

# Digital kommunikation

---

Maria Kihl



**LUND**  
UNIVERSITY

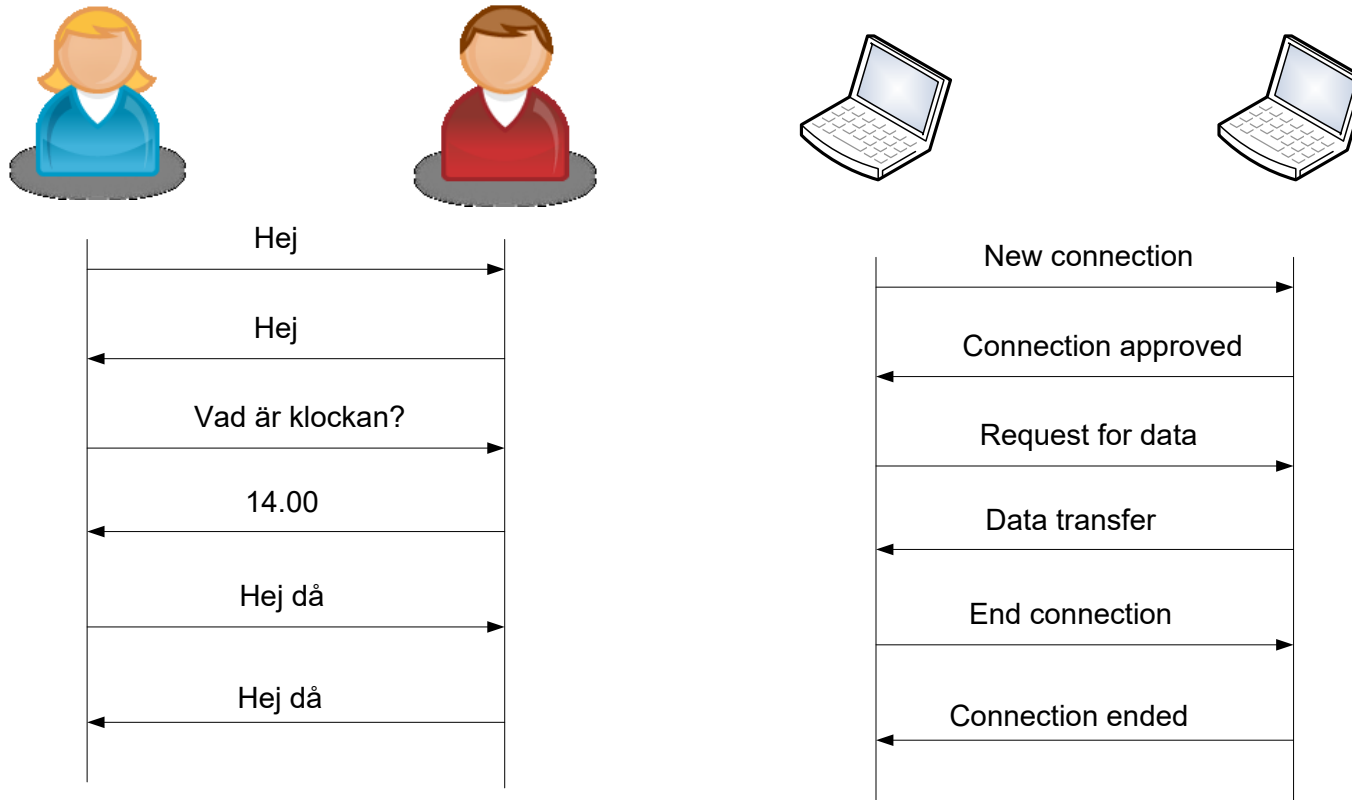
# Läsanvisningar

---

**Kihl & Andersson:** 2.1-2.3, 3.1-2, 3.5-6 (ej CDM)

**Stallings:** 3.1-4, 5.1, 5.2, 5.3, 8.1, 8.2

# Protokoll



När människor kommunicerar använder vi ett *språk*.

Datorer kommunicerar med hjälp av *protokoll*.

# Exempel: HTTP

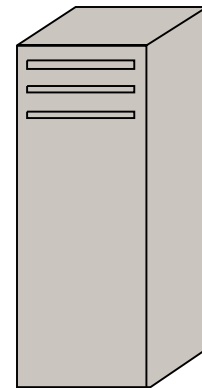
Hyper Text Transfer Protocol = HTTP är ett så kallat applikationsprotokoll.



*HTTP request*

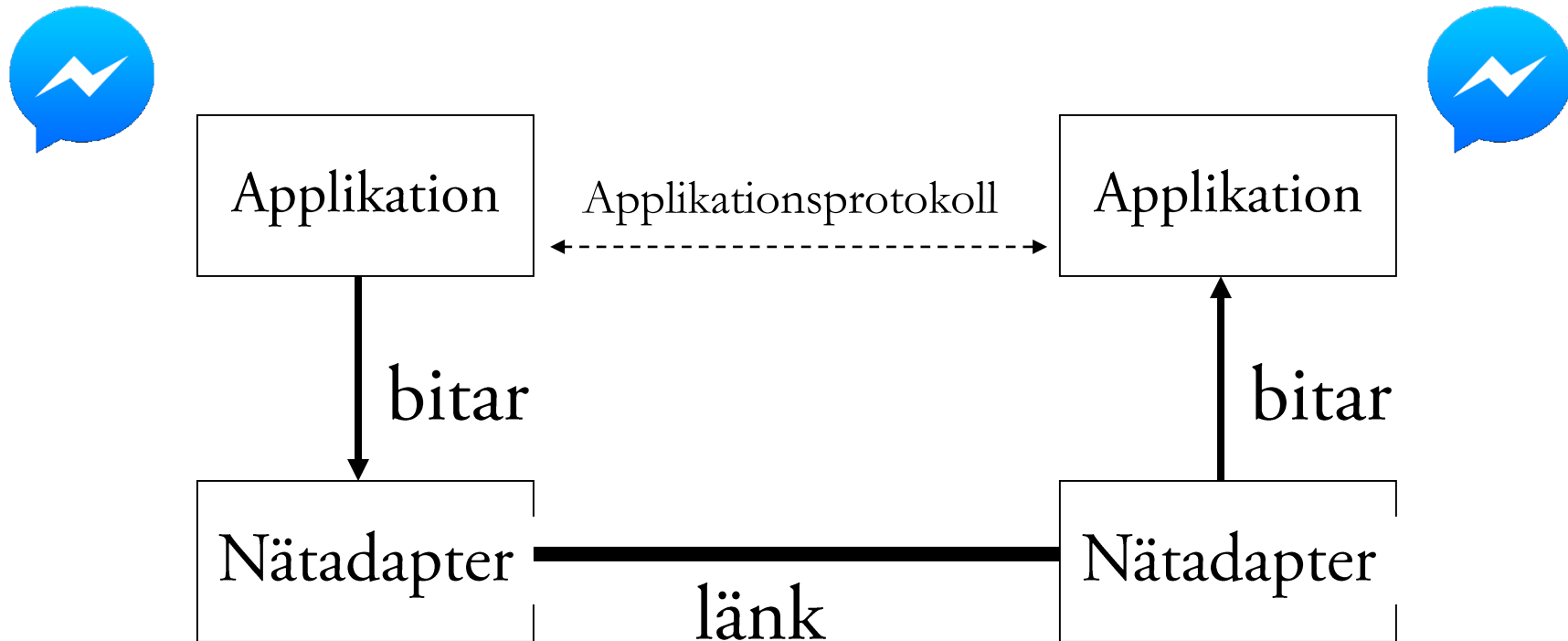


*HTTP reply*



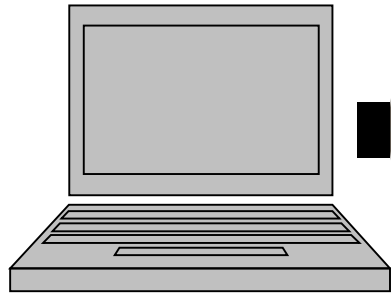
# Enklaste exemplet: Två användare kopplade med en direktlänk

Vi börjar med det enklaste scenariot!



# Digital kommunikation

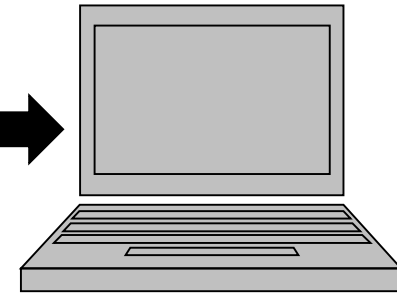
10100101



sändare



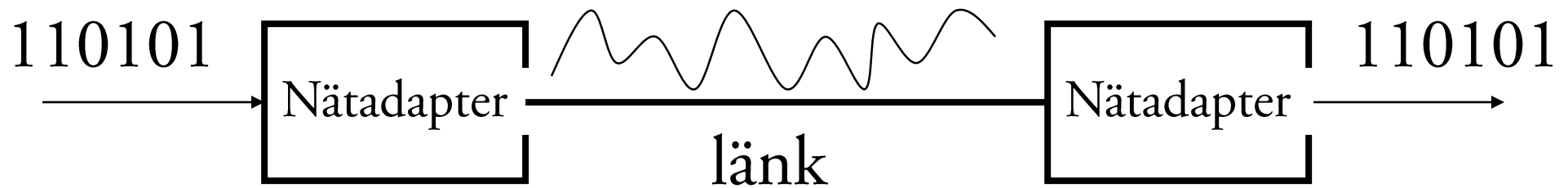
10100101



mottagare

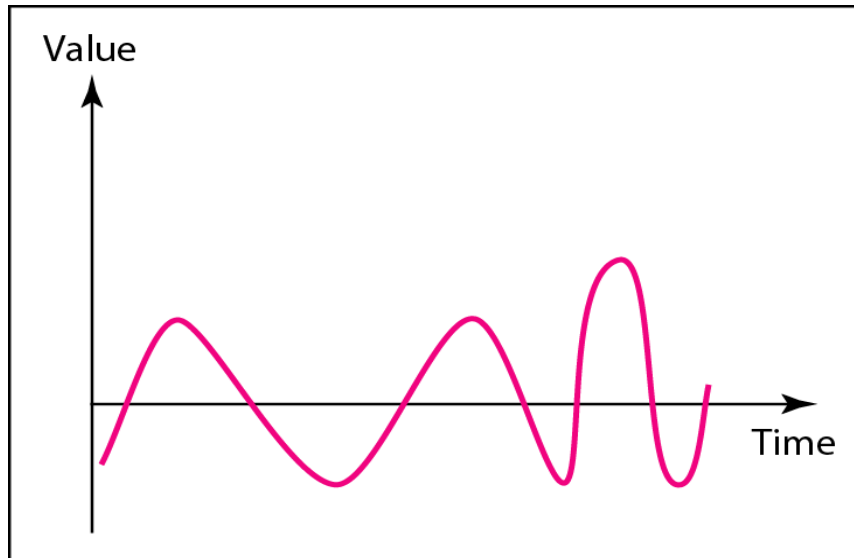
- Digital kommunikation handlar om att skicka digital data över en **länk** med hjälp av **signaler** (elektriska eller optiska). Länken kan vara trådad eller trådlös.
- Data ska kunna tolkas korrekt av mottagaren.

