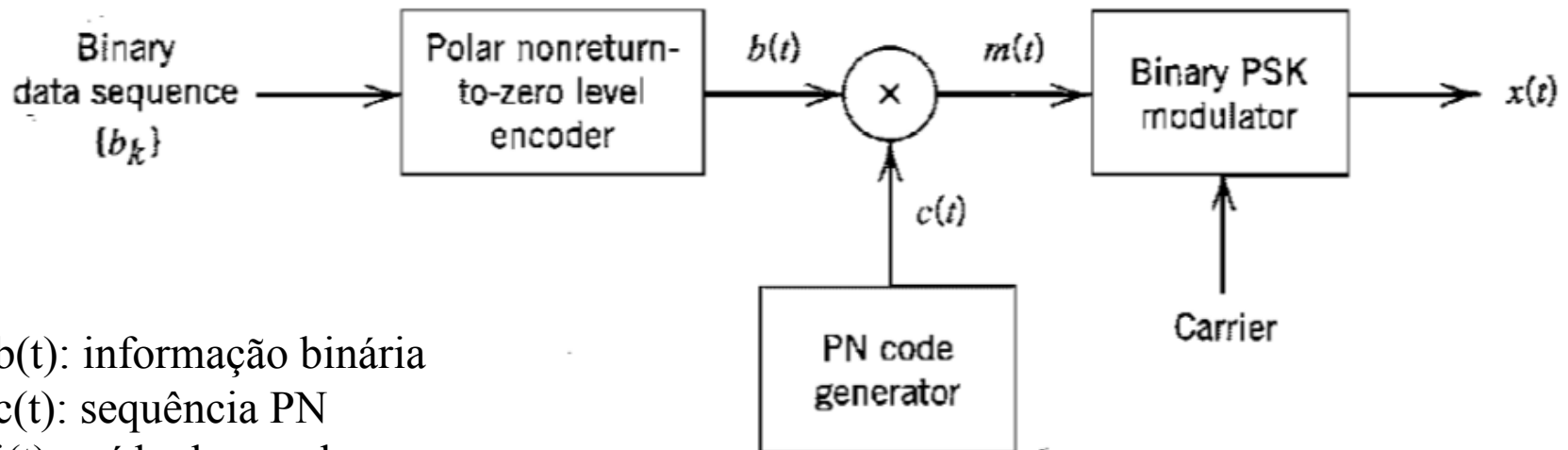


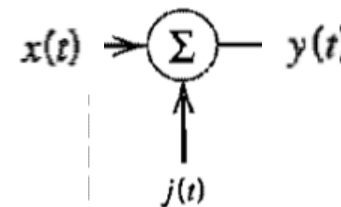
Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

□ Diagrama em blocos da modulação DSSS/BPSK:



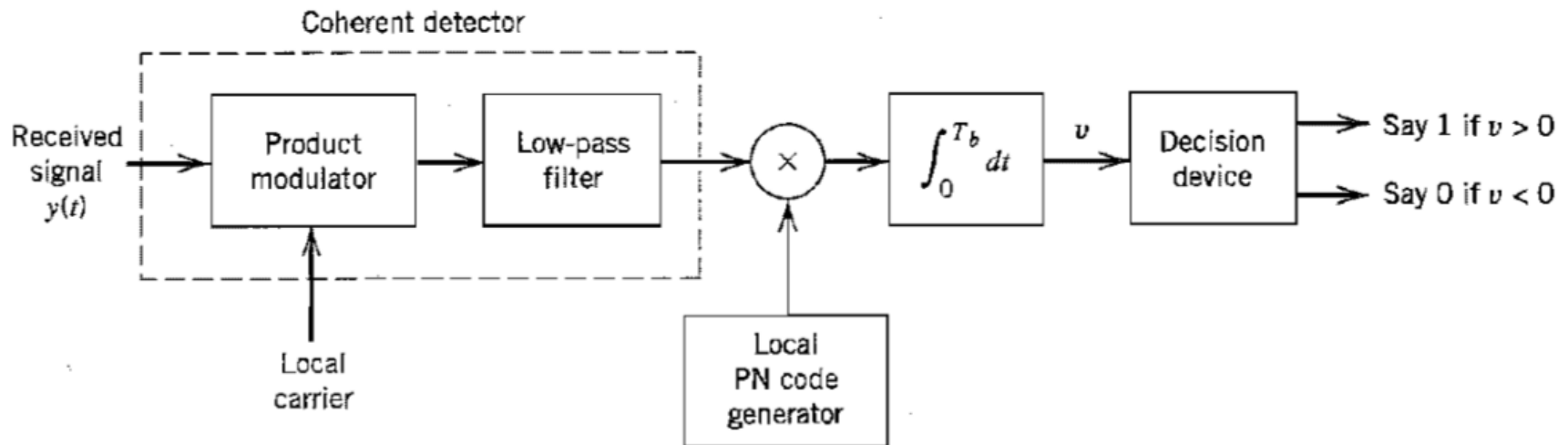
$b(t)$: informação binária
 $c(t)$: sequência PN
 $j(t)$: ruído do canal

