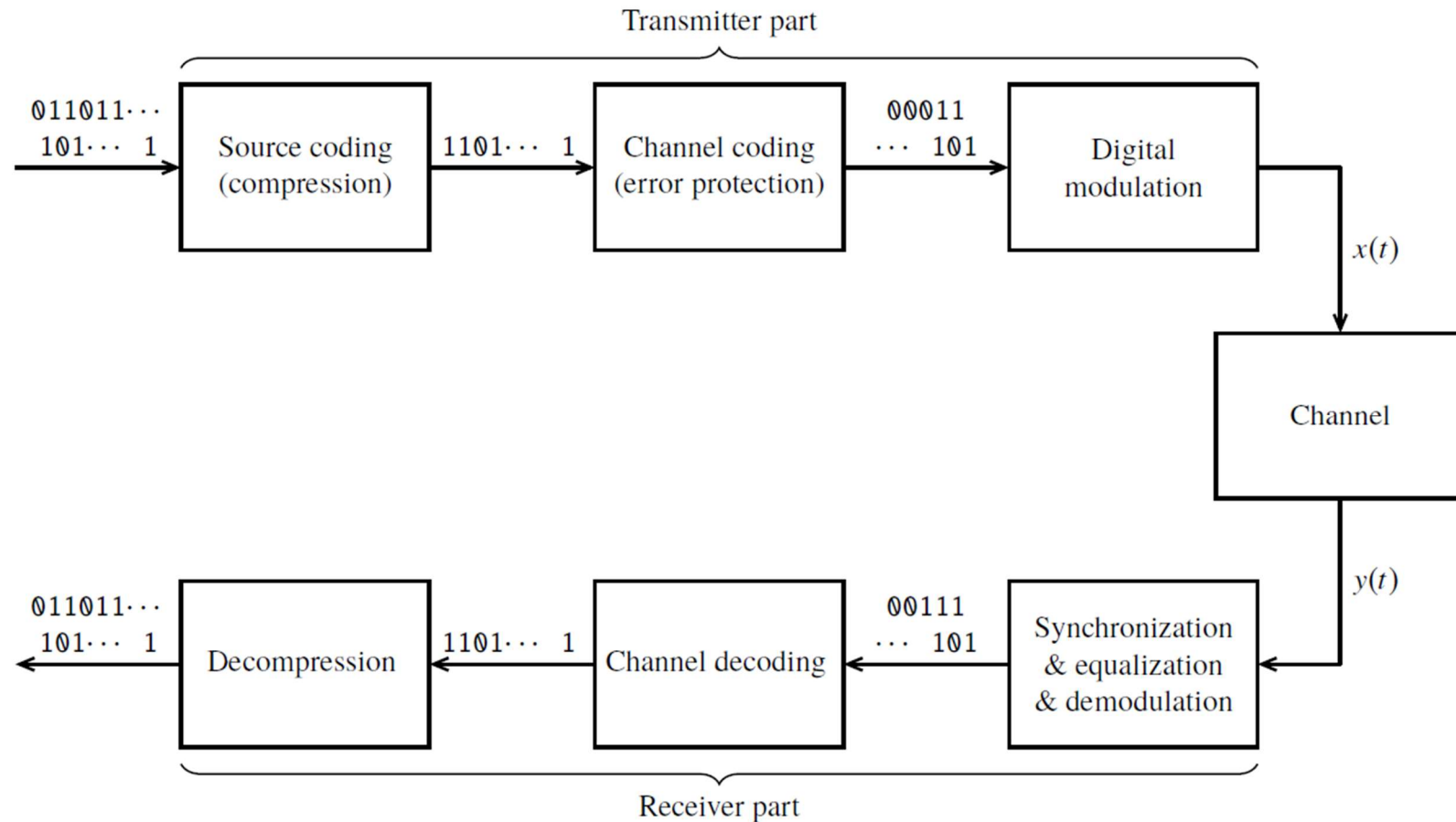
Frekvensmodulation, t.ex.:

$$x(t) = \cos\left(2\pi f_c t + \beta \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau\right)$$

För- och nackdelar:

- + Enkla metoder
- + (?) Kan realiseras med analoga elektriska komponenter
- + (AM) Linjär – därför lätt att analysera
- + (FM) Mindre bruskänslig än AM
- (AM) Mer bruskänslig än FM
- Kan inte dra nytta av käll- och kanalkodningssatserna
- (FM) Olinjär – därför svår att analysera