# Signaler

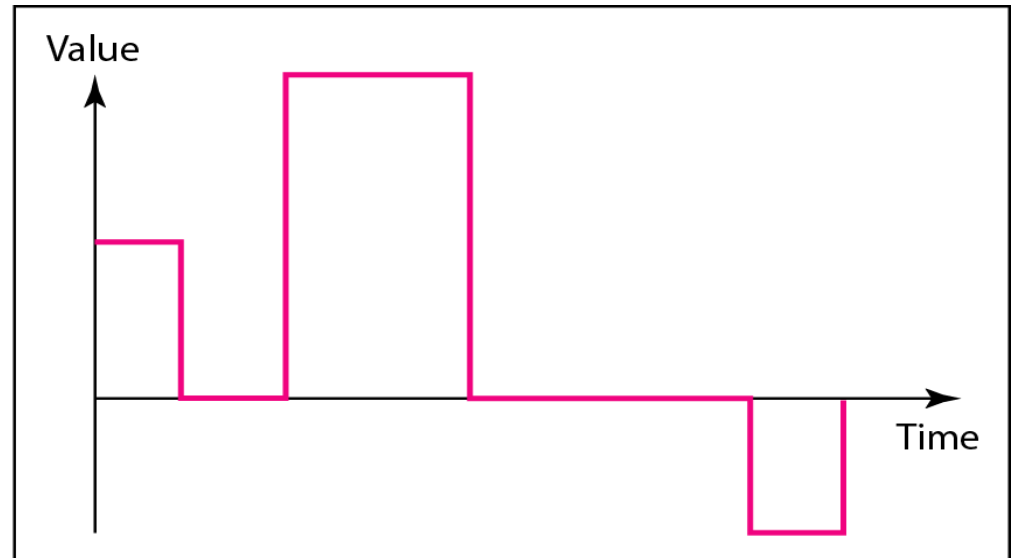


- Digital transmission: Bitarna representeras av digitala signaler.
- Analog transmission: Bitarna representeras av analoga signaler.

# Analoga v. Digitala signaler



a. Analog signal



b. Digital signal



# Protokoll för det fysiska lagret

---

- Sändare och mottagare behöver vara överens om hur signaler på länken ska tolkas.
- Reglerna beskrivs i ett **protokoll**.
- Hur signaler ska skickas över en länk beskrivs i ett **protokoll för det fysiska lagret** (Physical layer protocol)

# Exempel: Morse-koden

## International Morse Code

1. The length of a dot is one unit.
2. A dash is three units.
3. The space between parts of the same letter is one unit.
4. The space between letters is three units.
5. The space between words is seven units.

A	• —	U	• • —
B	— • • •	V	• • • —
C	— • — •	W	• — —
D	— • •	X	— • • —
E	•	Y	— • — —
F	• • — •	Z	— — • •
G	— — •		
H	• • • •		
I	• •		
J	• — — —		
K	— • —	1	• — — — —
L	• — • •	2	• • — — —
M	— —	3	• • • — —
N	— •	4	• • • • —
O	— — —	5	• • • • •
P	• — — •	6	— • • • •
Q	— — • —	7	— — • • •
R	• — •	8	— — — • •
S	• • •	9	— — — — •
T	—	0	— — — — —

# Frekvensband

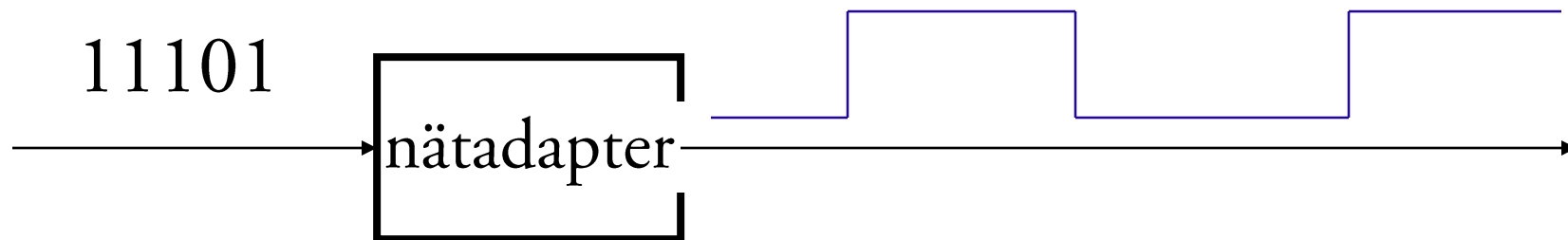


All dataöverföring sker på ett visst frekvensband, en så kallad *kanal*.

En fysisk länk kan delas in i flera *logiska kanaler* med olika frekvensband.

# Digital transmission

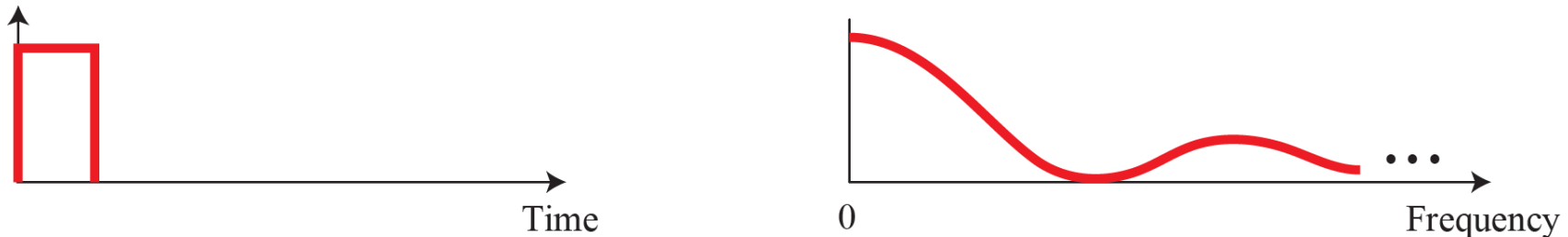
Om en kanal har nedre frekvensen 0 Hz så kan bitarna skickas genom att använda olika spänningsnivåer, så kallad *linjekodning*.



Mottagaren läser av amplitudnivån och tolkar signalen.

# Digitala signaler

Digitala signaler är egentligen analoga signaler med ”oändlig” bandbredd:



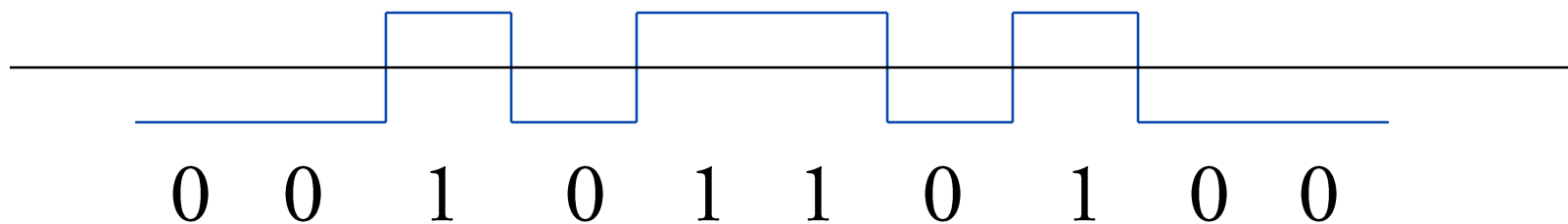
b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

(I verkligheten är det en begränsad bandbredd vilket kommer att medföra en störning i signalen)

# Non-return to zero (NRZ)

Nolla = låg spänningsnivå

Etta = hög spänningsnivå

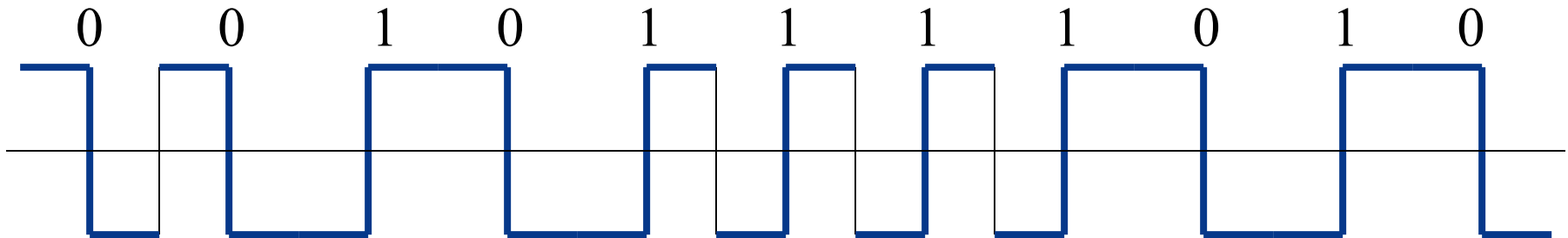


Synkroniseringsproblem!

# Manchester

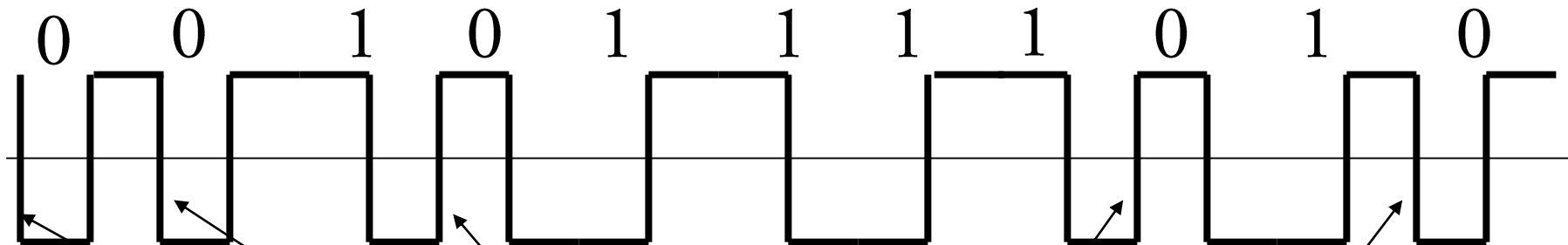
Kombinerar NRZ och en klockpuls.

Inga problem med synkronisering.



Signalfrekvensen är dubbelt så hög jämfört med NRZ.

# Differential Manchester



En övergång i början av ett intervall betyder en nolla.



# Det finns även mer avancerade linjekoder, tex 3B/4B

Input		RD = -1	RD = +1	Input		RD = -1	RD = +1
	HGF	fghj			HGF	fghj	
D.x.0	000	1011	0100	K.x.0	000	1011	0100
D.x.1	001	1001		K.x.1 ‡	001	0110	1001
D.x.2	010	0101		K.x.2 ‡	010	1010	0101
D.x.3	011	1100	0011	K.x.3 ‡	011	1100	0011
D.x.4	100	1101	0010	K.x.4	100	1101	0010
D.x.5	101	1010		K.x.5 ‡	101	0101	1010
D.x.6	110	0110		K.x.6 ‡	110	1001	0110
D.x.P7 †	111	1110	0001				
D.x.A7 †	111	0111	1000	K.x.7 †	111	0111	1000

3B/4B kodar tre bitar till 4 på ett sätt så att det blir en balans mellan 1:or och 0:or. Bitarna kan sen skickas med NRZ (3B/4B används som en del i 8B/10B).



