

Inleidingsles voor

- “Communicatietheorie”
- “Datacommunicatie”

“Communicatietheorie”

- 2 partims : “Communicatietechniek” (CT) + “Datacommunicatie” (DC)
- Titularis : Prof. Marc Moeneclaey (mm@telin.ugent.be), lesgever CT
- Medelesgever : Prof. Heidi Steendam (hs@telin.ugent.be), lesgever DC
- Vakgroep Telecommunicatie en Informatieverwerking (TELIN)
Sint-Pietersnieuwstraat 41, Technicum Blok 3
- CT + DC : baE3, baC3
maE1(ind. ingenieurs)
- cursusnota’s : VTK
- Minerva (lessenrooster, slides theorie en oefeningen, ...)
- jaarwerk : computeroefening CT + DC (telt mee voor ongeveer 20%)
- 1 examen : schriftelijk, open boek (CT + DC)

“Datacommunicatie”

- Titularis : Prof. Heidi Steendam (hs@telin.ugent.be)
- Vakgroep Telecommunicatie en Informatieverwerking (TELIN)
Sint-Pietersnieuwstraat 41, Technicum Blok 3
- DC : baI3
- cursusnota's : VTK
- Minerva ((lessenrooster, slides theorie en oefeningen, ...))
- jaarwerk : computeroefening DC (telt mee voor ongeveer 20%)
- 1 examen : schriftelijk, open boek
- om te slagen moet score jaarwerk $\geq 8/20$

Vervolgvakken

“Informatietheorie” (H.Steendam)

- voorkennis : Datacommunicatie
- maE1 (ECS, ICT), maC1 (ICT, IS)

“Modulatie en detectie” (M. Moeneclaey)

- voorkennis : Communicatietechniek
- maE2 (ECS), keuzevak maE (ICT) en maC (ICT)

“Geavanceerde modulatie en codering” (H. Steendam + M. Moeneclaey)

- voorkennis : Communicatietechniek, Datacommunicatie
- keuzevak maE (ECS), maC (ICT)

Masterproef, Doctoraat

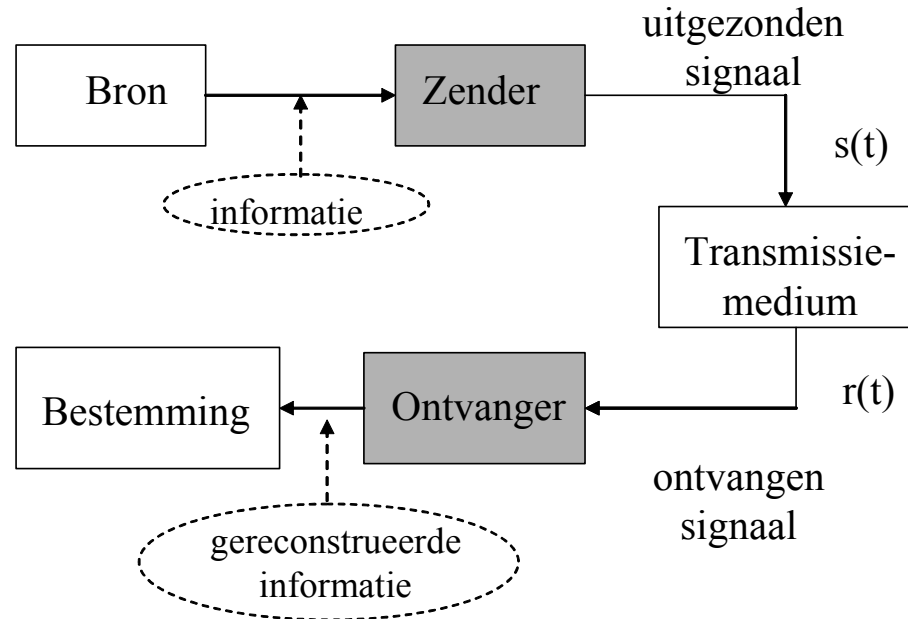
Situering van “Communicatietheorie”

Telecommunicatie : informatie versturen van de ene plaats naar de andere, over een fysisch transmissiemedium

Informatie : video, audio, spraak, grafische informatie, tekst, data, ...

Transmissiemedium (“*kanaal*”):

- twisted-pair telefoonlijn
- coaxkabel (CATV)
- glasvezel
- radio- of satellietverbinding
- bus in computer
- ...



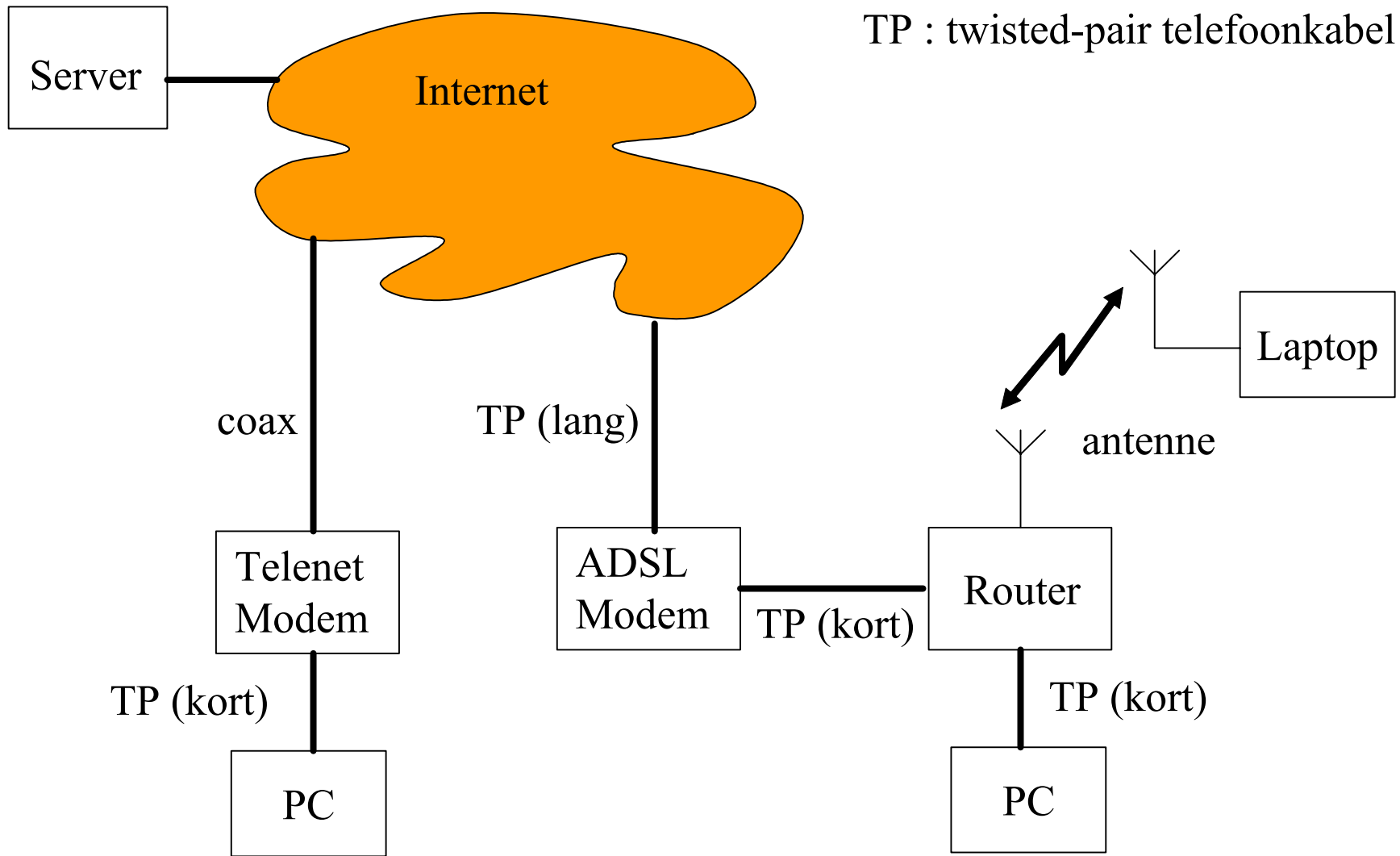
zender : informatie \rightarrow fysisch (elektrisch, elektromagnetisch, optisch, ...) signaal $s(t)$,
 geschikt voor transmissie over kanaal

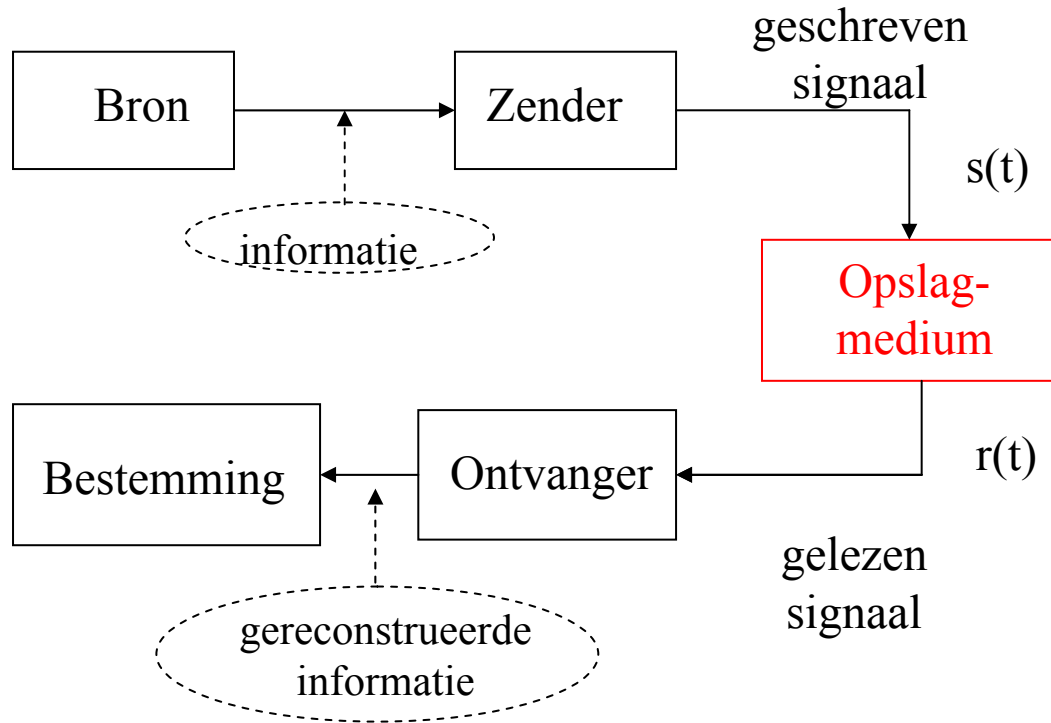
kanaal : $s(t) \rightarrow r(t)$, met $r(t) \neq s(t)$ wegens storing, vervorming, ...

ontvanger : fysisch signaal $r(t) \rightarrow$ gereconstrueerde informatie

$r(t) \neq s(t) \Rightarrow$ gereconstrueerde informatie \neq originele informatie
 (hoorbare vervorming in spraak en audio, artefacten in beeld en video, fouten in tekst en data)

goed ontwerp van zender en ontvanger \Rightarrow gereconstrueerde informatie \approx originele informatie





Zelfde problematiek treedt op bij **opslag** van informatie

Opslagmedium : DVD, CD, harde schijf, magneetband, memory stick, ...