Digital kommunikationslänk 1(2)



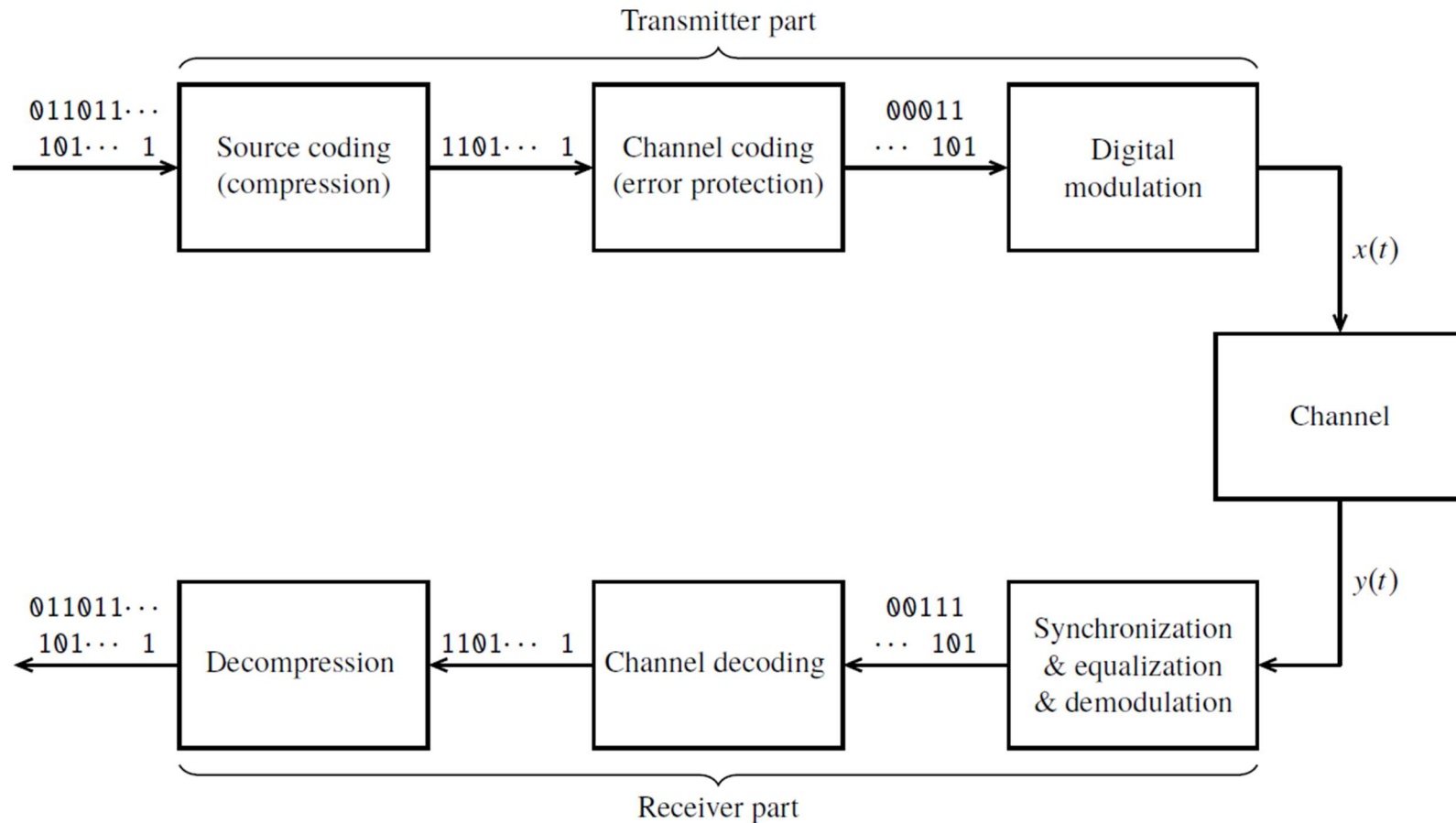
Figur 1.11 ur kursboken

Digital kommunikationslänk 2(2)

För- och nackdelar:

- + Kan utnyttja käll- och kanalkodningssatserna
 - ⇒ Bättre prestanda i termer av P_e och spektraleffektivitet.
- + Drar nytta av elektronik-utvecklingen.
- Mer avancerad teknik – kräver både digital och analog hårdvara.