# Analog transmission

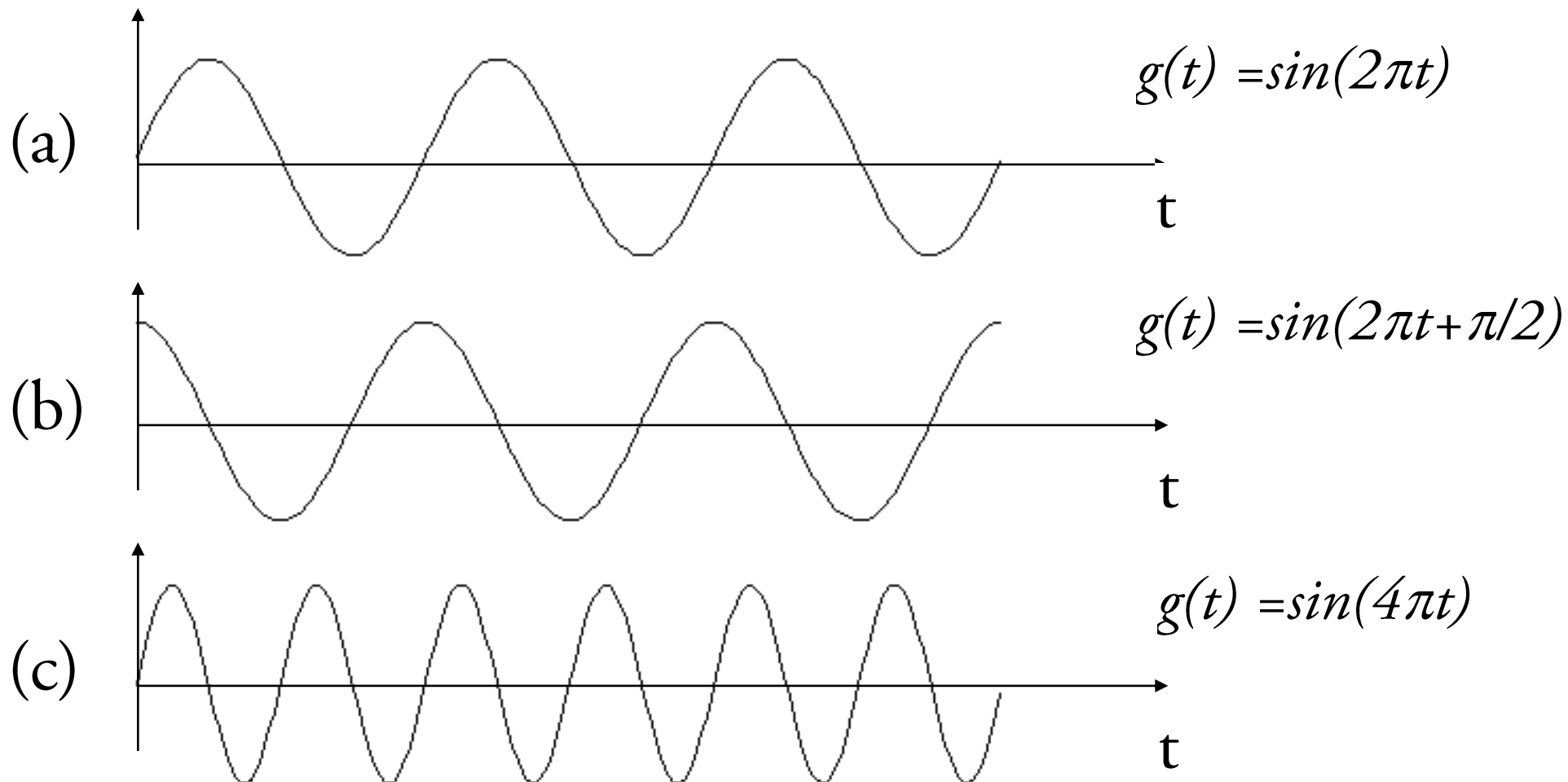
Om länken har flera frekvenskanaler så skickas bitar genom att använda *modulering*.

Bitarna representeras av en sinusvåg som är olika beroende på om det är en etta eller nolla som skickas.

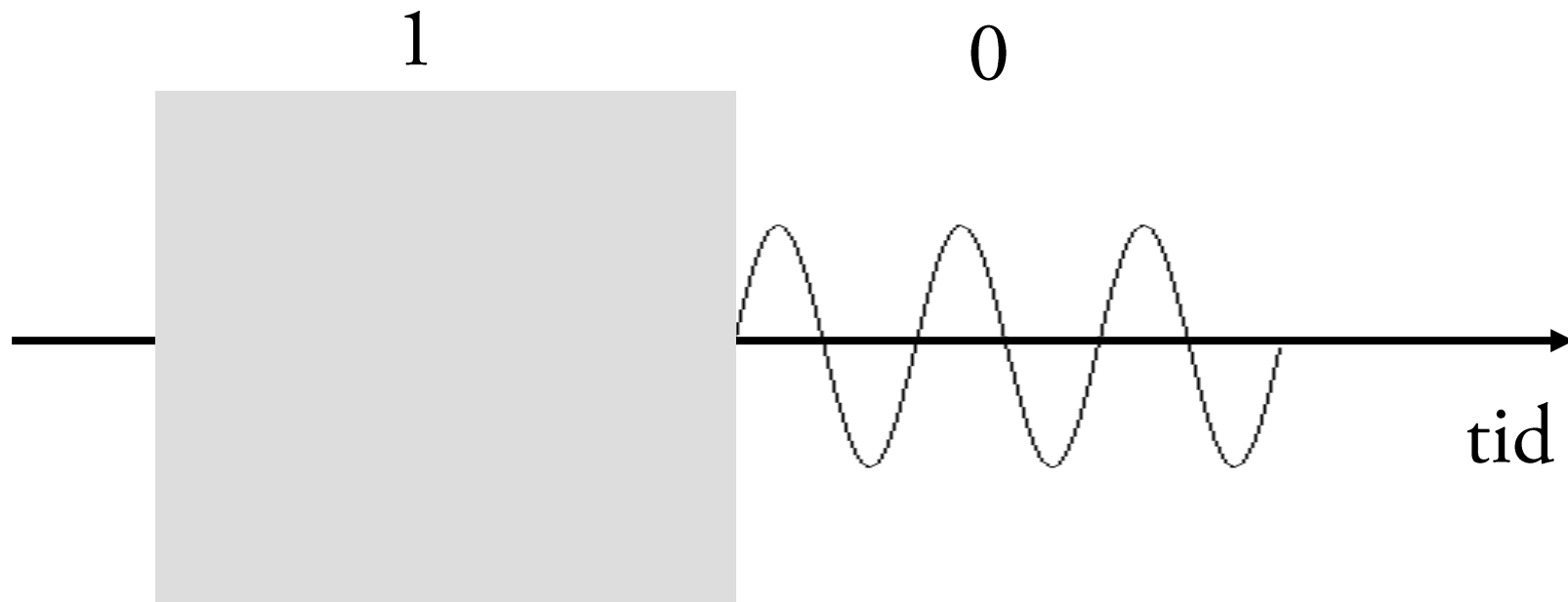
Sinusvåg:  $g(t) = A * \sin(2\pi ft + p)$

Grundfrekvensen i sinusvågen utgör den så kallade *bärfrekvensen*.