$r(t) \neq s(t)$ wegens fabricagefouten, krassen (DVD, CD, harde schijf)
of kreuken (magneetband)

Digitale communicatie : alle informatie verstuurd onder de vorm van een **bitsequentie**

- Digitale informatie (computerdata, tekst, ...) :
 - karakters omzetten naar bitsequentie
 - voorbeeld : ASCII-voorstelling (7 bit \Leftrightarrow 128 = 2^7 alfanumerische karakters)
- Analoge informatie (spraak, audio, video, ...) :
 - golfvorm omzetten naar bitsequentie door kwantisatie (A/D)
 - geen exacte voorstelling \Rightarrow distorsie

Digitale communicatie : alle informatie verstuurd onder de vorm van een **bitsequentie**

- Digitale informatie (computerdata, tekst, ...) :
 - karakters omzetten naar bitsequentie
 - voorbeeld : ASCII-voorstelling (7 bit \Leftrightarrow 128 = 2^7 alfanumerische karakters)
- Analoge informatie (spraak, audio, video, ...) :
 - golfvorm omzetten naar bitsequentie door kwantisatie (A/D)
 - geen exacte voorstelling \Rightarrow distorsie

Digitale communicatie : laat toe *verschillende* soorten informatie te versturen over *eenzelfde* communicatie-infrastructuur

- Internet : spraak, audio, video, tekst, data, grafische informatie
- GSM : spraak, SMS

Digitale communicatie : alle informatie verstuurd onder de vorm van een **bitsequentie**

- Digitale informatie (computerdata, tekst, ...) :
 - karakters omzetten naar bitsequentie
 - voorbeeld : ASCII-voorstelling (7 bit \Leftrightarrow 128 = 2^7 alfanumerische karakters)
- Analoge informatie (spraak, audio, video, ...) :
 - golfvorm omzetten naar bitsequentie door kwantisatie (A/D)
 - geen exacte voorstelling \Rightarrow distorsie

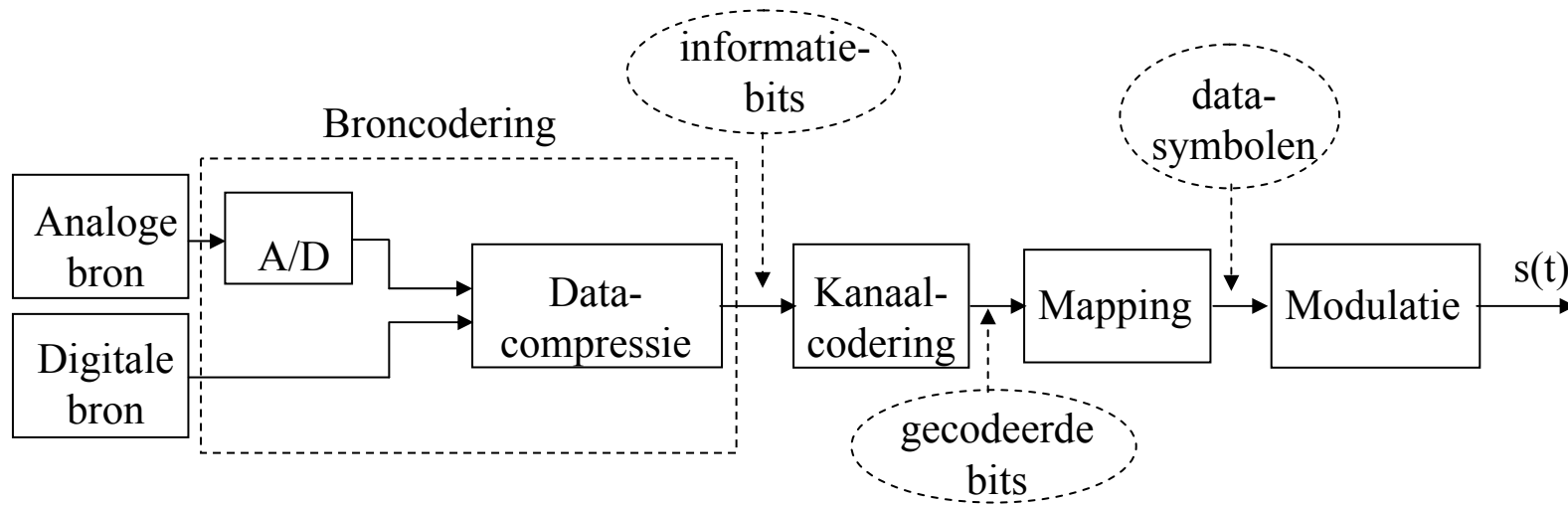
Digitale communicatie : laat toe *verschillende* soorten informatie te versturen over *eenzelfde* communicatie-infrastructuur

- Internet : spraak, audio, video, tekst, data, grafische informatie
- GSM : spraak, SMS

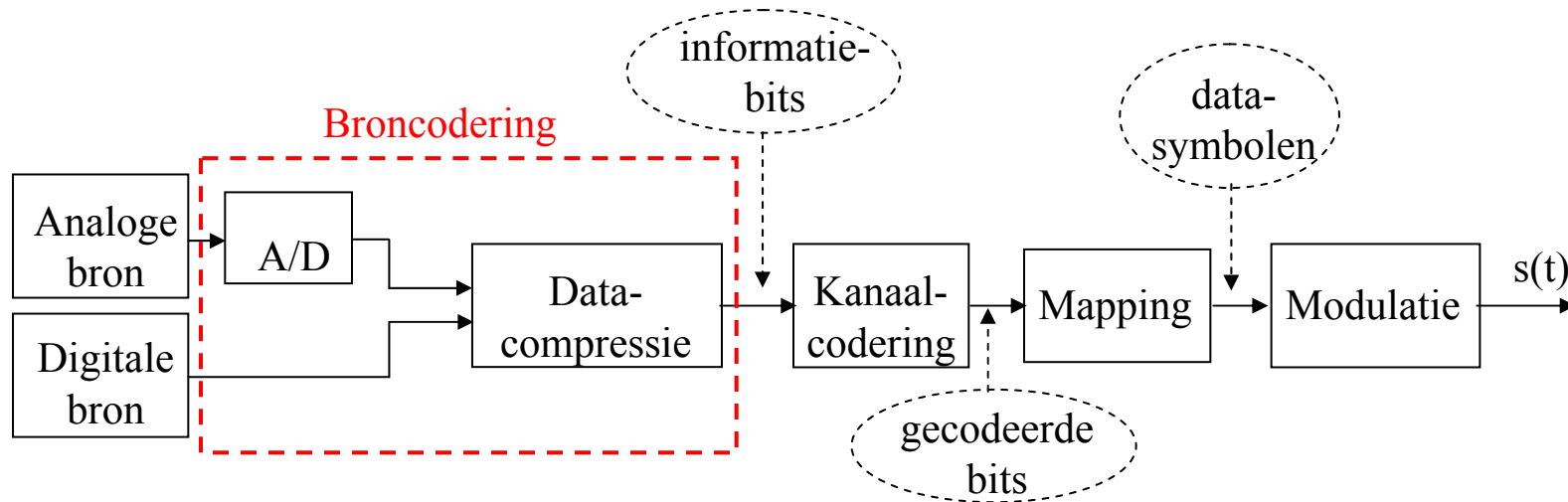
Traditionele (“analoge”) communicatiesystemen : geen omzetting van analoge informatie naar bits

- voorbeeld : radio- en TV omroep, telefoonlijn klant-centrale
- maar : digitale standaarden bestaan reeds (DAB, DVB), transitie naar digitale audio/radio en video/TV zet zich door

Structuur zender



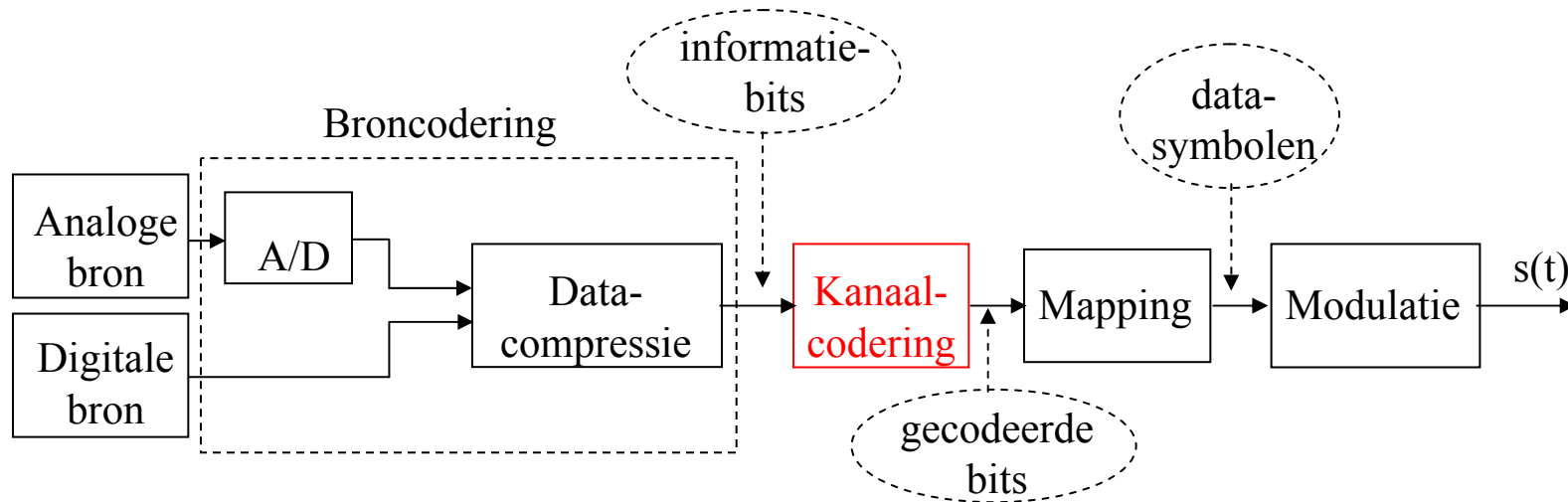
Structuur zender



Broncodering :