Canal de comunicação:



Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

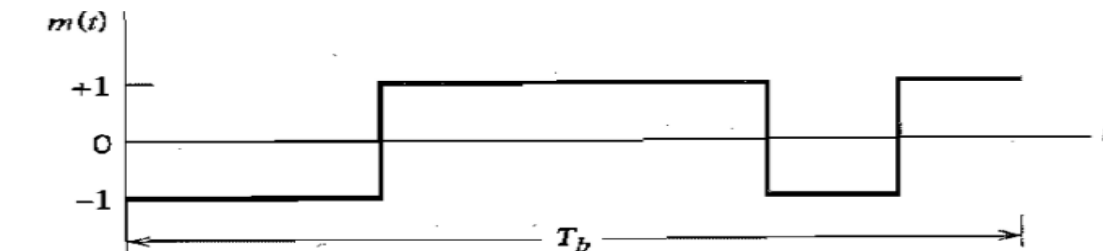
- Diagrama em blocos da demodulação DSSS/BPSK:



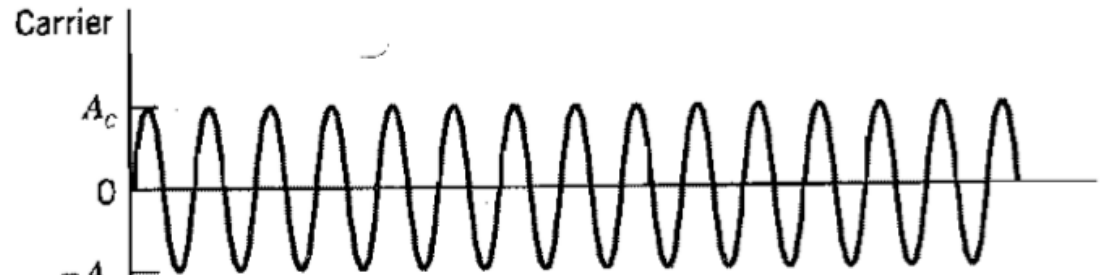
Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

□ Diagramas de tempos do modulador:

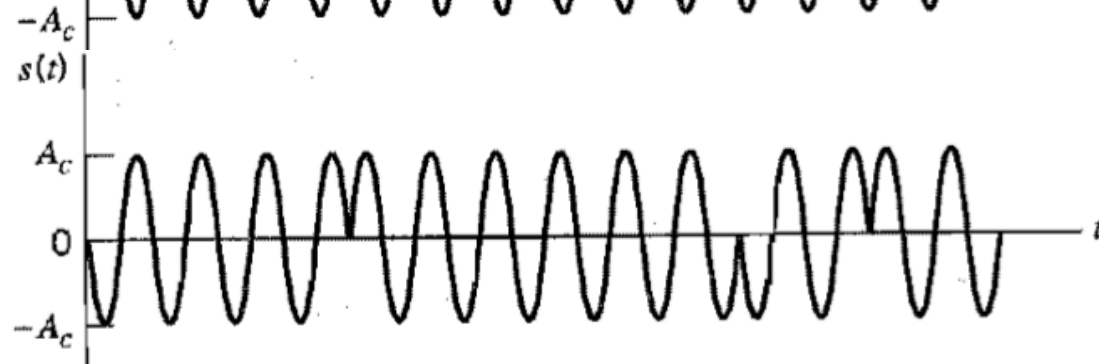
$m(t)$: informação modulada DSSS



$c(t)$: portadora



$s(t)$: sinal modulado



Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

▣ Probabilidade de Erro

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad \frac{E_b}{N_0} = \left(\frac{T_b}{T_c}\right)\left(\frac{P}{J}\right)$$