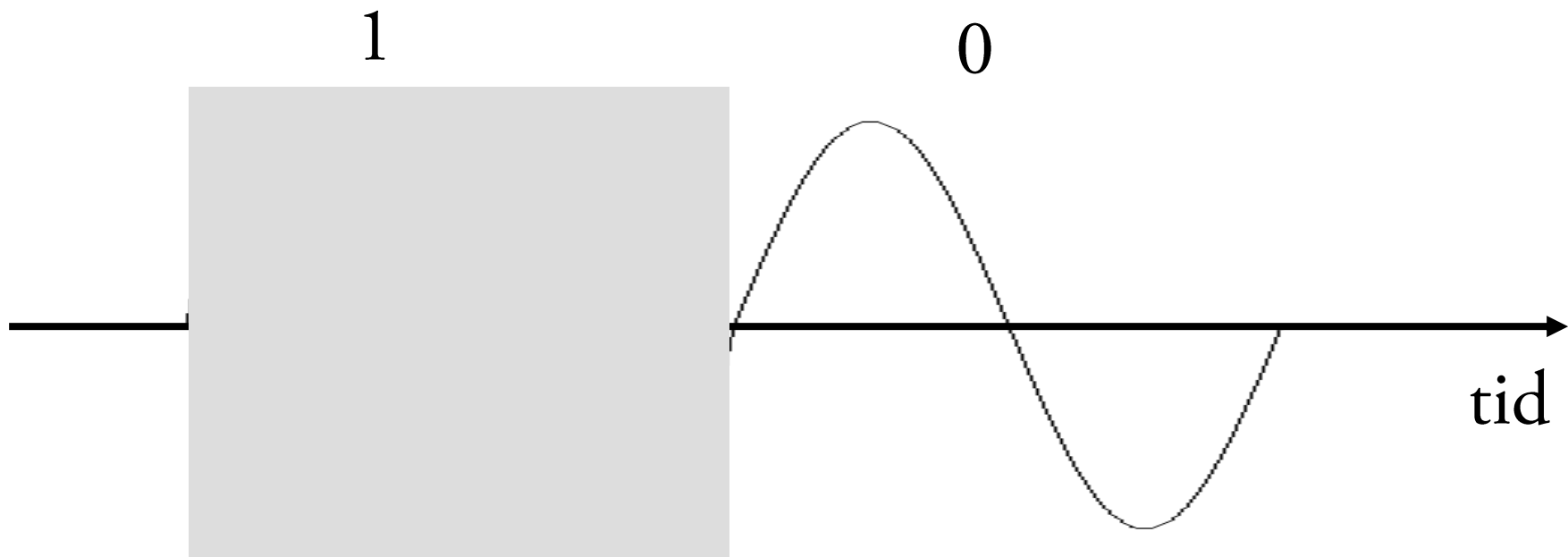
# Exempel: Sinusvågor



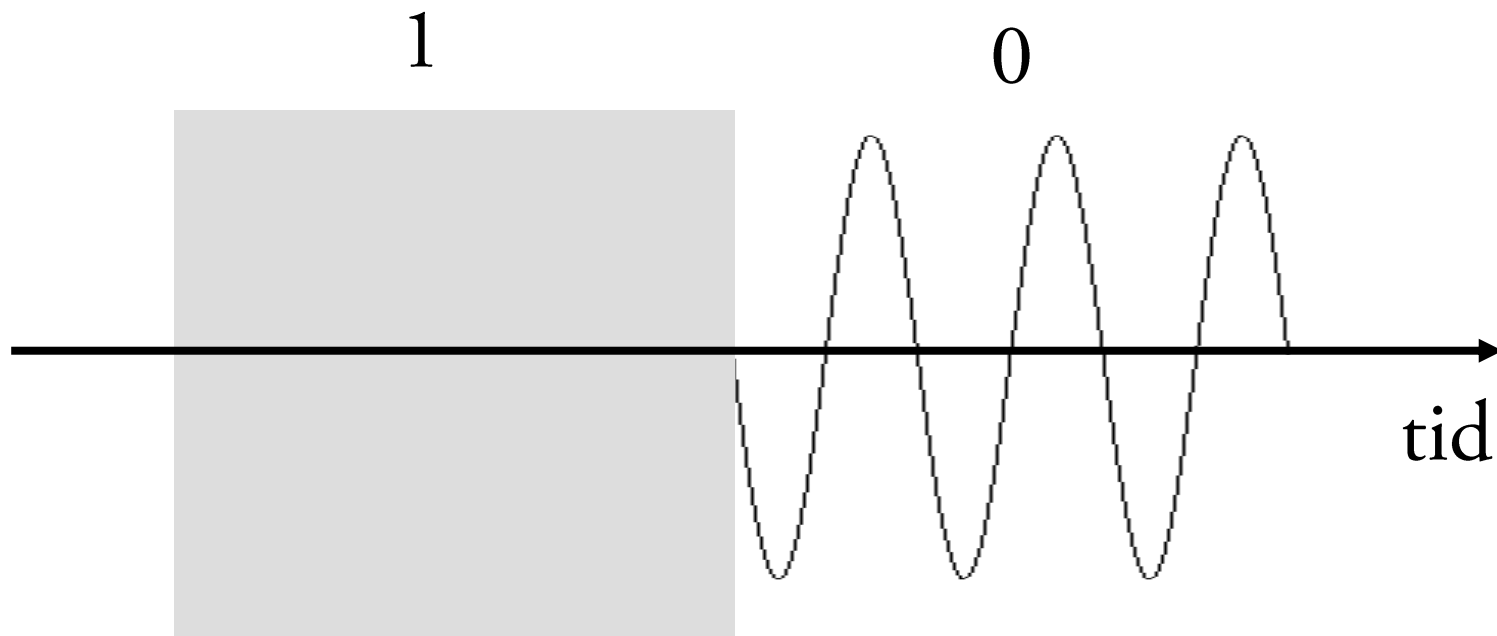
# Amplitudmodulering



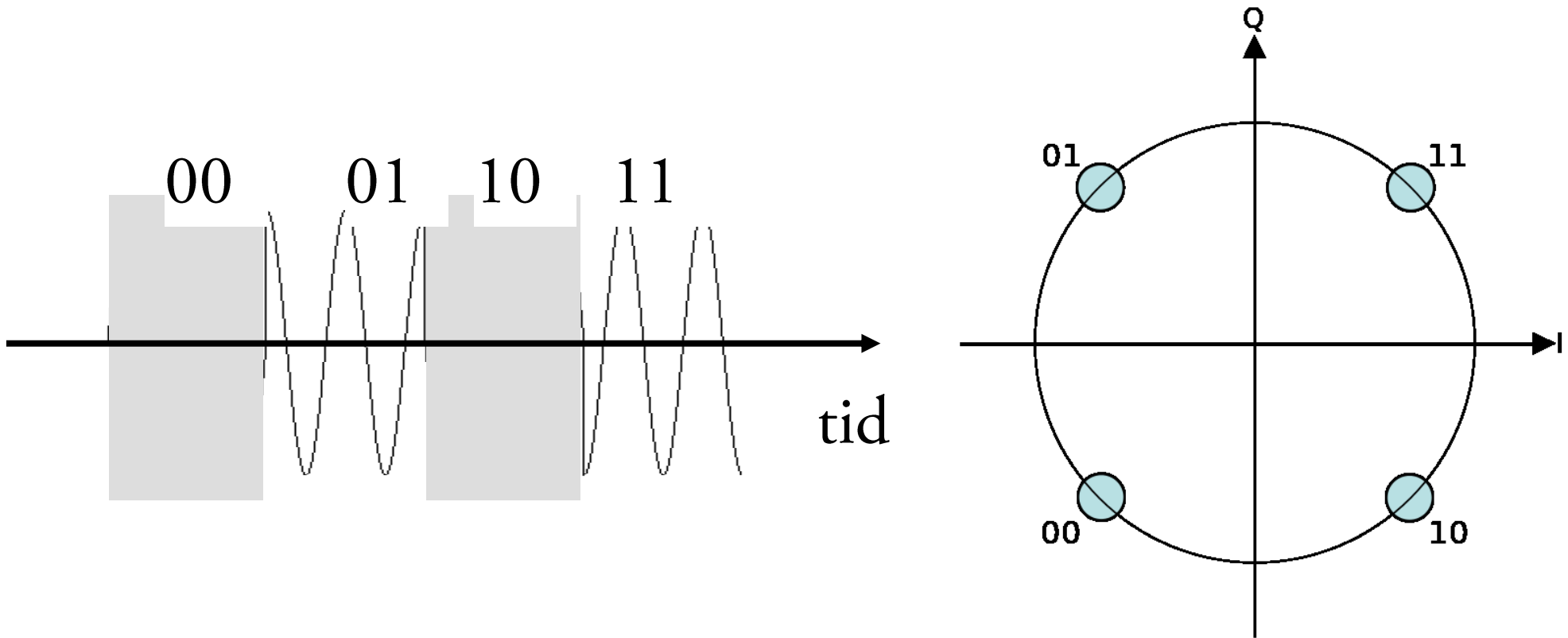
# Frekvensmodulering



# Fasmodulering: 2-PSK (BPSK)



# Fasmodulering: 4-PSK (QPSK)





# Exempel: Modulering i mobilnät

---

UMTS använder olika varianter av fasmodulering (PSK)

<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/umts/umts-wcdma-modulation.php>

LTE (4G) använder OFDM som också moduleras med olika varianter av PSK.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency\\_division\\_multiplexing](http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency_division_multiplexing)

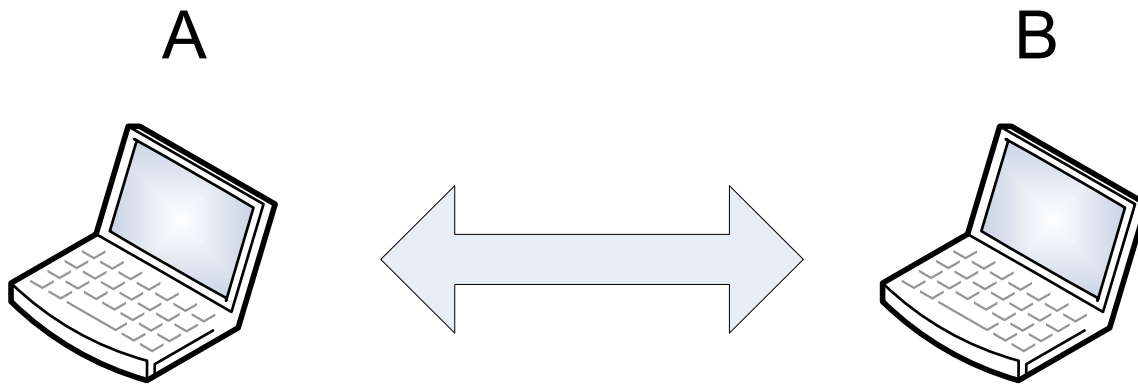
# Tentaexempel: Modulering

---

Koda bitsekvensen 1001001 med hjälp av  
Frekvensmodulering!

Tips: Definiera först hur du kodar 0 och 1.

# Dataöverföring på en länk



Två datorer kommunicerar över en länk.

Länken består av ett **utbredningsmedium**.

# Utbredningsmedia

---

Några olika utbredningsmedia:

- Tvinnad parakabel
- Koaxialkabel
- Optisk fiber
- Rymden

# Länkens kapacitet

- En länk kan överföra data med en viss hastighet, som anges i **bitar per sekund (bps)**.
- Ett annat mått på länkens kapacitet är **bandbredd**. Analog definition på bandbredd är den högsta och lägsta frekvens som får finnas i en signal som skickas på länken.
- **Hög bandbredd => Hög maximal transmissionshastighet.**  
(Men man pratar oftast om bandbredd som antalet bitar per sekund)

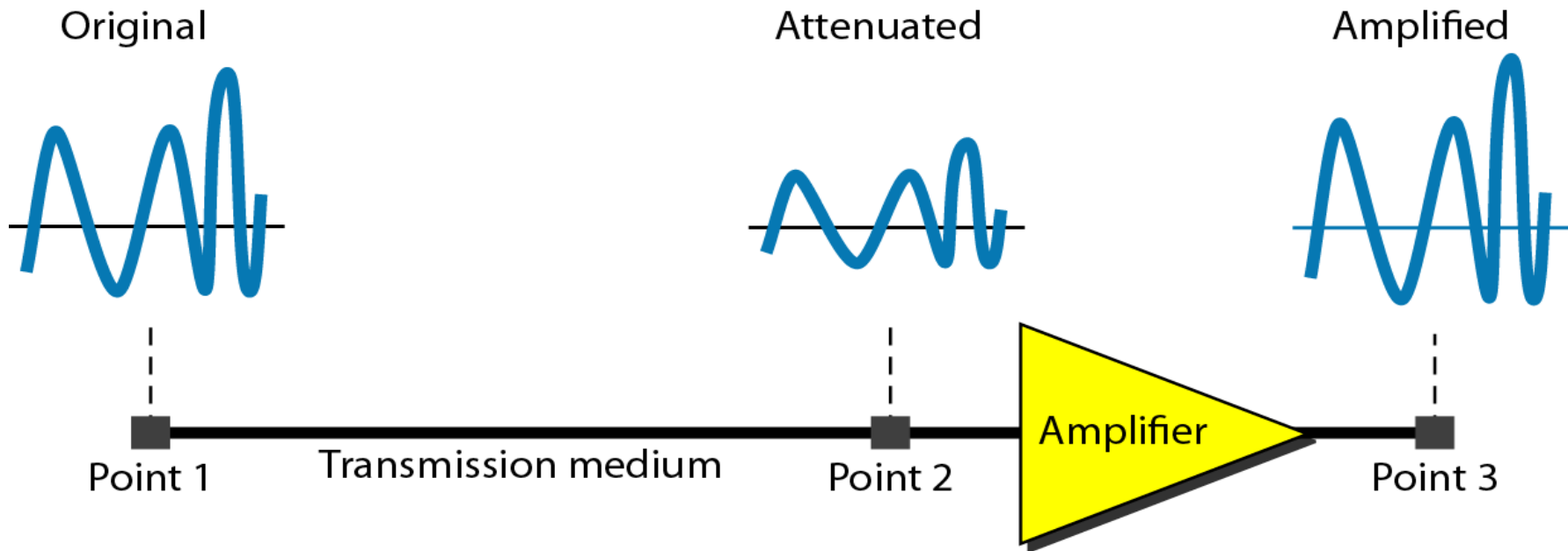
# Signalkvalitet

När en signal skickas över en länk kommer den att tappa signalkvalitet pga olika störningar (transmission impairments)

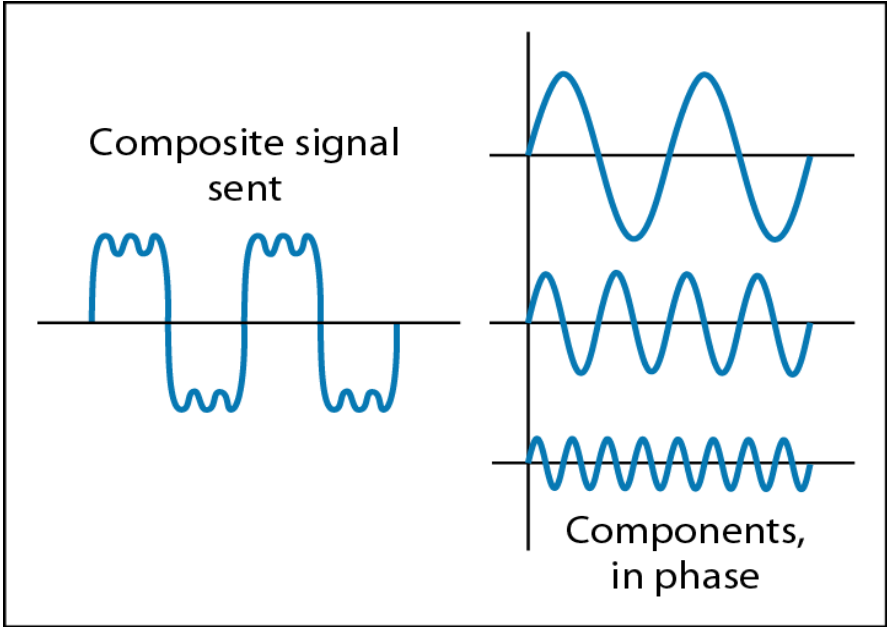
- Dämpning (attenuation): Minskad signalenergi
- Distortion: Ändrad signalform
- Brus (noise): Signalen förstörs av tex överhörning och interferens.