- A/D omzetting (kwantisatie) van analoge informatie naar bits
- datacompressie : reduceren van redundante (overtollige) informatie

Structuur zender

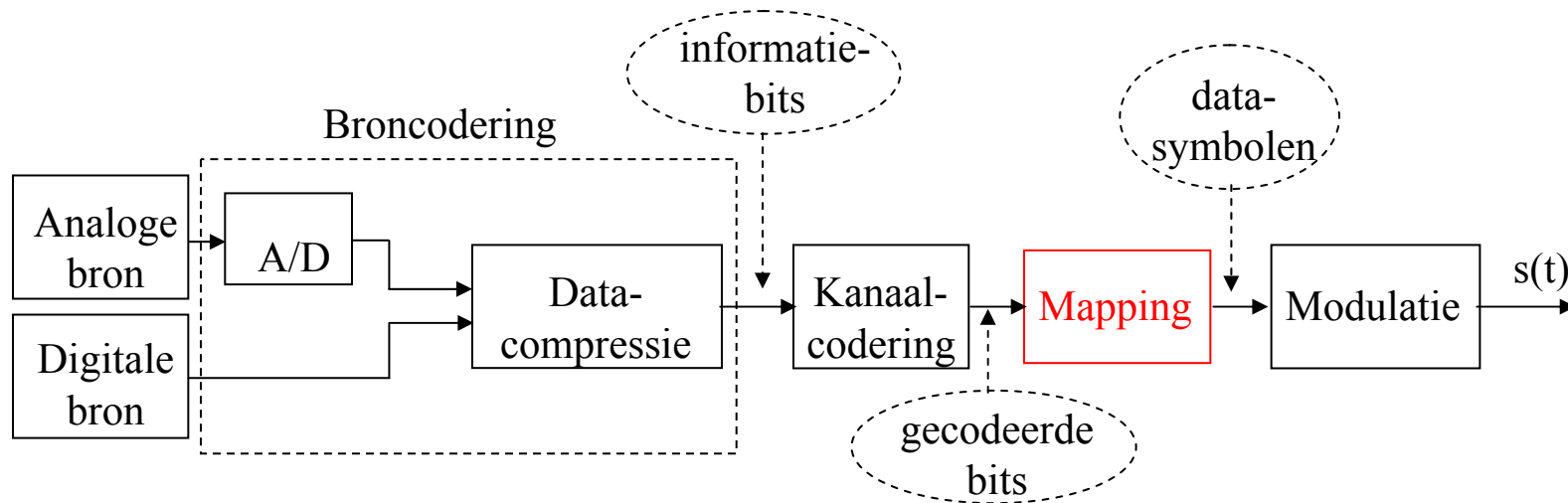


Broncodering :

- A/D omzetting (kwantisatie) van analoge informatie naar bits
- datacompressie : reduceren van redundante (overtollige) informatie

Kanaalcodering : toevoegen (op gecontroleerde wijze) van redundantie, met het oog op foutdetectie en -correctie

Structuur zender



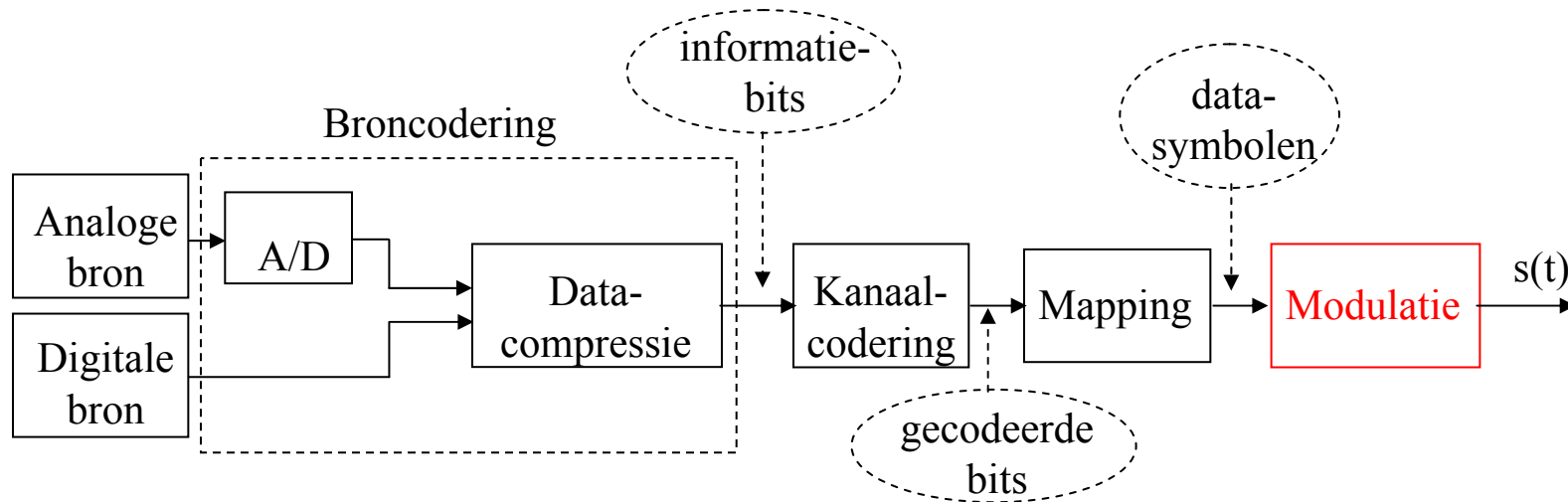
Broncodering :

- A/D omzetting (kwantisatie) van analoge informatie naar bits
- datacompressie : reduceren van redundante (overtollige) informatie

Kanaalcodering : toevoegen (op gecontroleerde wijze) van redundantie, met het oog op foutdetectie en -correctie

Mapping : gecodeerde bits \rightarrow reële of complexe datasymbolen

Structuur zender



Broncodering :

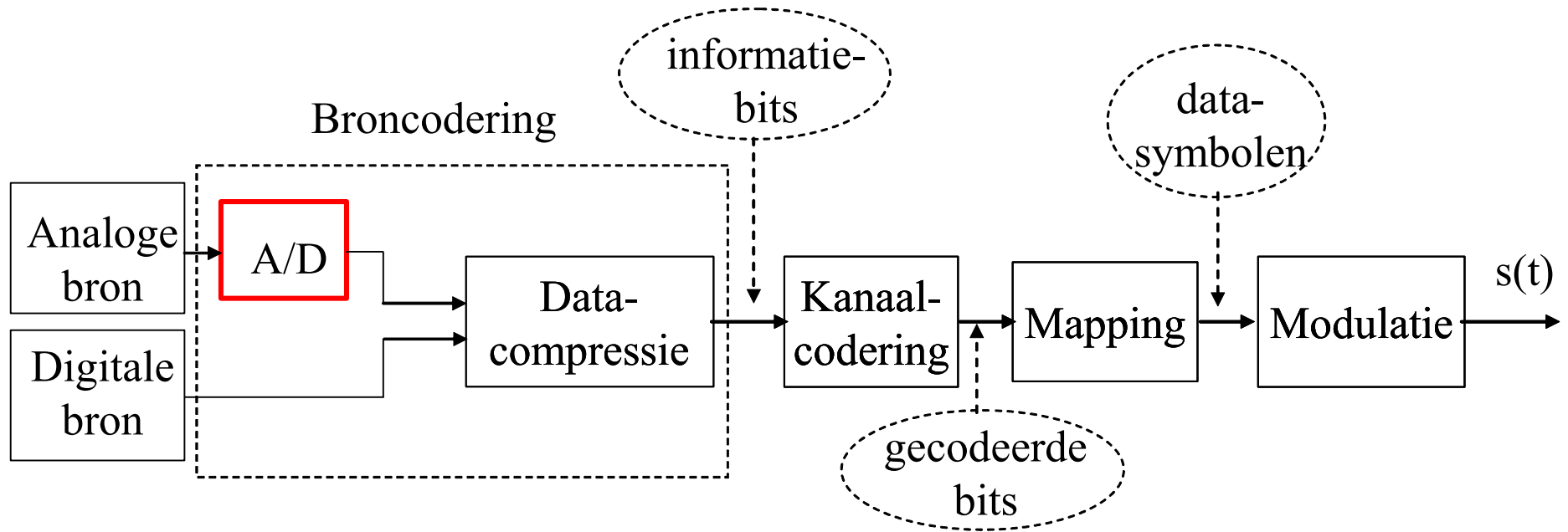
- A/D omzetting (kwantisatie) van analoge informatie naar bits
- datacompressie : reduceren van redundante (overtollige) informatie

Kanaalcodering : toevoegen (op gecontroleerde wijze) van redundantie, met het oog op foutdetectie en -correctie