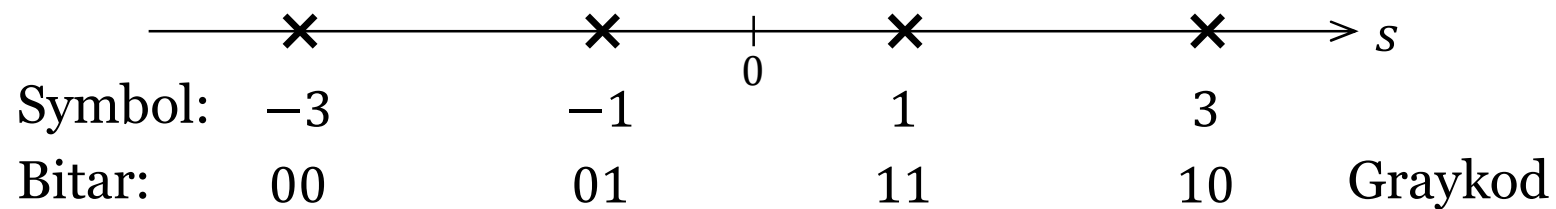
Digital kommunikationslänk igen



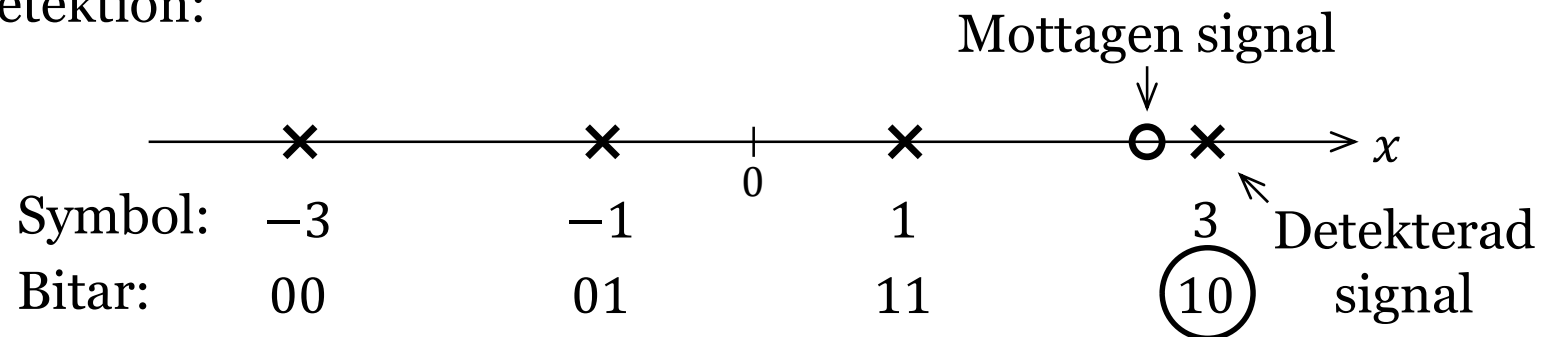
Figur 1.11 ur kursboken

Digital modulation – Ex 4-ASK

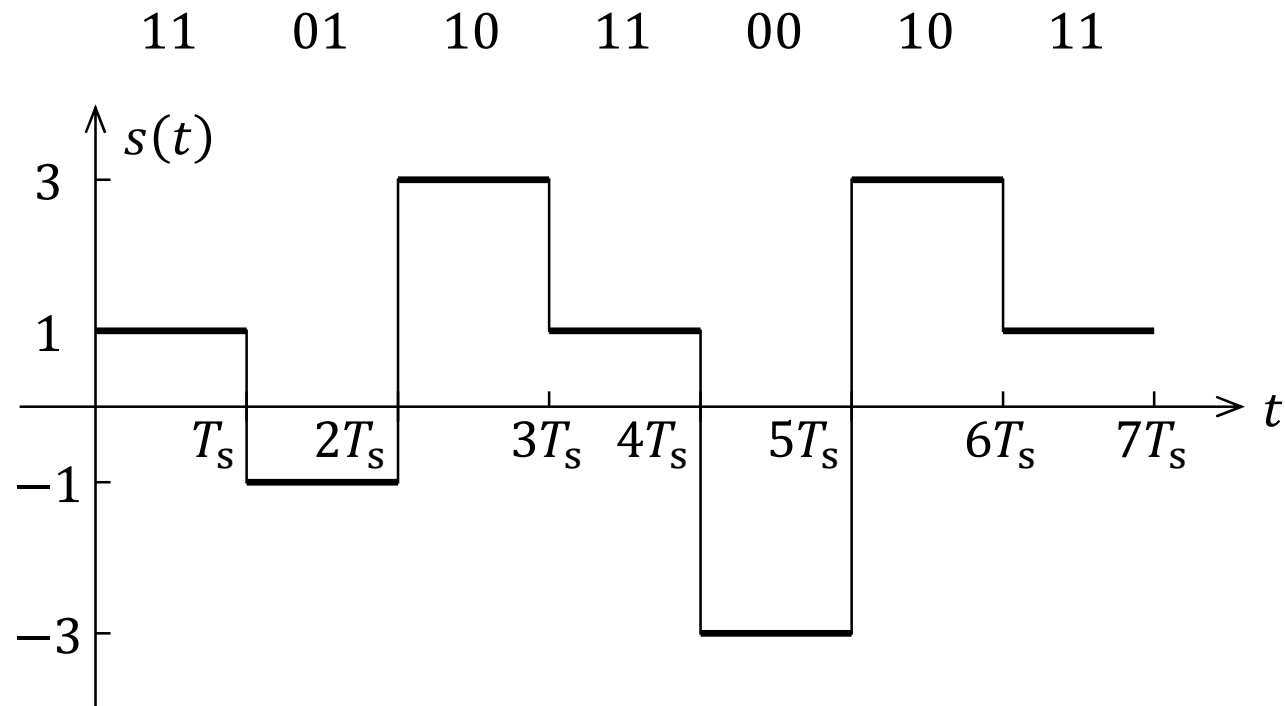
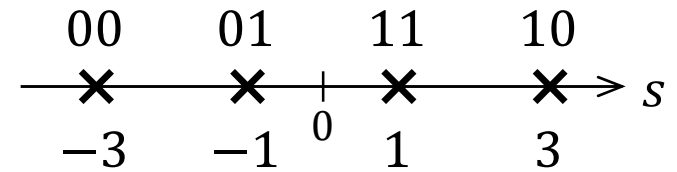