$$\text{Signal-to-noise ratio (SNR)} = \frac{\text{Signalens medeleffekt}}{\text{Brusets medeleffekt}}$$

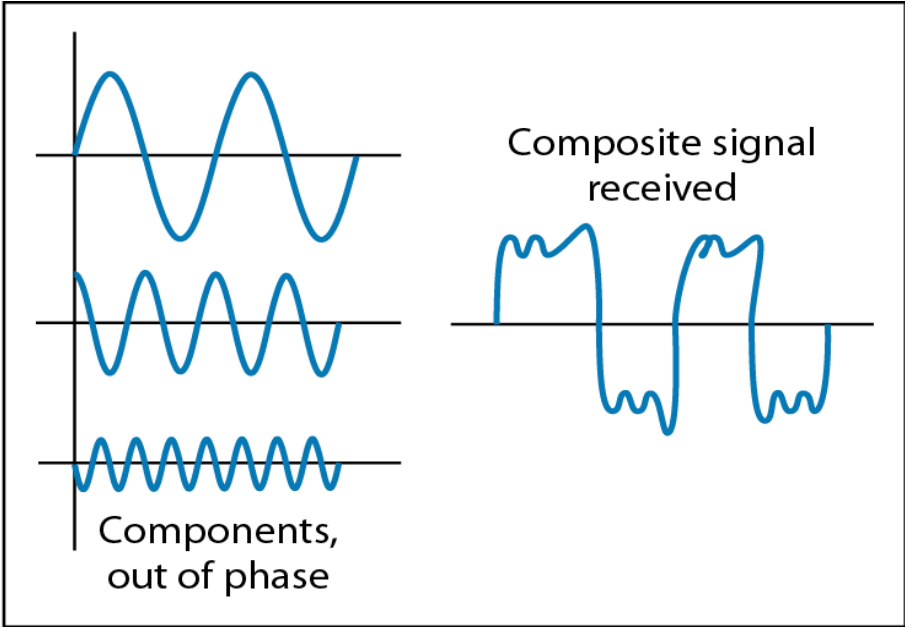
# Exempel: Dämpning



# Exempel: Distortion



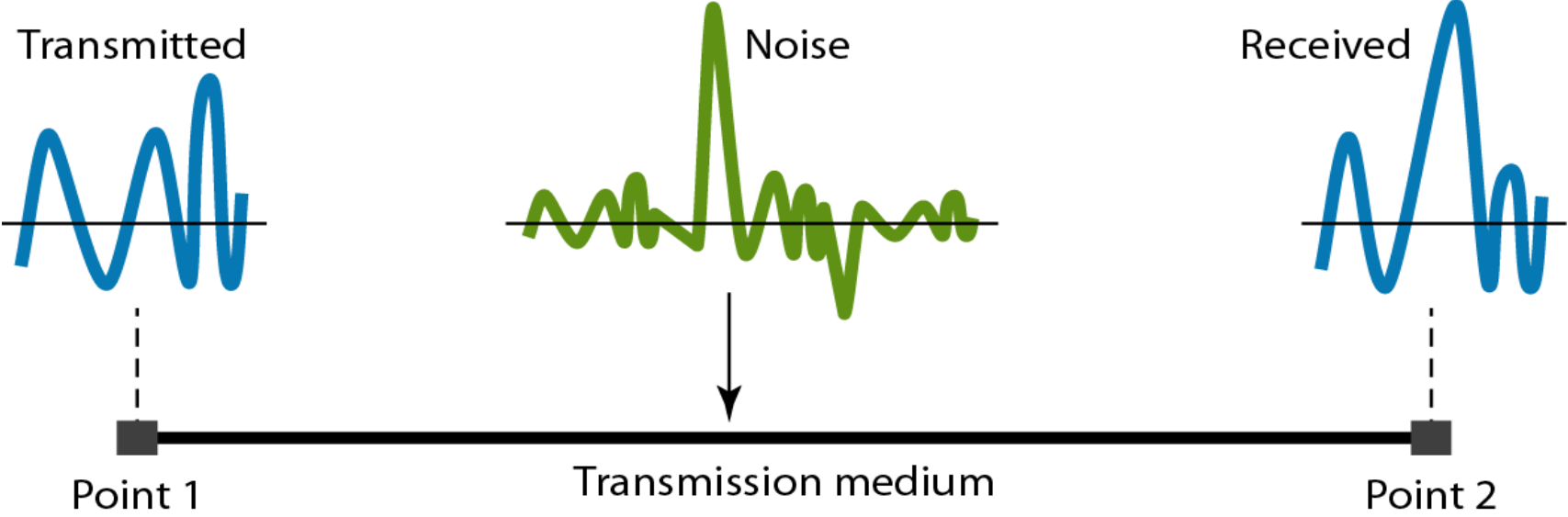
At the sender



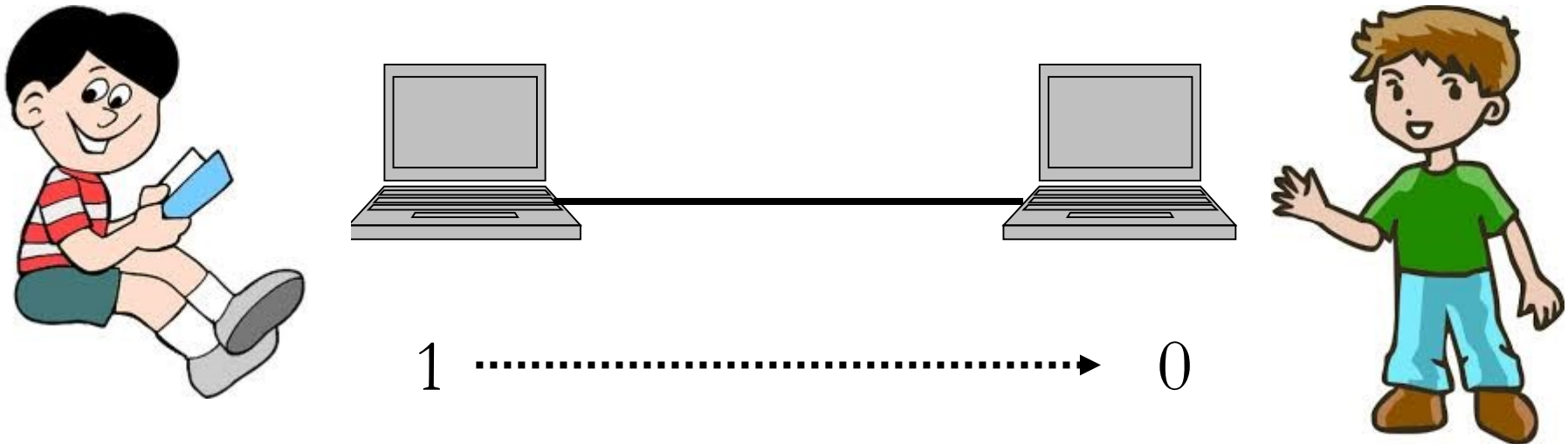
At the receiver



# Exempel: Brus

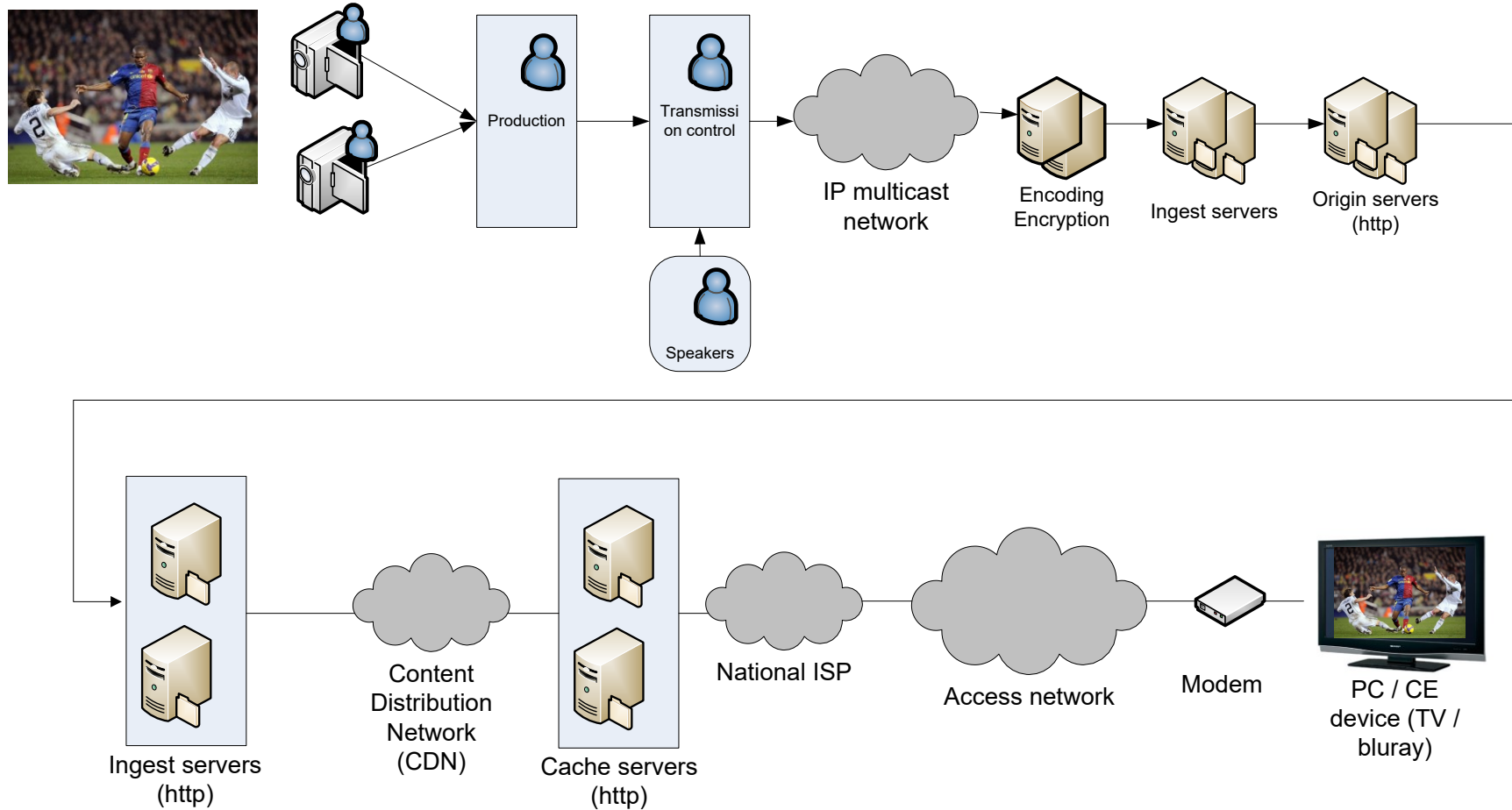


# Bitfelsfrekvens (bit error rate)



Om signalkvaliteten är för dålig kan mottagaren tolka bitarna fel. **Bitfelsfrekvensen** är medelantalet feltolkade bitar per sekund.