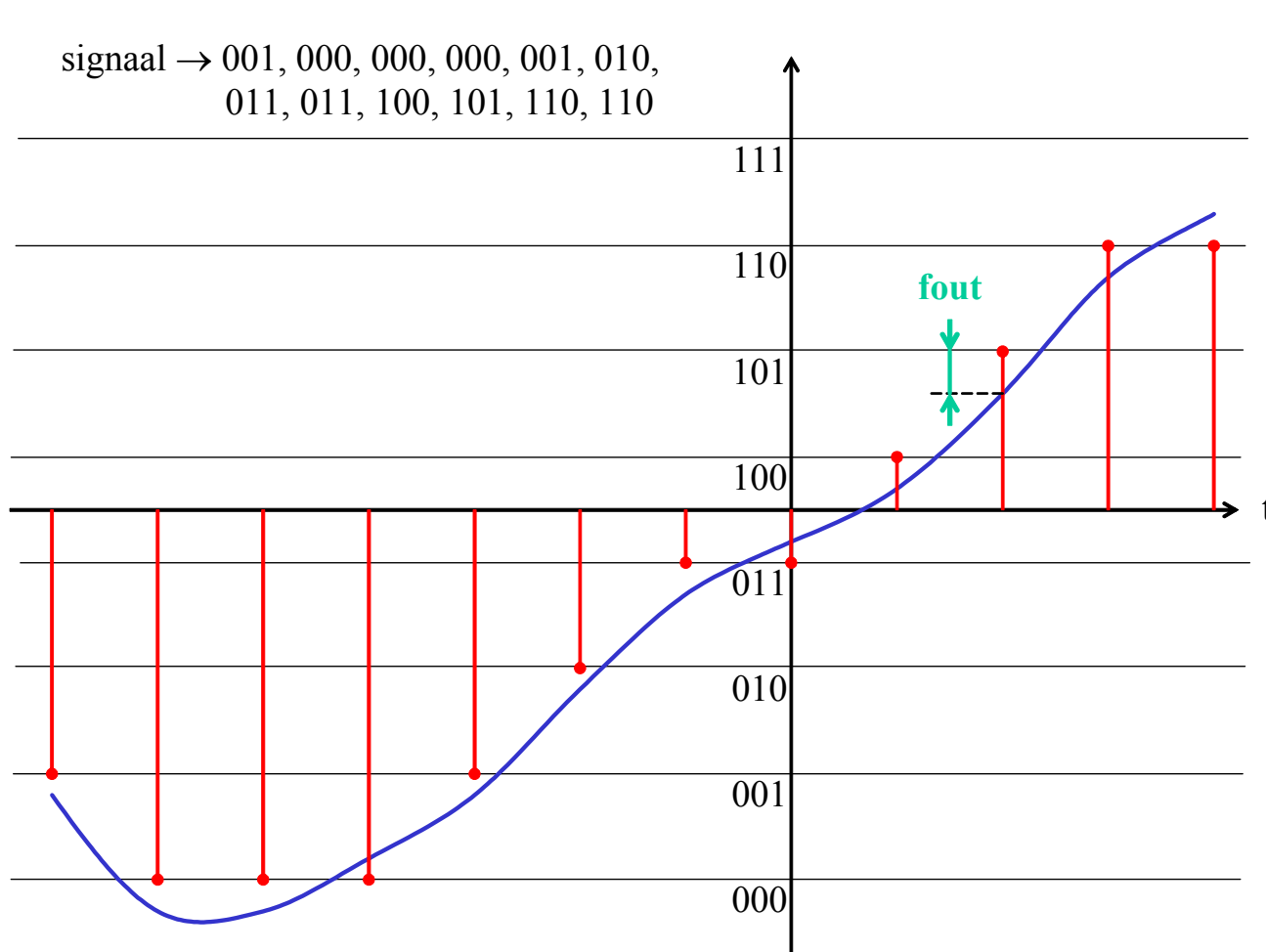
Mapping : gecodeerde bits \rightarrow reële of complexe datasymbolen

Modulatie : datasymbolen \rightarrow fysisch signaal $s(t)$

Kwantisatie van analoge informatie



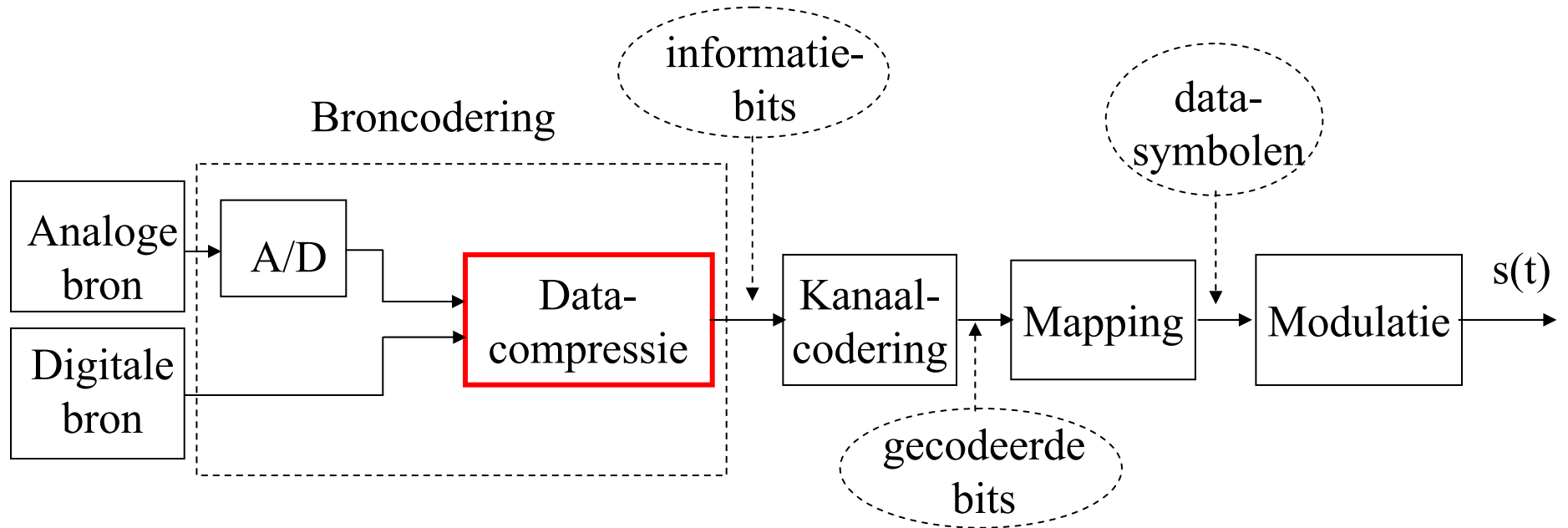
Kwantisatie van analoge informatie



monsterwaarden
(samples) van
analoog signaal
afroonden naar
dichtstbijgelegen
kwantisatieniveau,
en voorstellen door
 q kwantisatiebits
 \Rightarrow *kwantisatiefout*
bij D/A omzetting
aan ontvangerzijde

2^q kwantisatieniveaus
 $\Leftrightarrow q$ kwantisatiebits

Datacompressie



Datacompressie

K*NN*N ST*D*NT*N D*Z* Z*N L*Z*N ?

Datacompressie

K*NN*N ST*D*NT*N D*Z* Z*N L*Z*N ?

KUNNEN STUDENTEN DEZE ZIN LEZEN ?

Datacompressie

K*NN*N ST*D*NT*N D*Z* Z*N L*Z*N ?

KUNNEN STUDENTEN DEZE ZIN LEZEN ?

⇒ Informatie bevat vaak heel wat “redundantie”

Datacompressie vermindert de redundantie

(⇒ minder opslagruimte, minder transmissietijd)

	veel redundantie	weinig redundantie
tekst	.txt	.zip
audio	.wav	.mp3

Datacompressie

Voorbeeld : alfabet met 4 karakters A, B, C, D

relatieve frequenties :

A : $1/2$, B : $1/4$, C : $1/8$, D : $1/8$

a) geen datacompressie

bronsymbool	A	B	C	D
informatiebits	00	01	10	11

2 bit/bronsymbool

b) wel datacompressie

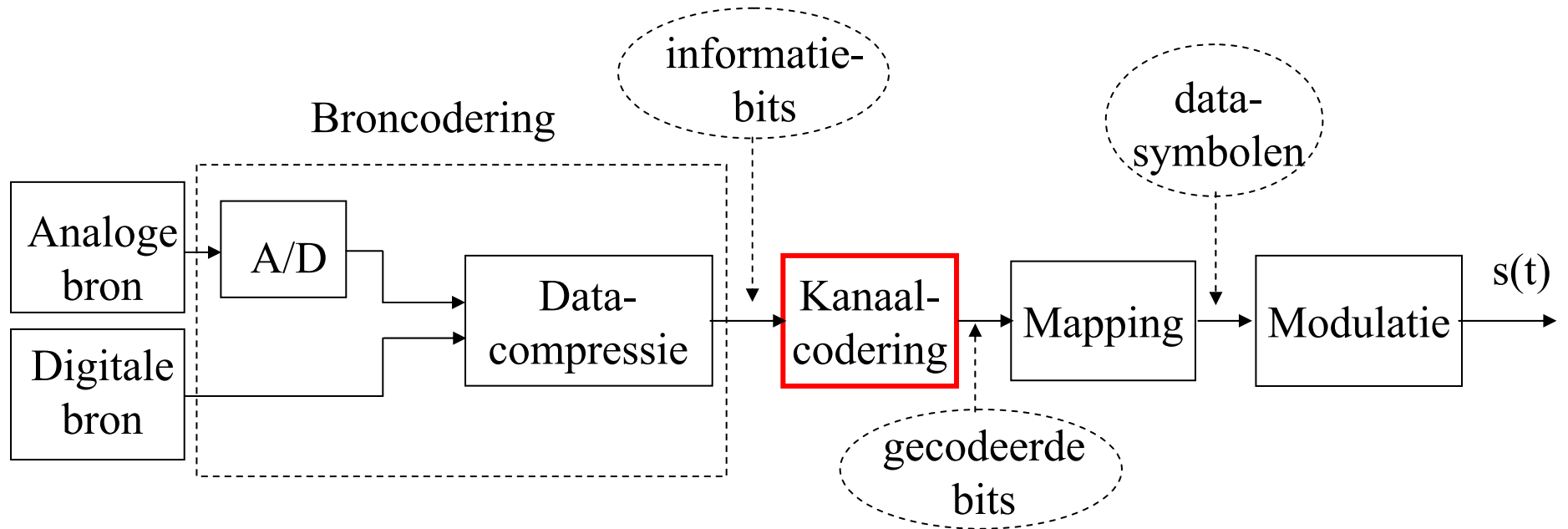
bronsymbool	A	B	C	D
informatiebits	0	10	110	111