Konstellation (ASK = Amplitude Shift Keying):



Detektion:



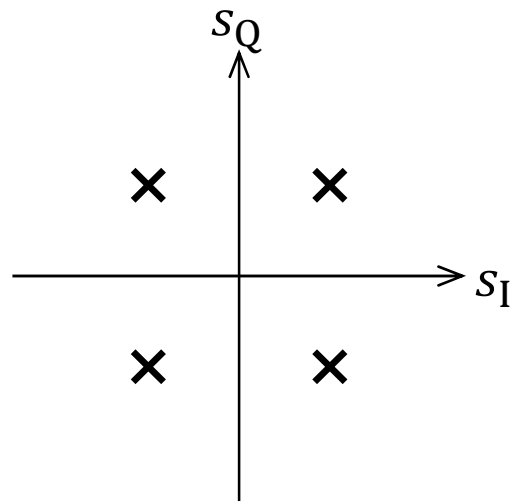
Ex 4-ASK – modulation



I princip figur 1.13 ur kursboken

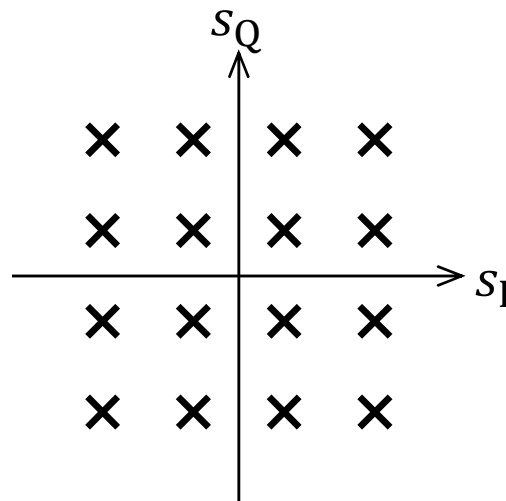
Fler exempel på basbandskonstellationer

4-QAM (4-PSK)