# Information till binär data?

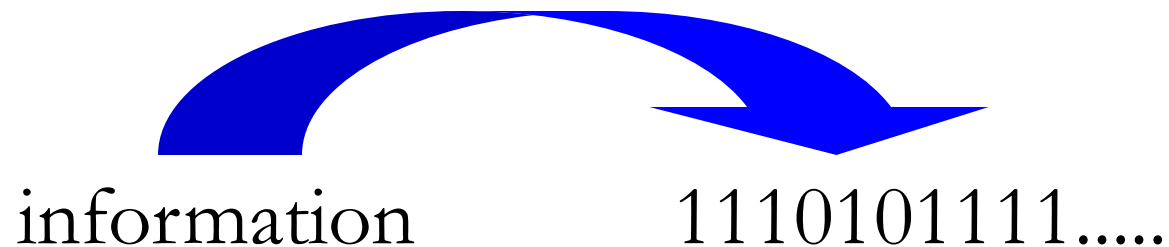


# Information och binärdata

---

Information = text, ljud, bilder och video i en form som vi människor kan förstå (oftast analog).

Binärdata = text, ljud, bilder och video i en form som datorer kan förstå (oftast digital).



# Från information till binärdata

---

- Text, ljud och bilder måste omvandlas till binärdata.
- Detta kallas för *digitalisering*.
- Idé: *Diskretisera* informationen, dvs omvandla den till ett begränsat antal värden.
- Varje värde kan sedan representeras av ett binärt tal.

# Från text till binärdata

---

Text består av bokstäver, siffror och symboler.

Text är redan diskret information!!

Ett sätt att omvandla text till binär data är ASCII.

Exempel: A=1000001

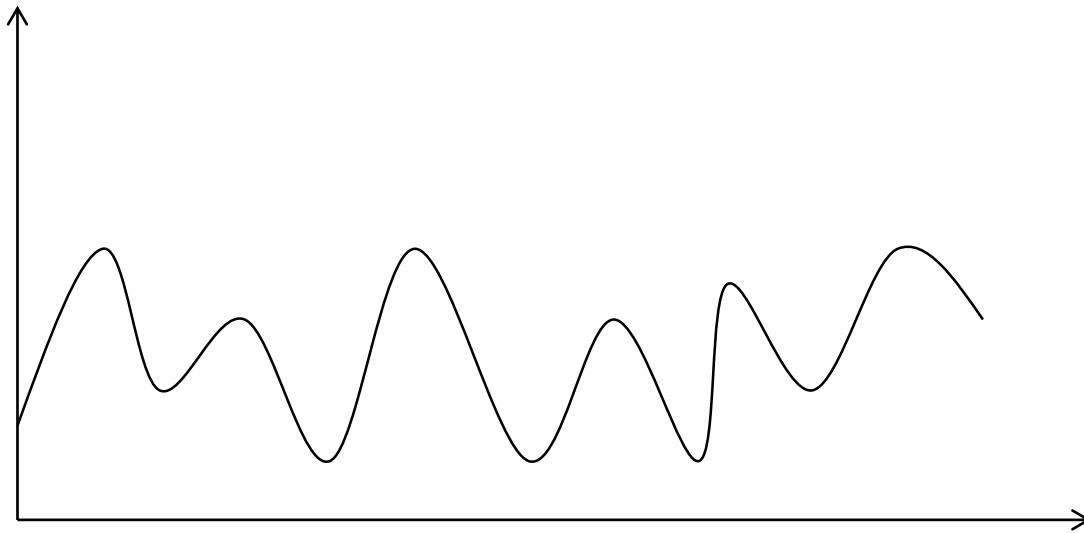
# Exempel: ASCII-tabellen

## ASCII TABLE

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	Ⓐ	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[END OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	::	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	::	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

# Från ljud till binärdata

Ljud kan ses som en signal som varierar i amplitud.



Ljud måste alltså diskretiseras.



# Digitalisering av ljud

---

Omvandling av ljud till binär data sker i tre steg:

1. Sampling
2. Kvantisering
3. Kodning

Detta kallas för **Pulse Code Modulation (PCM)**.

# Sampling

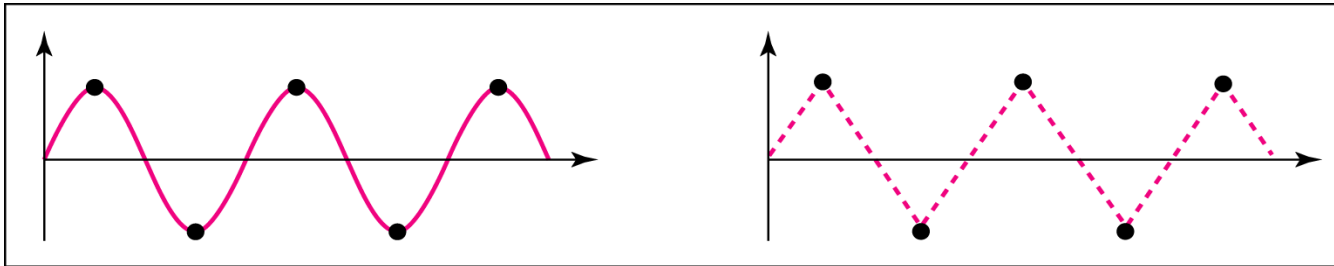
---

Att sampla en signal innebär att man mäter på den vid vissa tidpunkter.

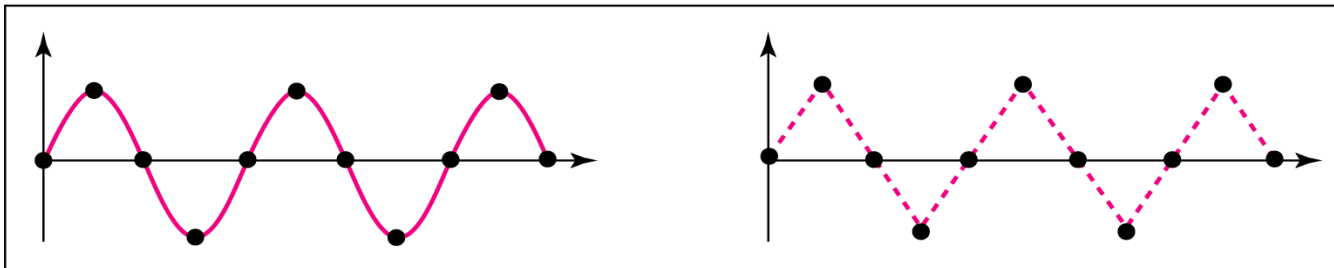
En signal består av ett antal frekvenser.

Om högsta frekvensen är  $N$  Hz, måste man sampla med frekvensen  $2N$  Hz.