1.75 bit/bronsymbool

$1/2$ $2/4$ $3/8$ $3/8$

korte bitsequentie toekennen aan meest waarschijnlijke bronsymbolen

Kanaalcodering



Kanaalcodering

Gecontroleerde redundantie toevoegen aan informatiebits (kanaalcodeertabel)

- Foutdetectie : is de ontvangen bitsequentie geen codewoord, dan wordt retransmissie aangevraagd (ARQ protocol)
- Foutcorrectie : de ontvangen bitsequentie wordt afgerond naar dichtstbijgelegen codewoord

Voorbeeld

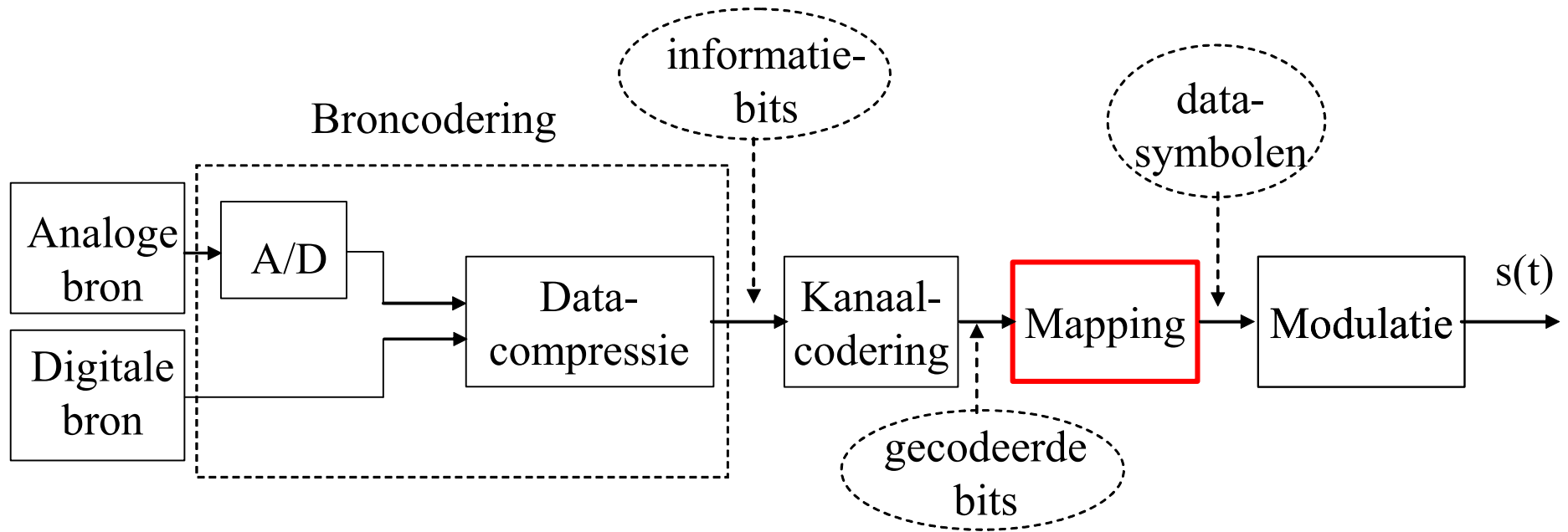
kanaalcodeertabel

informatie- bits	gecodeerde bits
0	000
1	111

ontvangen bits	foutdetectie	foutcorrectie
000	000	000
001	retransmissie	000
010	retransmissie	000
011	retransmissie	111
100	retransmissie	000
101	retransmissie	111
110	retransmissie	111
111	111	111