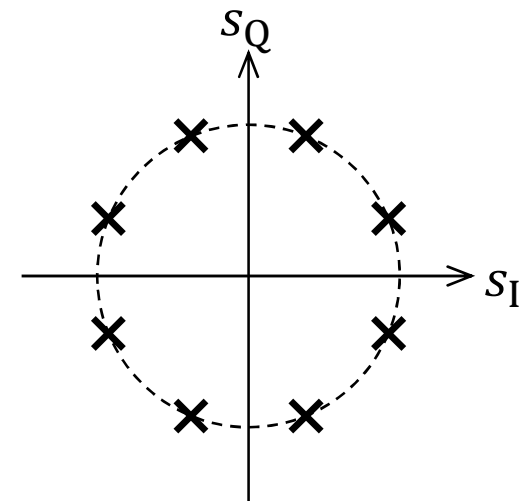
2 bitar/symbol

16-QAM



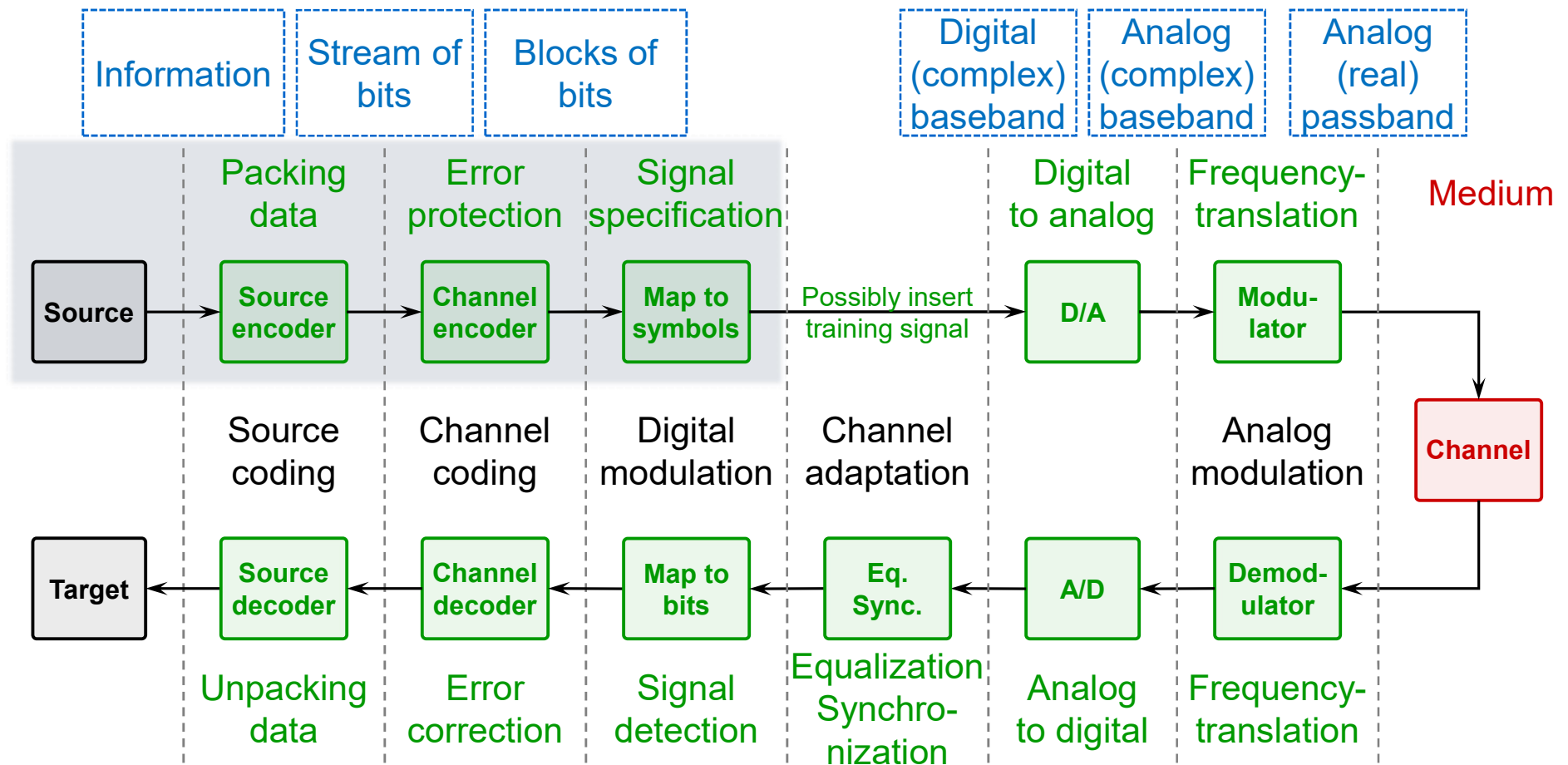