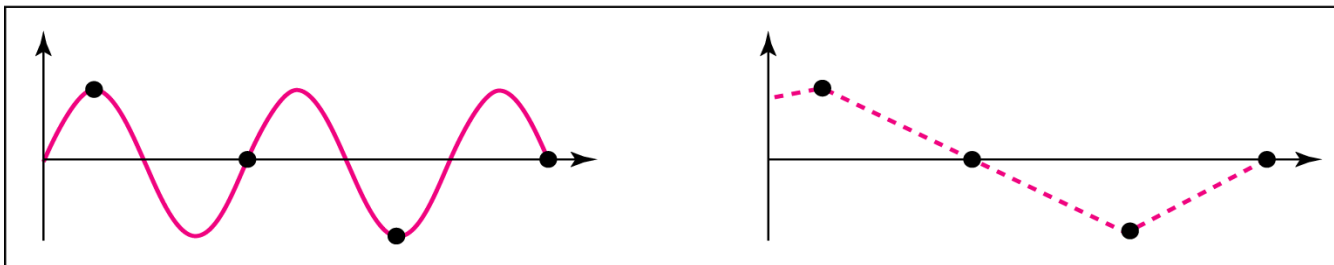
# Exempel: Effekt av samplingstakt



a. Nyquist rate sampling:  $f_s = 2 f$



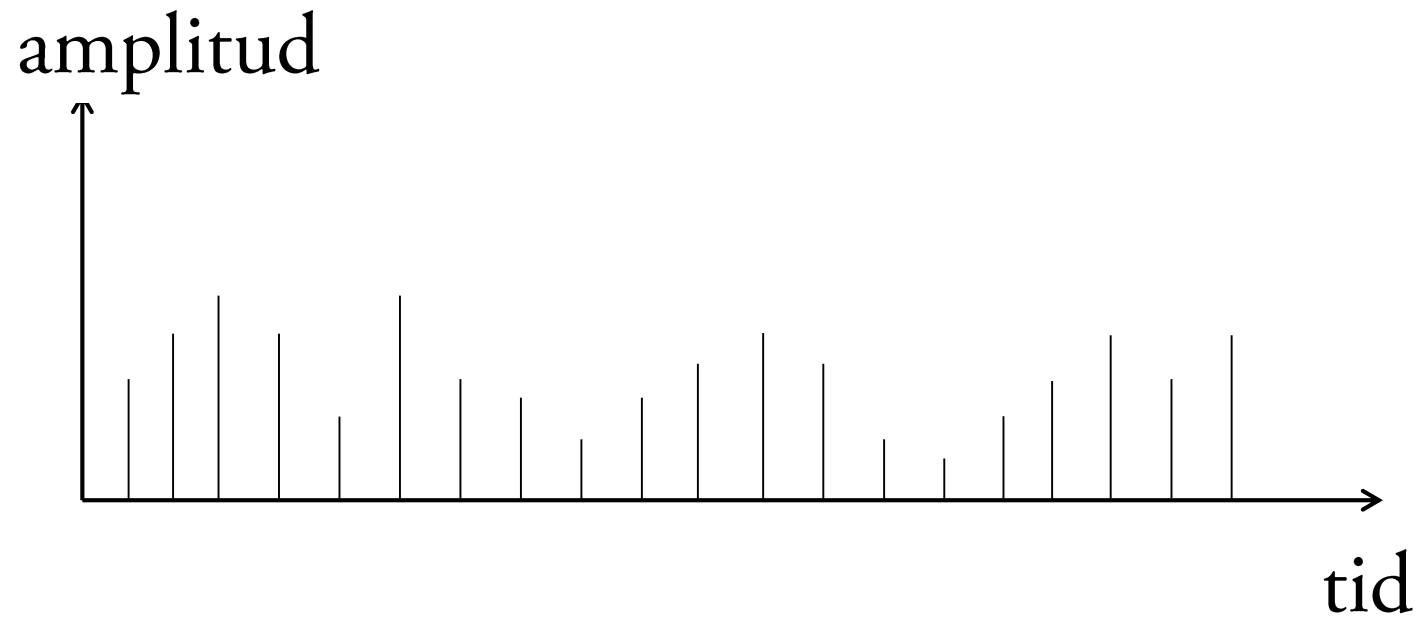
b. Oversampling:  $f_s = 4 f$



c. Undersampling:  $f_s = f$

# Exempel: En samplad signal

---



# Kvantisering

---

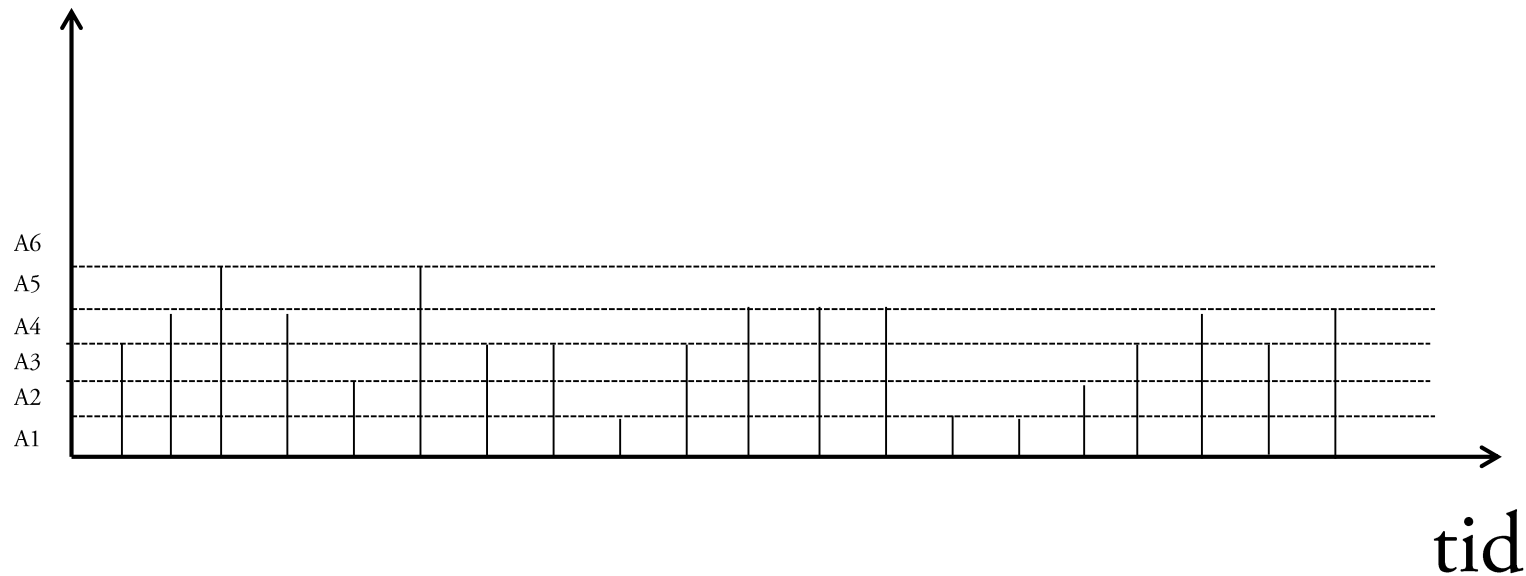
Kvantisering innebär att man avrundar de samplade mätvärdena till ett begränsat antal amplitudnivåer.

Antalet amplitudnivåer bestämmer hur många bitar som behövs för att representera signalen.

Exempel: 256 nivåer kräver 8 bitar ( $2^8=256$ ).

# Exempel: Kvantisering av en samplad signal

amplitud



# Hur många amplitudnivåer?

---

Antalet amplitudnivåer beror på hur bra ljudet skall bli när vi återskaper det.

Telefoni: 8 bitar = 256 nivåer.

CD: 16 bitar = 65.536 nivåer

# Exempel: Bithastighet för telefoni

- Analog signal i frekvensbandet 0 - 4kHz.
- Nyquist-teoremet medför att samplingsfrekvensen blir 8 kHz = 8000 sampel per sekund.
- 8-bitars kodning av varje sampel.



Bithastigheten blir 64 kbitar per sekund



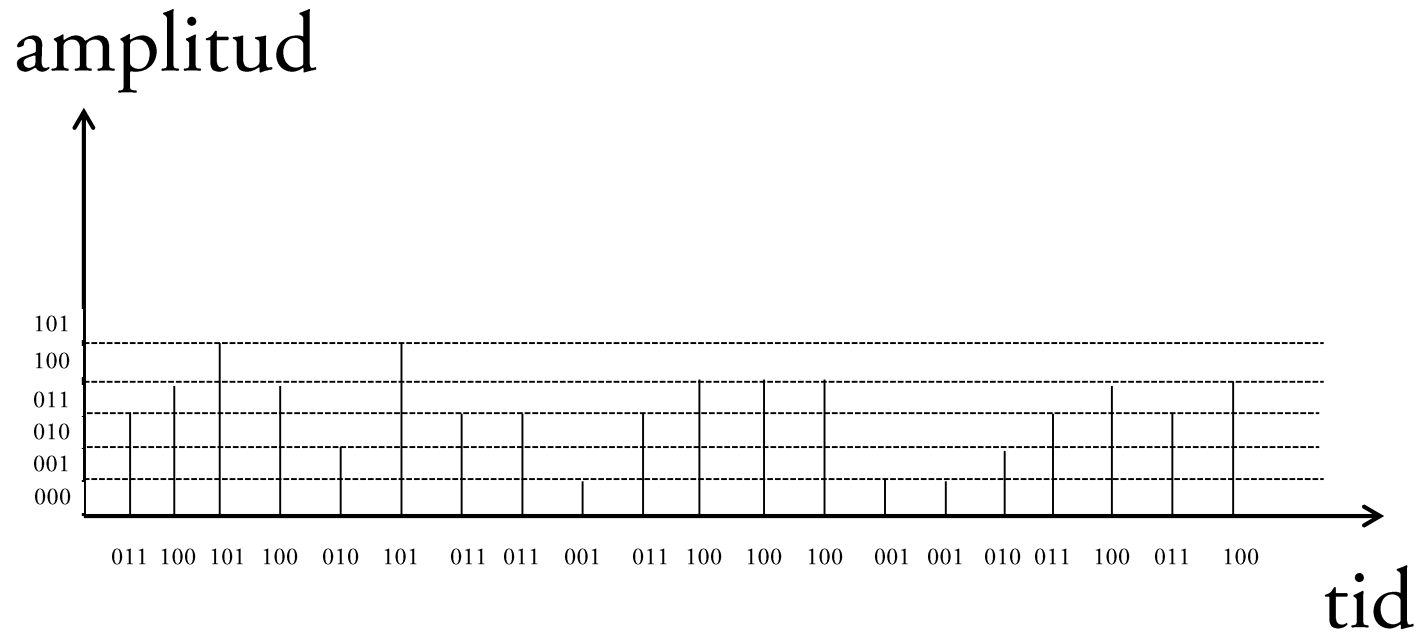
# Kodning

---

Alla avrundade mätvärden kodas till binära tal.

Resultatet blir en följd av binära tal som kan lagras i datorn!

# Exempel: 3-bitars kodning av en signal



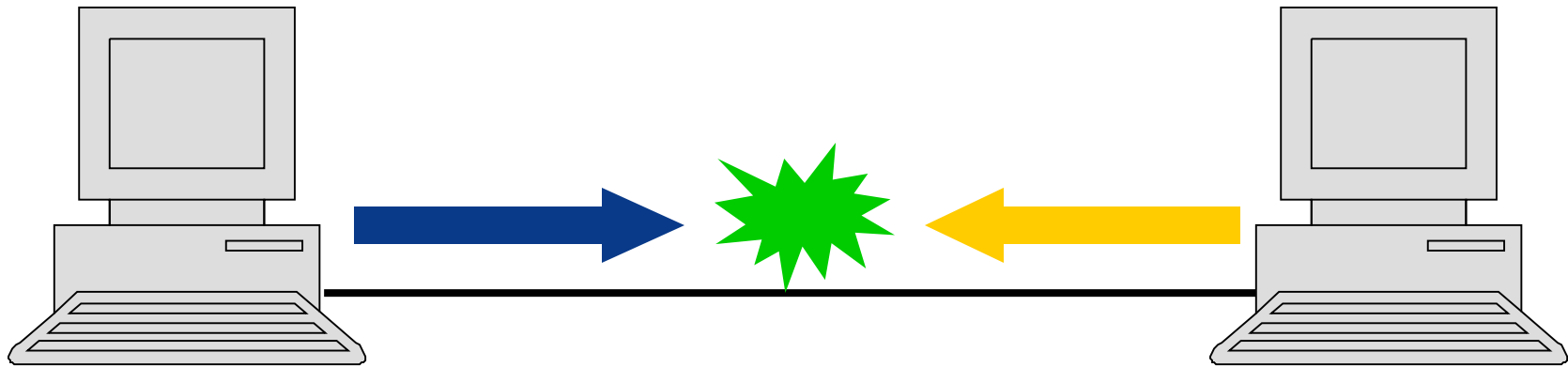
# Tentaexempel: PCM

---

Anta att en ljudsignal använder frekvensområdet 0-10 kHz. Förklara hur denna ljudsignal kan kodas med 6 bitars datasegment på ett sätt som gör att mottagaren kan återskapa signalen korrekt.

Vad blir den minsta bithastigheten?

# Multiplexering



Två datorer som skall skicka data över en länk får ej skicka samtidigt på samma frekvensband eftersom signalerna då överlagras och förstörs.

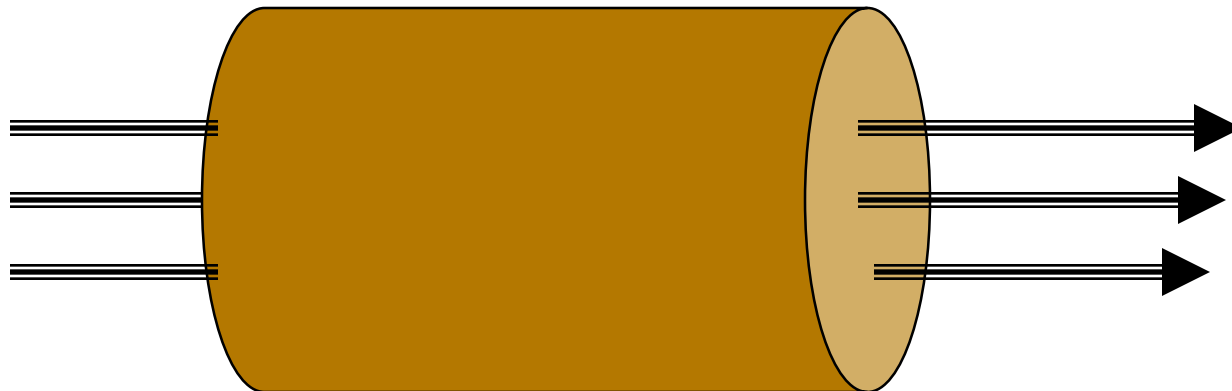
# Dataöverföring

---

- Simplex:
  - ◆ Endast en sändningsriktning är möjlig.
- Halv duplex:
  - ◆ Överföring i båda riktningarna, men inte samtidigt.
- Full duplex:
  - ◆ Båda sändningsriktningarna samtidigt.
  - ◆ Kräver uppdelning i två kanaler, där varje dator har en kanal.