code kan tot 2 fouten detecteren,
en 1 fout corrigeren

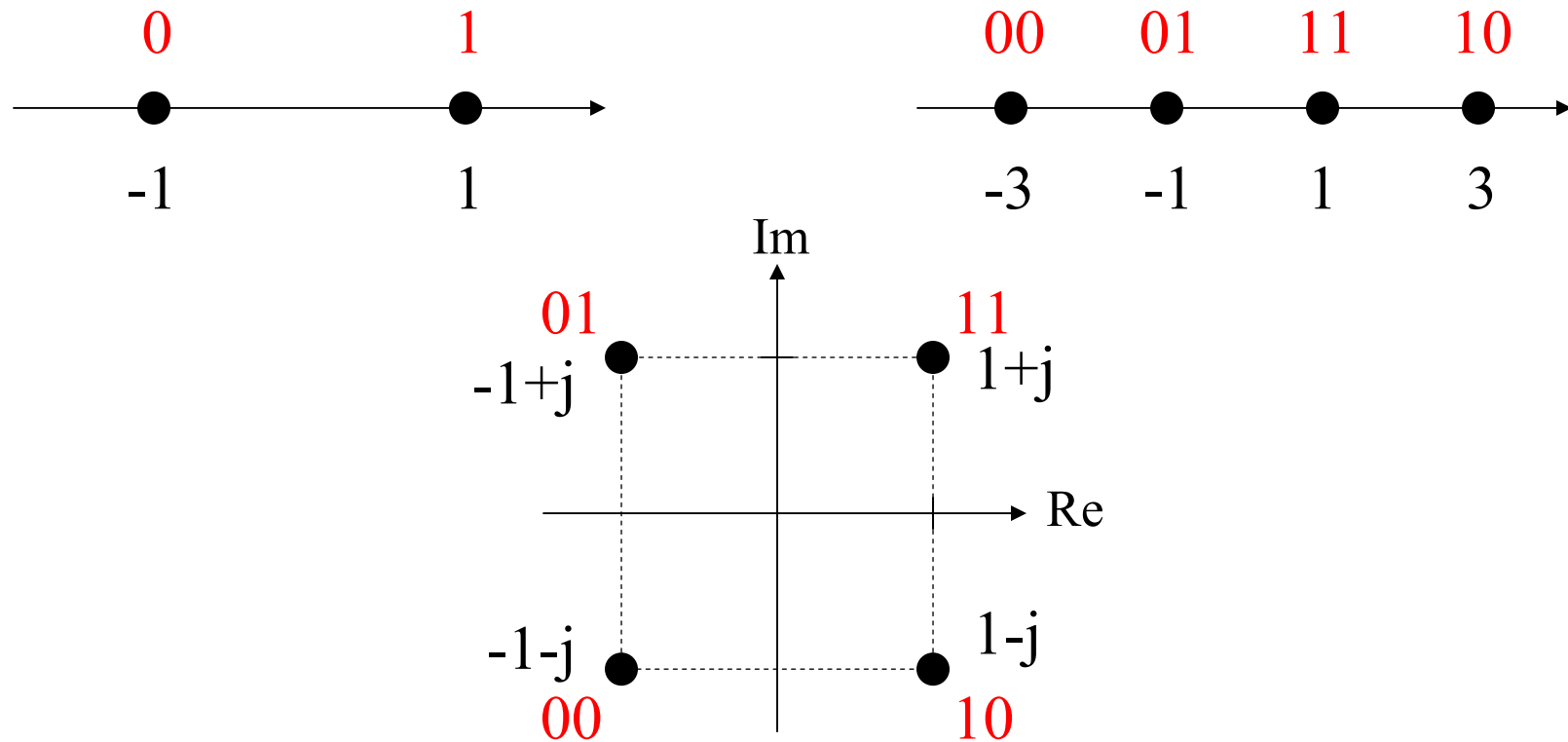
Mapping



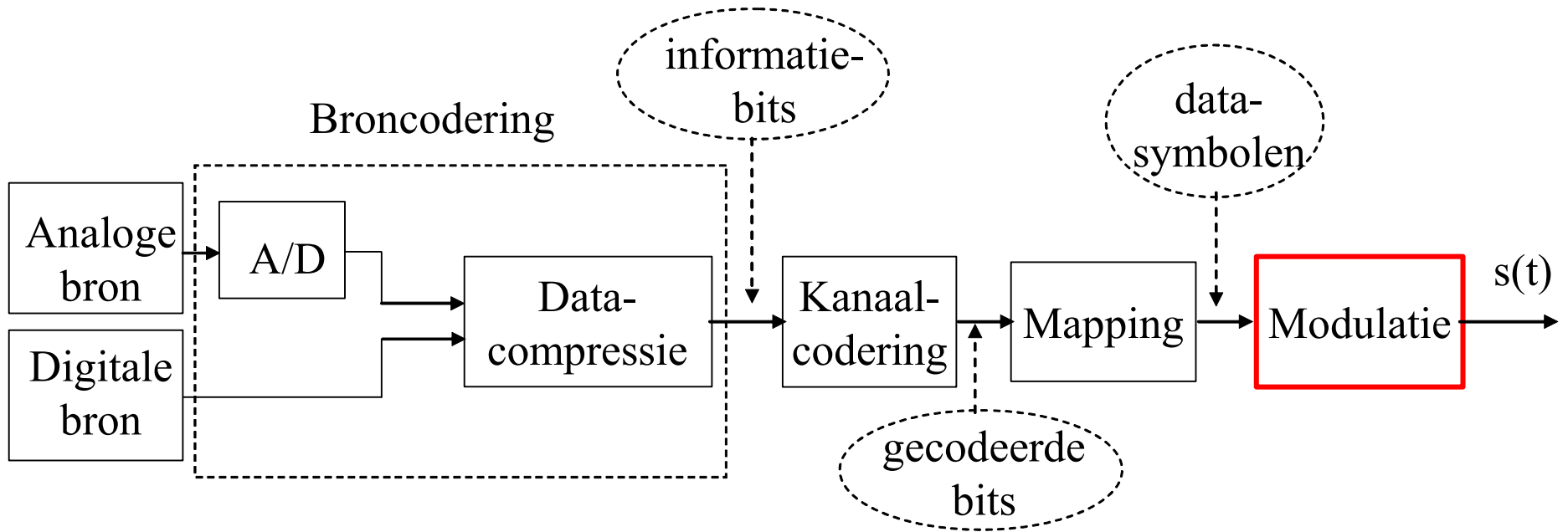
Mapping

Groep van bits omzetten in een reëel of complex datasymbool

Voorbeelden



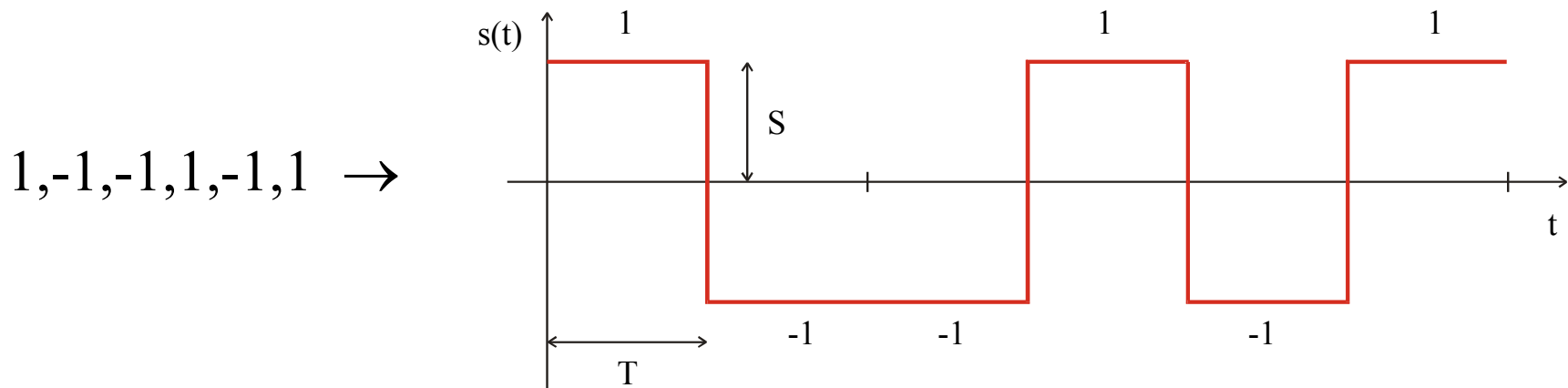
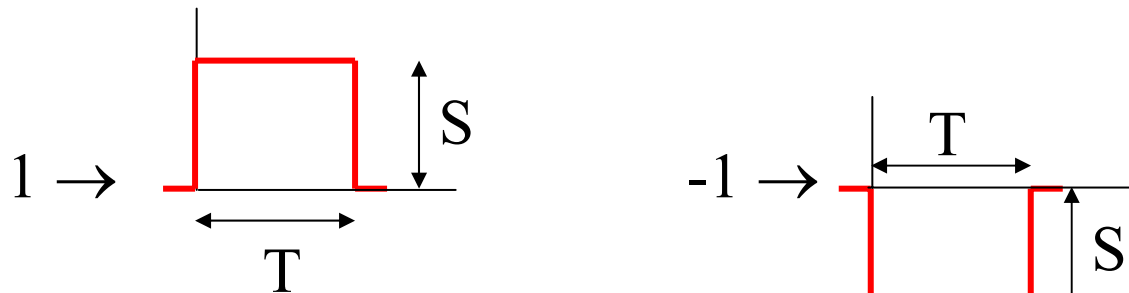
Modulatie