4 bitar/symbol

8-PSK

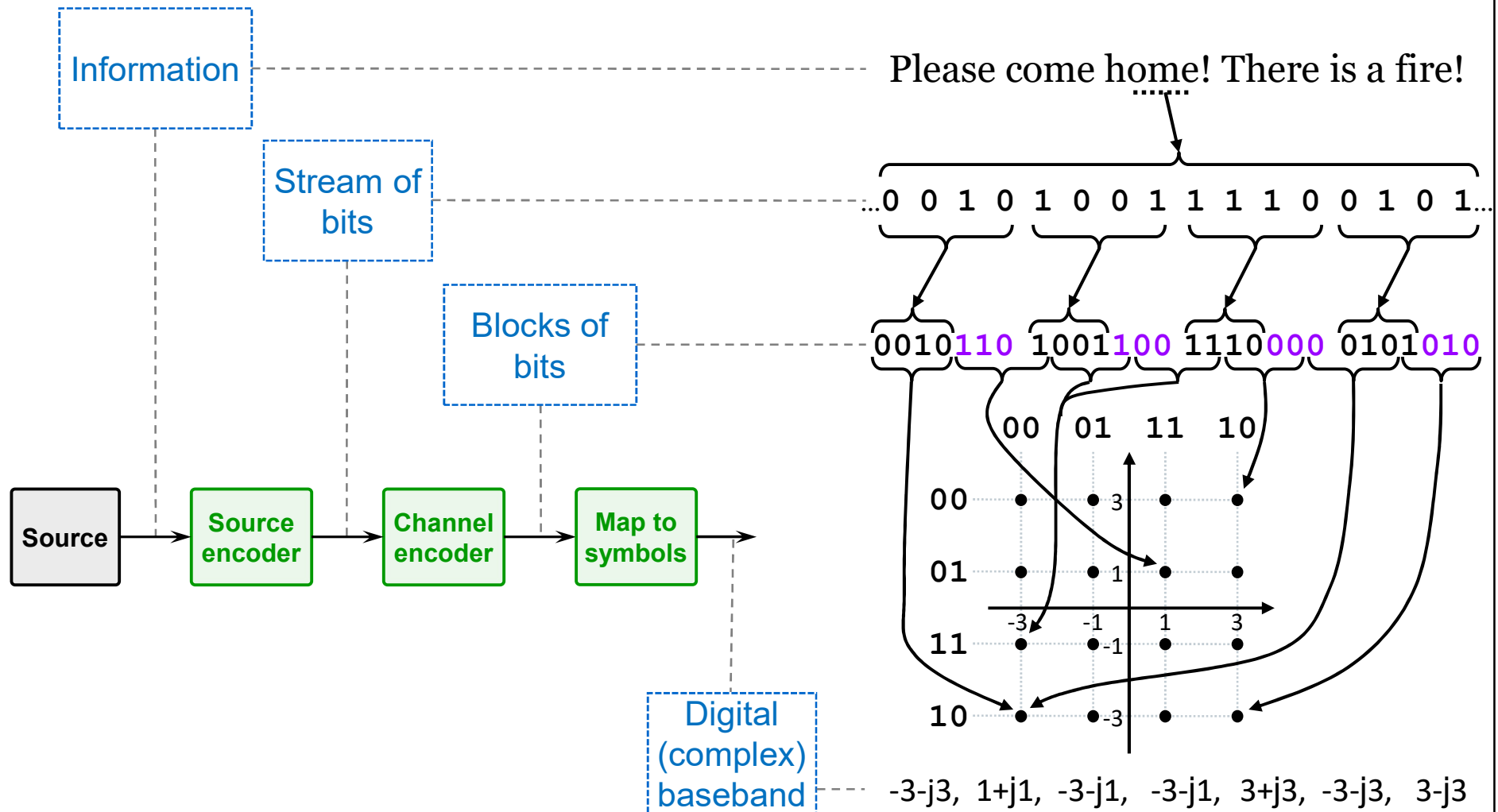


3 bitar/symbol

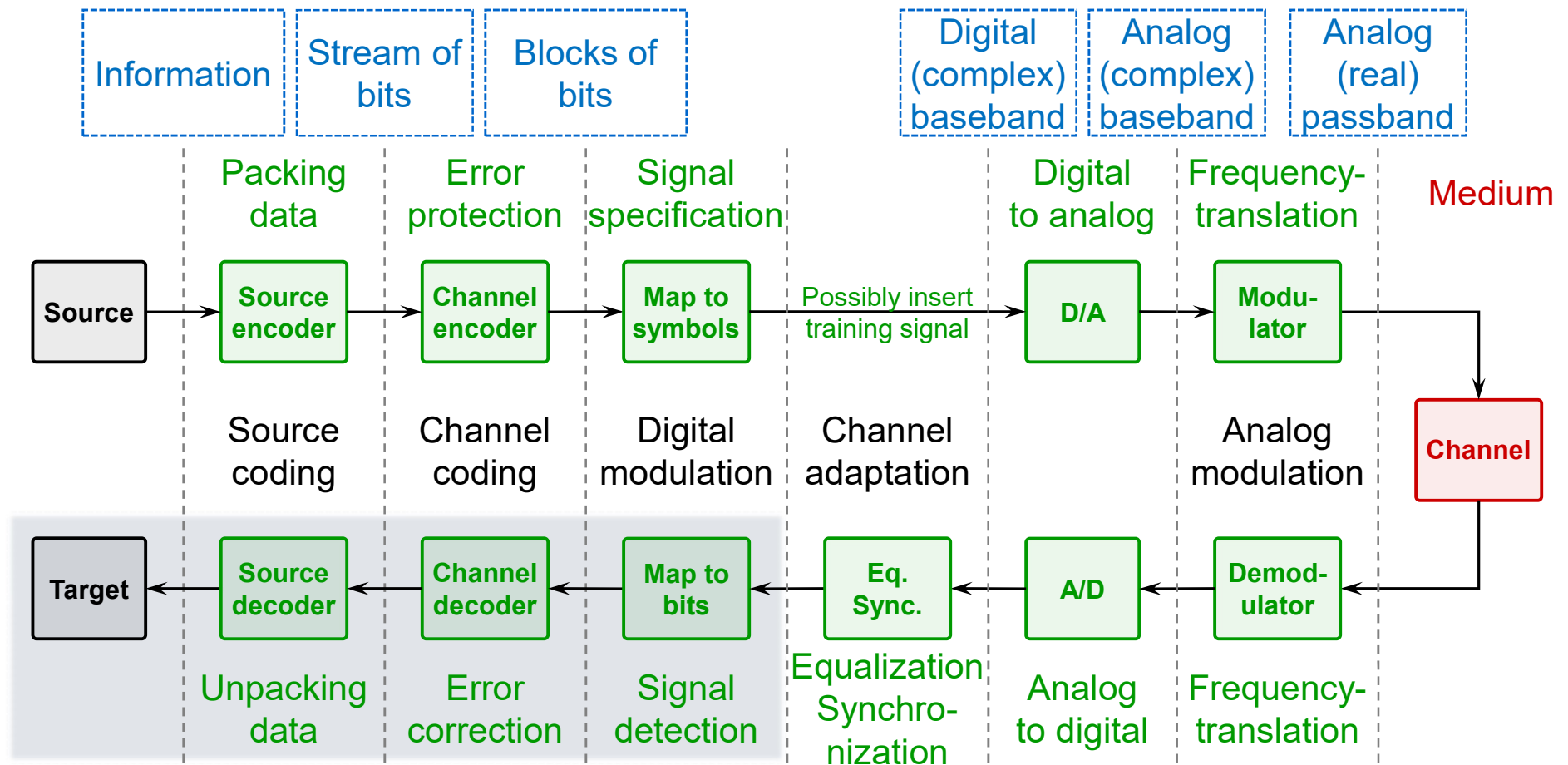