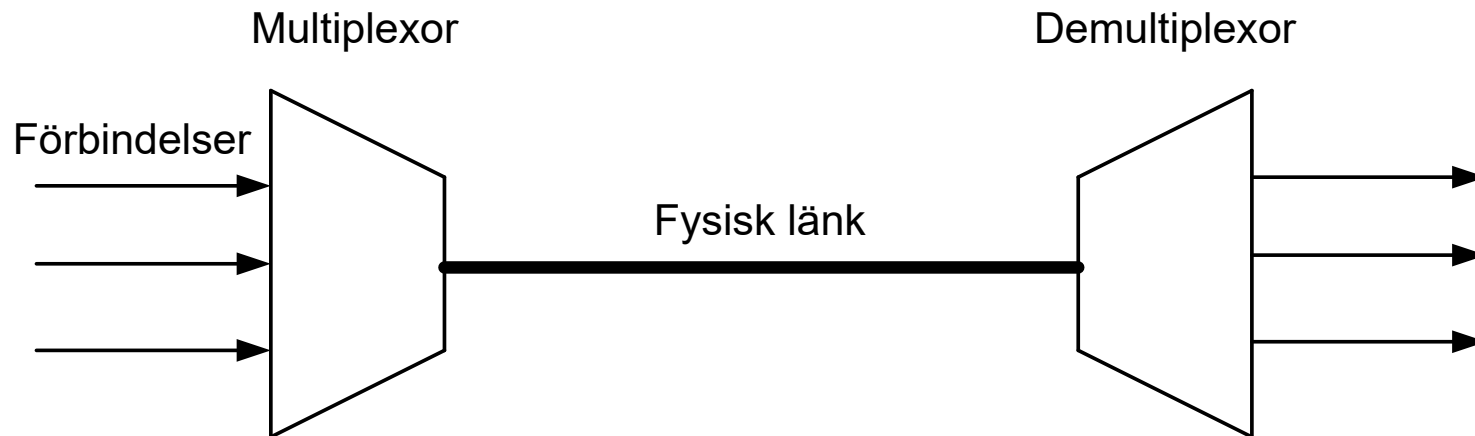
# Generell multiplexering

Man delar in den fysiska länken i **kanaler** och låter en förbindelse kommunicera över en av dessa kanaler.



# Multiplexor/Demultiplexor

Signalerna *multiplexeras* innan länken och *demultiplexeras* efteråt.



# Multiplexeringsmetoder

---

Idag går vi igenom följande metoder:

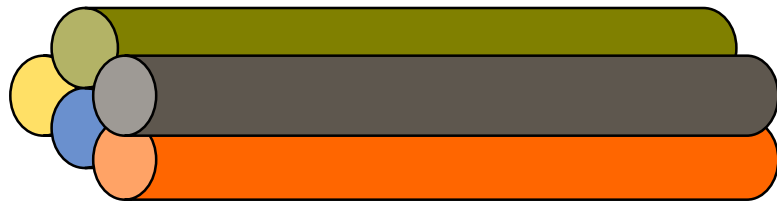
- Rumsmultiplexering (Space-Division multiplexing, SDM)
- Frekvensmultiplexering (Frequency-Division Multiplexing, FDM)
- Tidsmultiplexering (Time-Division Multiplexing, TDM)



# Rumsmultiplexering

---

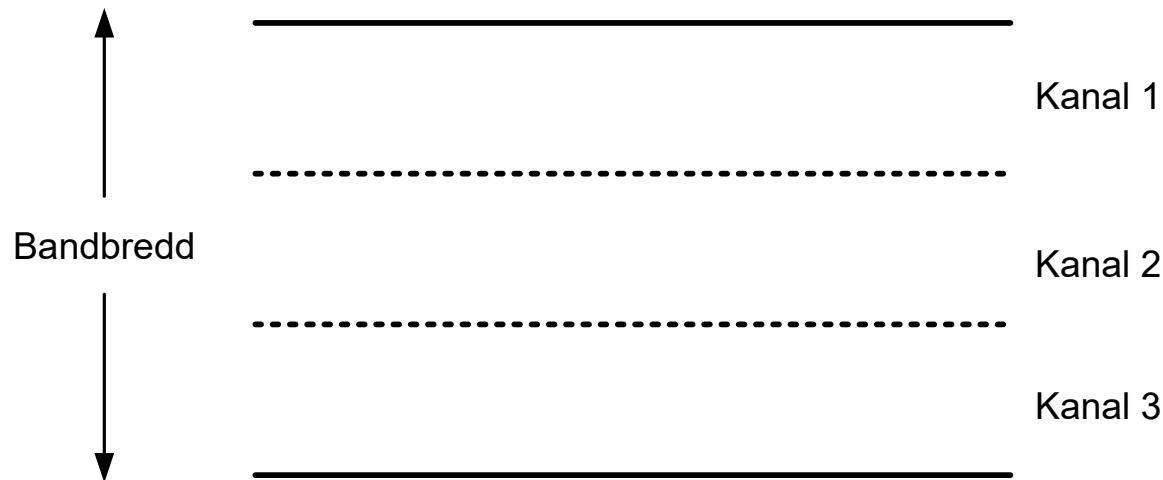
Används i tex. optiska fiberkablar som består av flera optiska fibrer.



Varje förbindelse får sin egen fiber.

# Frekvensmultiplexering

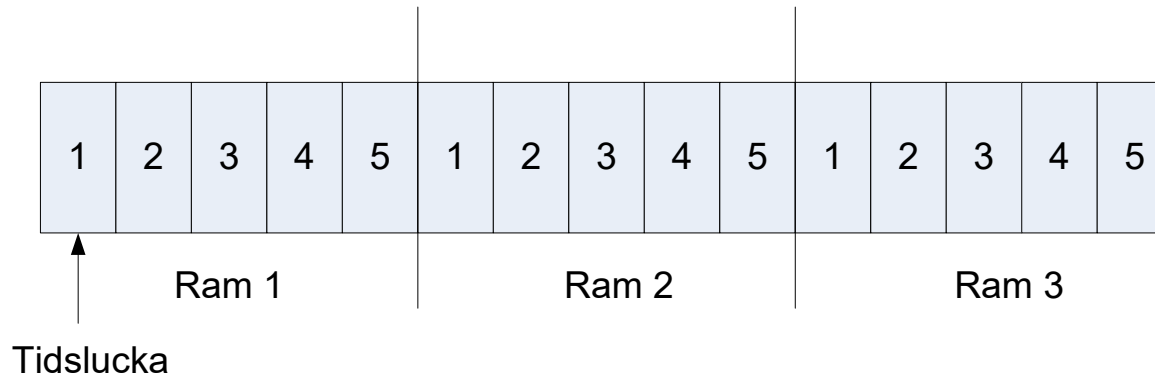
Länkens bandbredd delas upp i flera frekvensband.



Varje förbindelse får sitt eget frekvensband med hjälp av modulering.

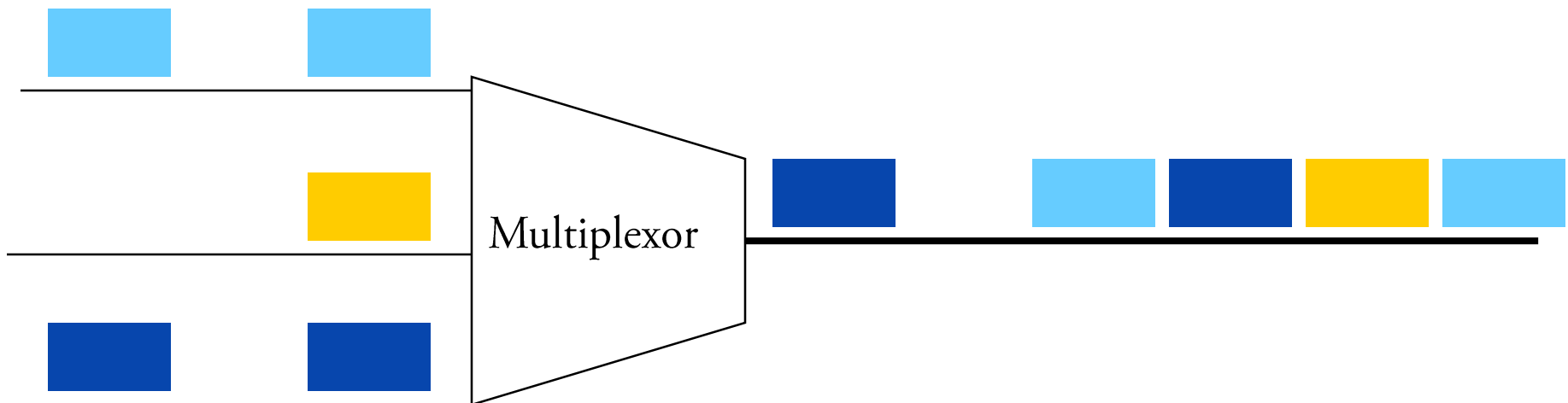
# Synkron tidsmultiplexering

- Tiden delas upp i ramar med konstant längd. Varje ram innehåller ett antal tidsluckor.  
Synkroniseringsbitar kan användas mellan ramar.
- En kanal blir tilldelad en tidslucka i varje ram



# Exempel: Synkron tidsmultiplex

Multiplexorn skickar ut paketen i tur och ordning.  
Om en kanal inte har något att sända kommer  
länken att vara tom.

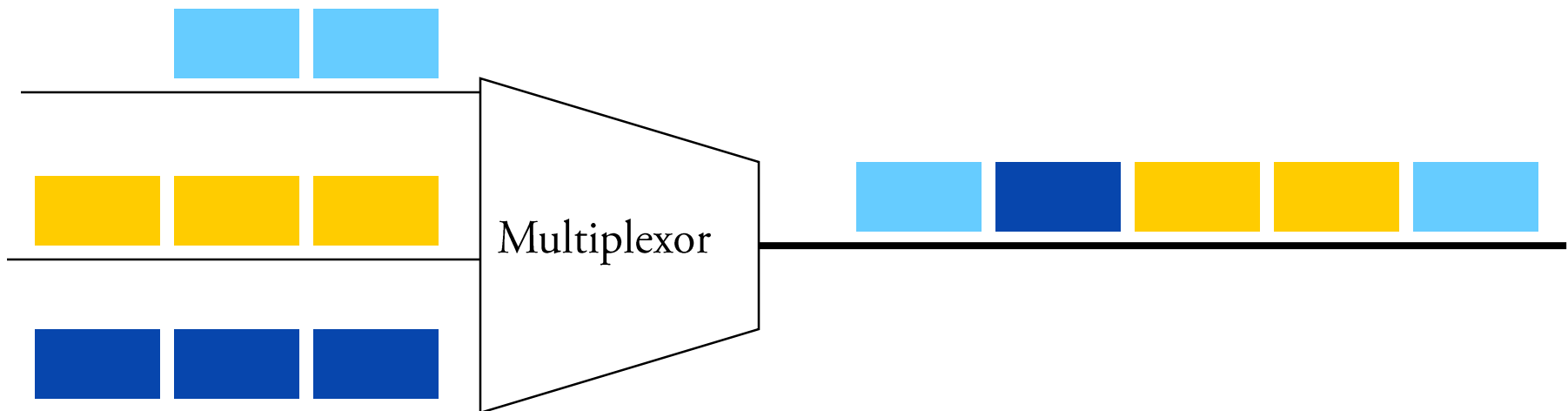


# Statistisk multiplexering

- Kan ses som asynkron tidsmultiplexering.
- Kanalerna turas om att skicka data, men det finns inga bestämda tidsluckor för en kanal.
- Det måste finnas en övre gräns för hur många bitar en kanal får skicka åt gången (tex storleken på ett datapaket).

# Exempel: statistisk multiplexering

Paketen skickas ut på länken efterhand som de kommer till multiplexorn. Paketen kan behöva vänta ett tag i en buffert innan de kan skickas vidare.



# Tentaexempel: Multiplexering

Följande bitsekvens kommer in till en demultiplexor för STDM (siffran till vänster kommer in först):

**1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1**

Systemet har tre kanaler, 2 bitar i varje tidslucka och en synkroniseringsbit (en 1:a) mellan varje ram.

Beskriv bitströmmarna ut från demultiplexorn!