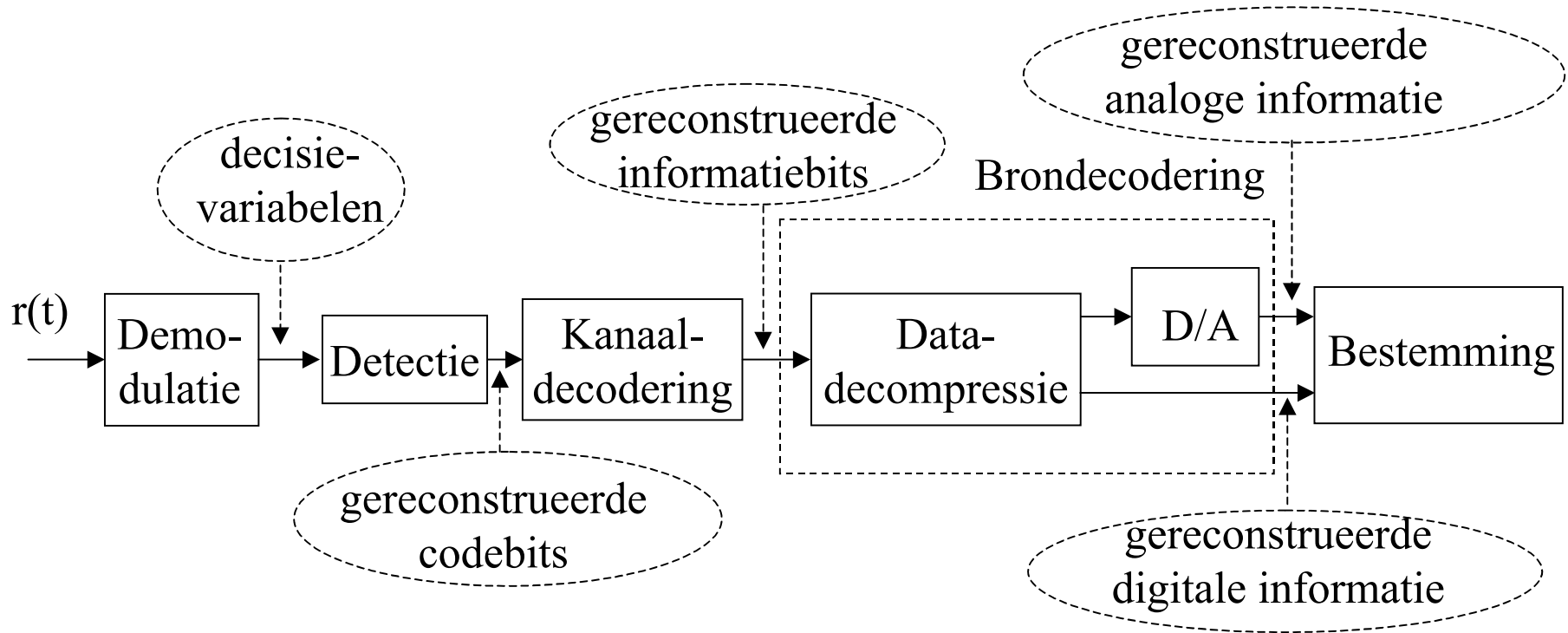
Modulatie

Omzetten van datasymbolen in fysisch signaal $s(t)$

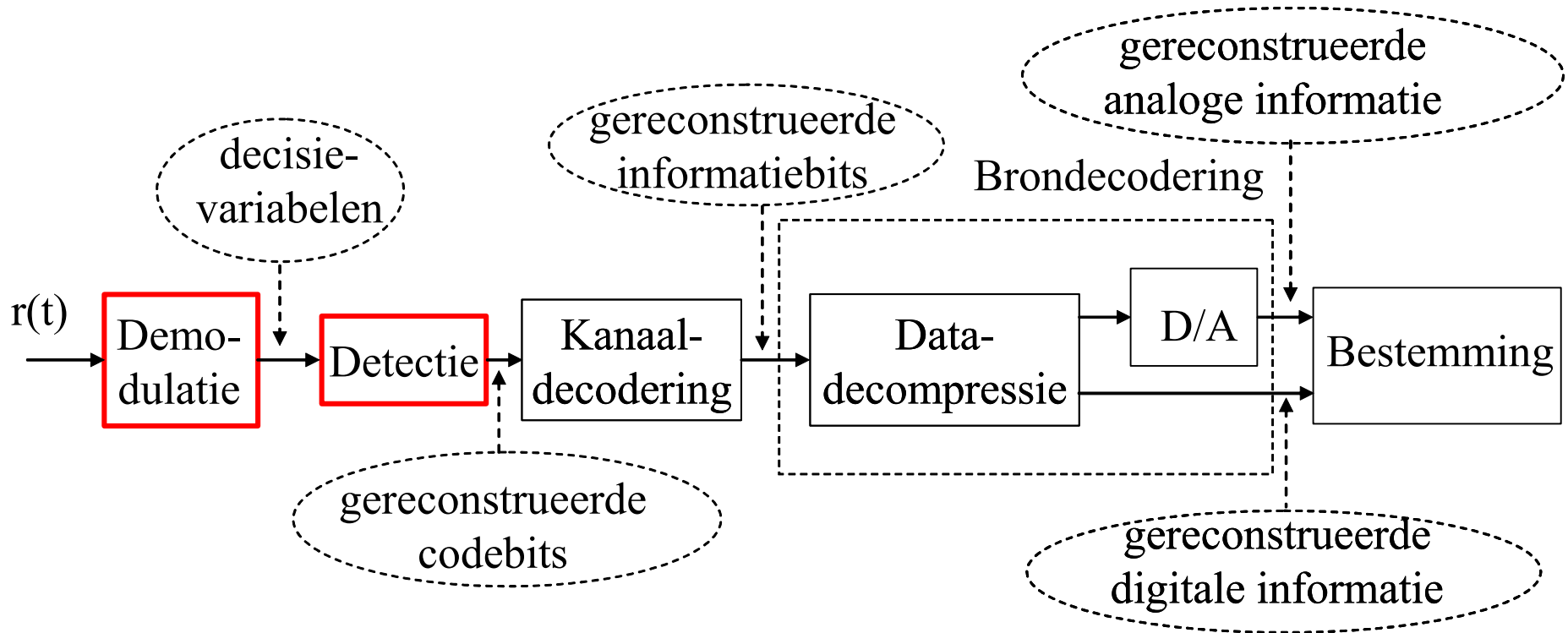
Voorbeeld : datasymbolset = $\{-1, 1\}$



Structuur ontvanger



Demodulatie en detectie



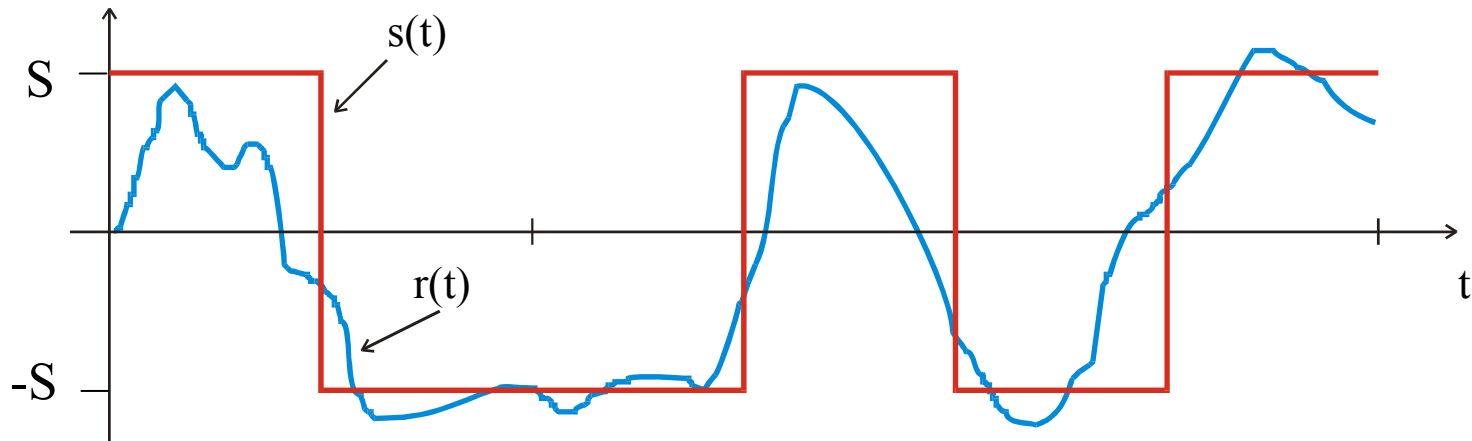
Demodulatie : omzetting $r(t)$ → benadering datasymbolen (“decisievariabelen”)

Detectie : omzetting decisievariabelen → codebits

Demodulatie en detectie

Voorbeeld

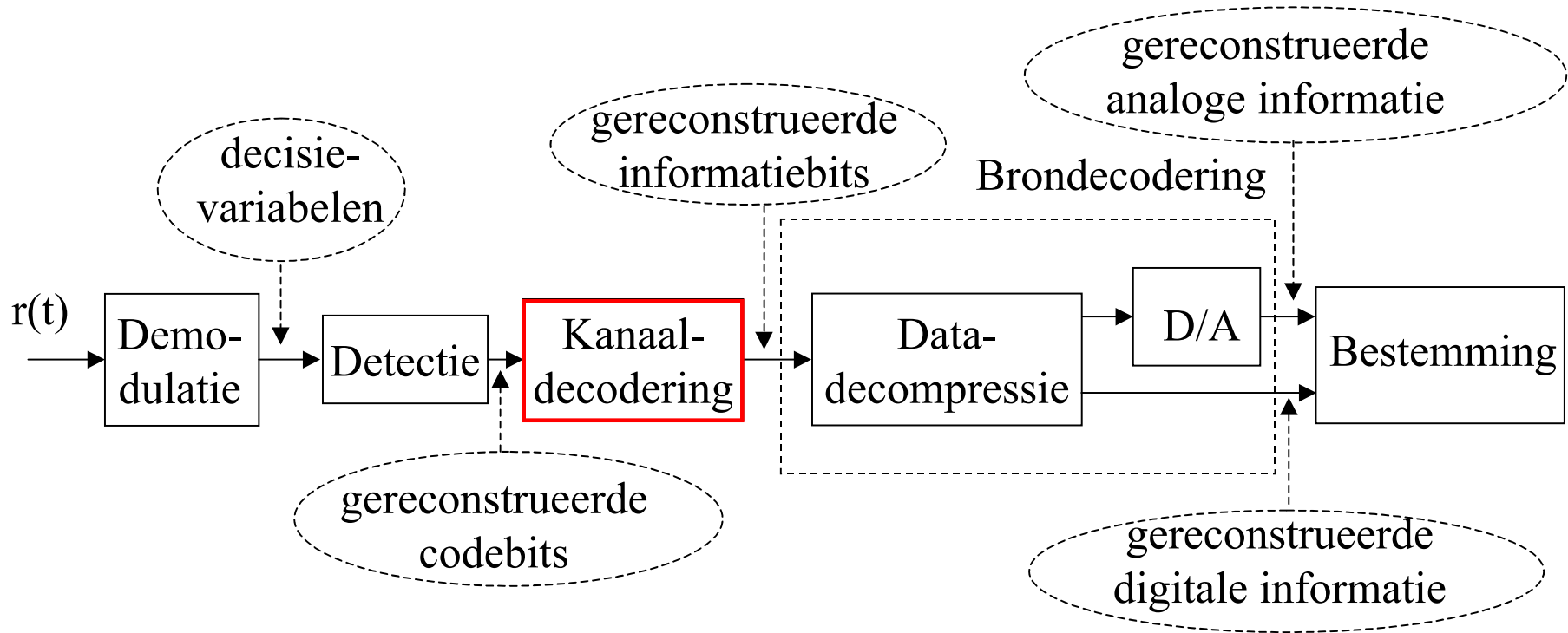
Mapping + Modulatie : codebit 0 \rightarrow symbool -1 \rightarrow signaalniveau -S
codebit 1 \rightarrow symbool 1 \rightarrow signaalniveau S



Demodulator : berekent als decisievariabele het *gemiddeld signaalniveau* van $r(t)$ in het beschouwde symboolinterval

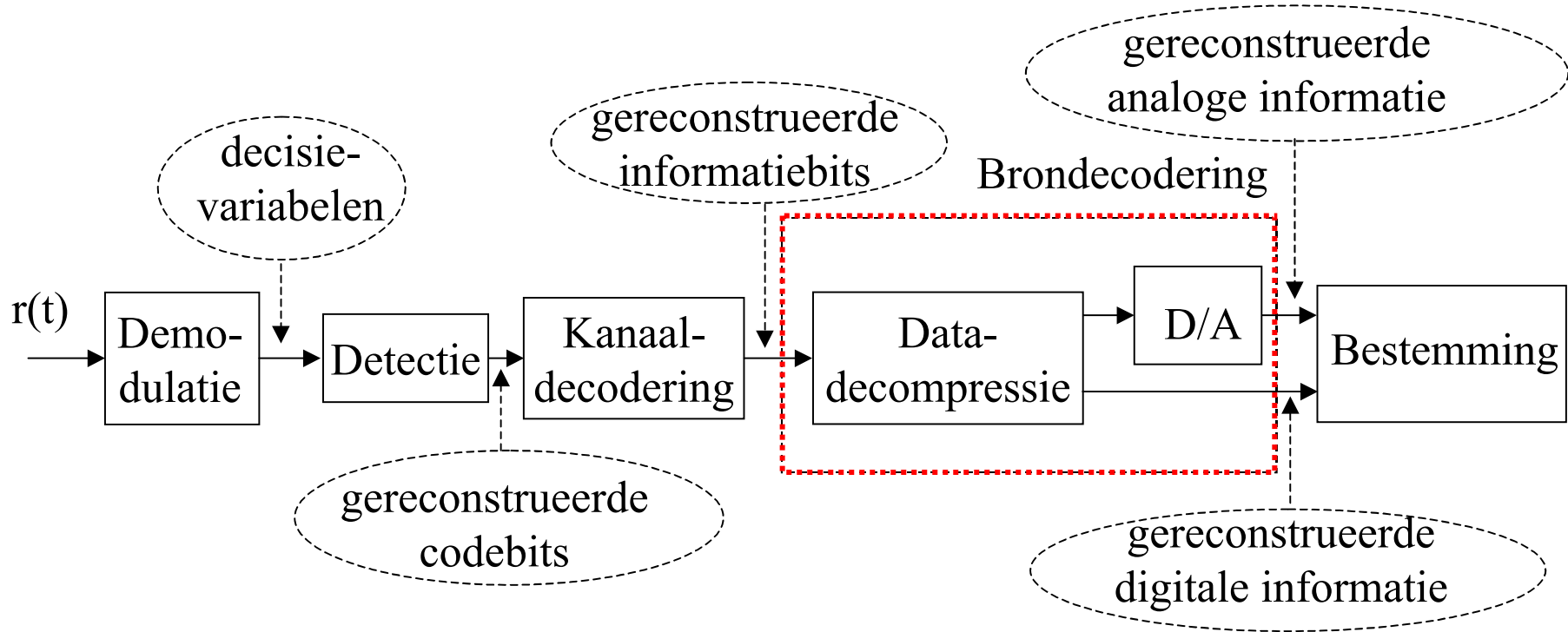
Detector : decisievariabele $> 0 \Rightarrow$ symbool = 1 \Rightarrow codebit = 1
decisievariabele $< 0 \Rightarrow$ symbool = -1 \Rightarrow codebit = 0

Kanaaldecodering



Kanaaldecodering : omzetting codebits \rightarrow informatiebits (kanaaldecodeertabel)
(foutdetectie+retransmissie, foutcorrectie)

Brondecodering



Brondecodering

- Datadecompressie : toevoegen redundantie (conform broncodeertabel)
- D/A conversie voor analoge bronnen (conform kwantisatieregels)

Voorbeelden

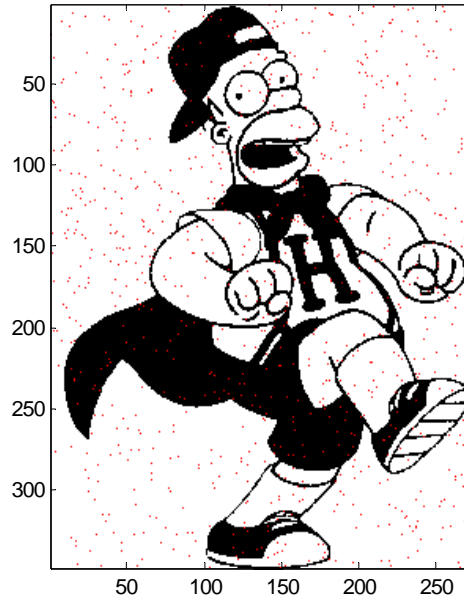
Voorbeeld 1

origineel beeld : 94656 bits (1 pixel = 1 bit)