Ett detaljerat kommunikationssystem



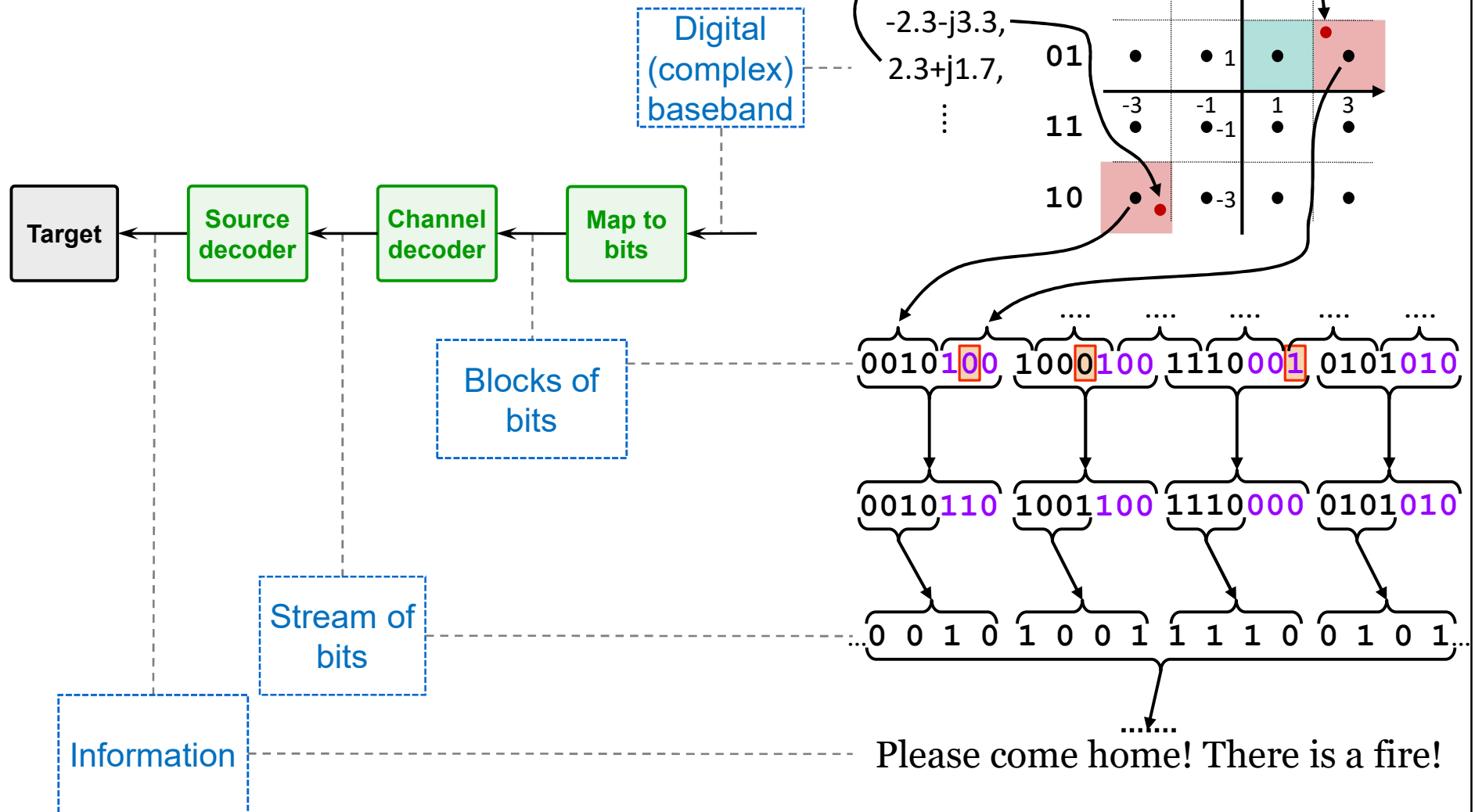
De första blocken



Det detaljerade kommunikationssystemet igen



De sista blocken



Mikael Olofsson
ISY/CommSys

www.liu.se