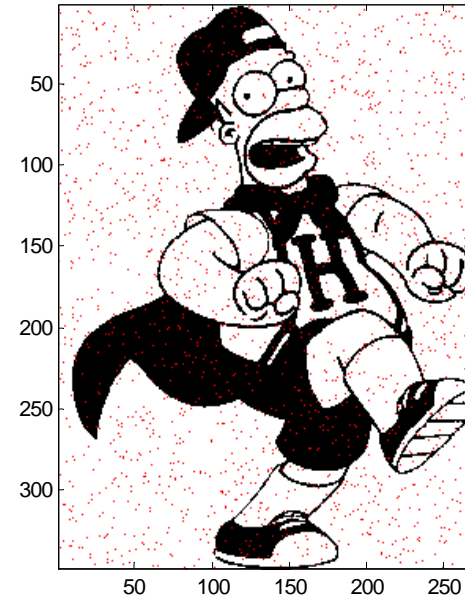


Zonder compressie, zonder kanaalcodering

transmissie over kanaal met foutprobabiliteit p



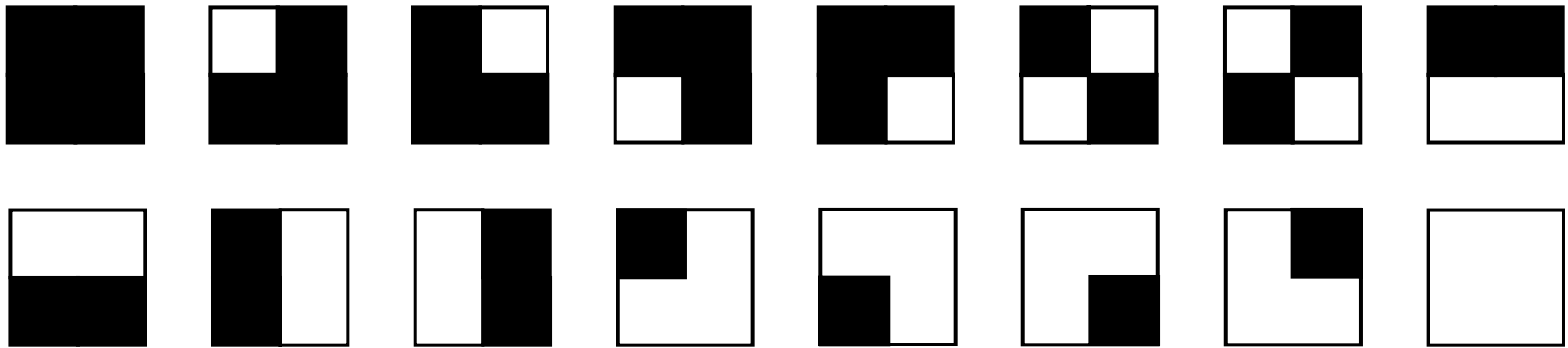
$$p = 10^{-2}$$



$$p = 2 \cdot 10^{-2}$$

Compressie + kanaalcodering

Beeld opdelen in vierkantjes van 2x2 pixels $\rightarrow 2^4 = 16$ mogelijke vierkantjes



Aan elk vierkantje hechten we een bitsequentie
(kortste bitsequenties voor vierkantjes met hoogste frequentie van optreden)

origineel beeld : 94656 bits \rightarrow comprimeren tot 36856 bits ($\approx 2.57/1$)

kanaalcodering : 12 infobits \rightarrow 24 gecodeerde bits (kan 3 bitfouten corrigeren)

36856 infobits \rightarrow 73728 gecodeerde bits (*minder* bits dan in origineel beeld !)

Compressie + kanaalcodering

transmissie over kanaal met foutprobabiliteit p

foutloze reconstructie !



$p = 10^{-2}$

fouten vooral aan randen



$p = 2 \cdot 10^{-2}$

Voorbeeld 2

bronsymbolen	B		C		
infobits	1	0	1	1	0

broncodeertabel

bronsymbool	A	B	C	D
informatiebits	0	10	110	111

Voorbeeld 2

bronsymbolen	B						C								
infobits	1			0			1			1			0		
gecodeerde bits	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0

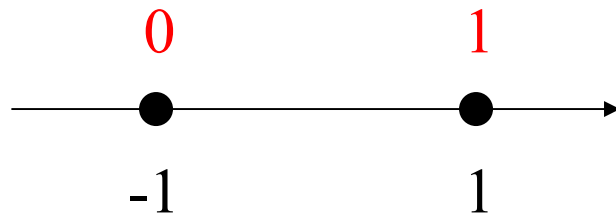
kanaalcodeertabel

informatie- bits	gecodeerde bits
0	000
1	111

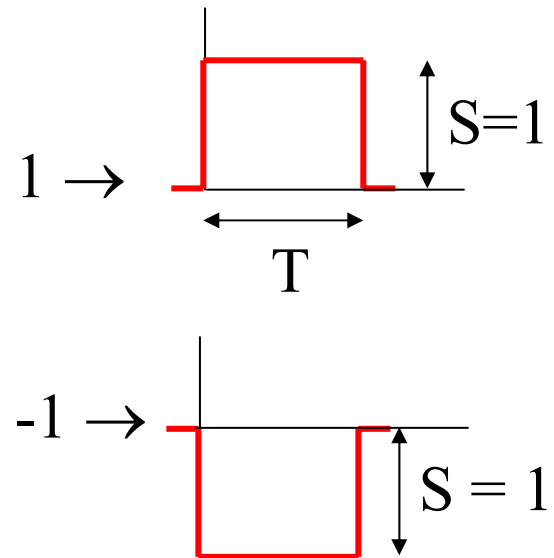
Voorbeeld 2

bronsymbolen	B						C								
infobits	1			0			1			1			0		
gecodeerde bits	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
datasymbolen	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1

mapping



modulatie



Voorbeeld 2

bronsymbolen	B						C								
infobits	1			0			1			1			0		
gecodeerde bits	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
datasymbolen	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
decisievariabelen	1.3	0.4	-0.2	0.2	-0.5	0.1	1.1	1.2	0.7	0.3	1.7	-0.2	-1.1	-0.7	-1.9

demodulator :

decisievariabelen = gemiddeld signaalniveau per symboolinterval

Voorbeeld 2

bronsymbolen	B						C								
infobits	1			0			1			1			0		
gecodeerde bits	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
datasymbolen	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
decisievariabelen	1.3	0.4	-0.2	0.2	-0.5	0.1	1.1	1.2	0.7	0.3	1.7	-0.2	-1.1	-0.7	-1.9
gecodeerde bits	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

detector : $\text{decisievariabele} > 0 \Rightarrow \text{gereconstrueerde codebit} = 1$
 $\text{decisievariabele} < 0 \Rightarrow \text{gereconstrueerde codebit} = 0$

Voorbeeld 2

bronsymbolen	B						C								
infobits	1			0			1			1			0		
gecodeerde bits	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
datasymbolen	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
decisievariabelen	1.3	0.4	-0.2	0.2	-0.5	0.1	1.1	1.2	0.7	0.3	1.7	-0.2	-1.1	-0.7	-1.9
gecodeerde bits	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
infobits	1			1			1			1			0		

Decodeertabel voor foutcorrectie

ontvangen bits	000	001	010	011	100	101	110	111
foutcorrectie	000	000	000	111	000	111	111	111
infobits	0	0	0	1	0	1	1	1

Voorbeeld 2

bronsymbolen	B						C								
infobits	1			0			1			1			0		
gecodeerde bits	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
datasymbolen	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
decisievariabelen	1.3	0.4	-0.2	0.2	-0.5	0.1	1.1	1.2	0.7	0.3	1.7	-0.2	-1.1	-0.7	-1.9
gecodeerde bits	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
infobits	1			1			1			1			0		
bronsymbolen	D						B								

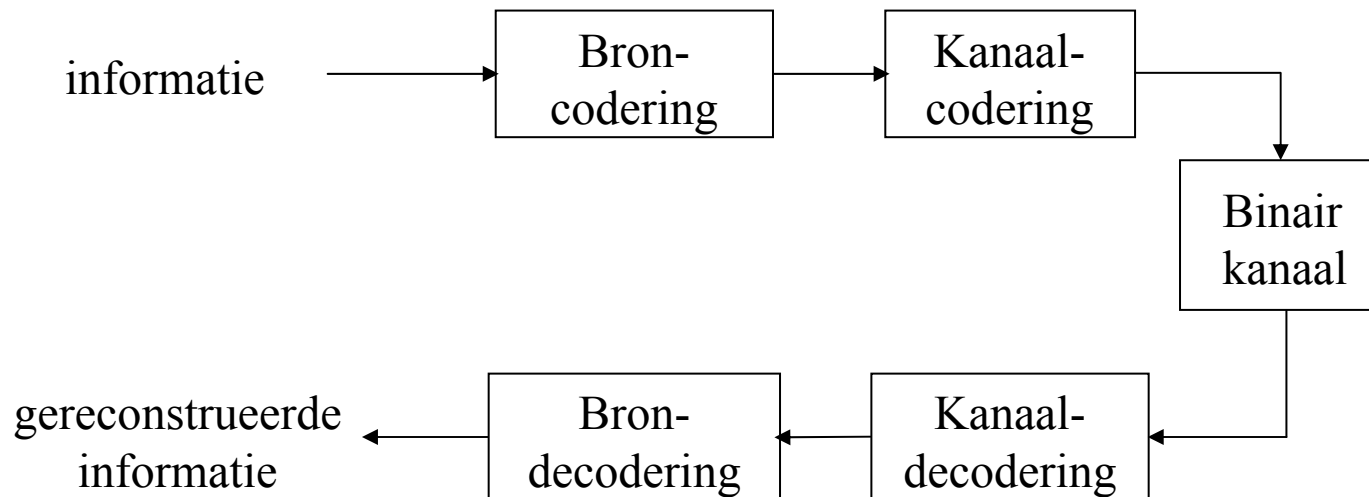
brondecodering conform broncodeertabel

bronsymbool	A	B	C	D
informatiebits	0	10	110	111

Opbouw “Communicatietheorie”

partim “Datacommunicatie”

partim “Datacommunicatie” : bewerkingen op bits



binair kanaal : bits in, bits uit

partim “Communicatietechniek”

partim “Communicatietechniek” :
signaalverwerking binnenin
binair kanaal