▣ Relação sinal/ruído de saída:

$$\frac{J}{P} = \frac{PG}{E_b/N_0}$$

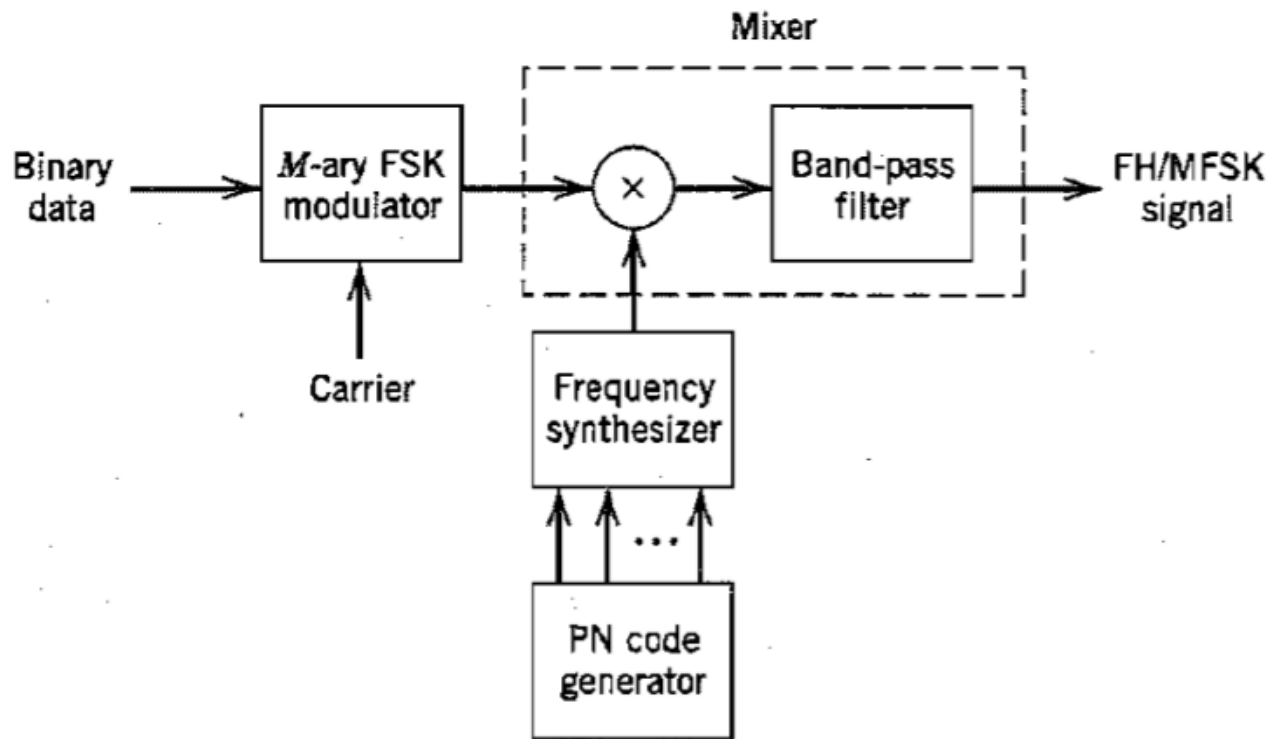
$$(SNR)_O = \frac{2T_b}{T_c} (SNR)_I$$

Espectro Espalhado por Salto de Frequência (FHSS)

- O espalhamento de espectro é feito de modo sequencial
- Os geradores de sequência pseudo-aleatória são usados para modular a frequência da portadora
- A demodulação é feita a partir da mesma sequência pseudo-aleatória utilizada na modulação
- Múltiplos símbolos são transmitidos por cada “salto” de frequência

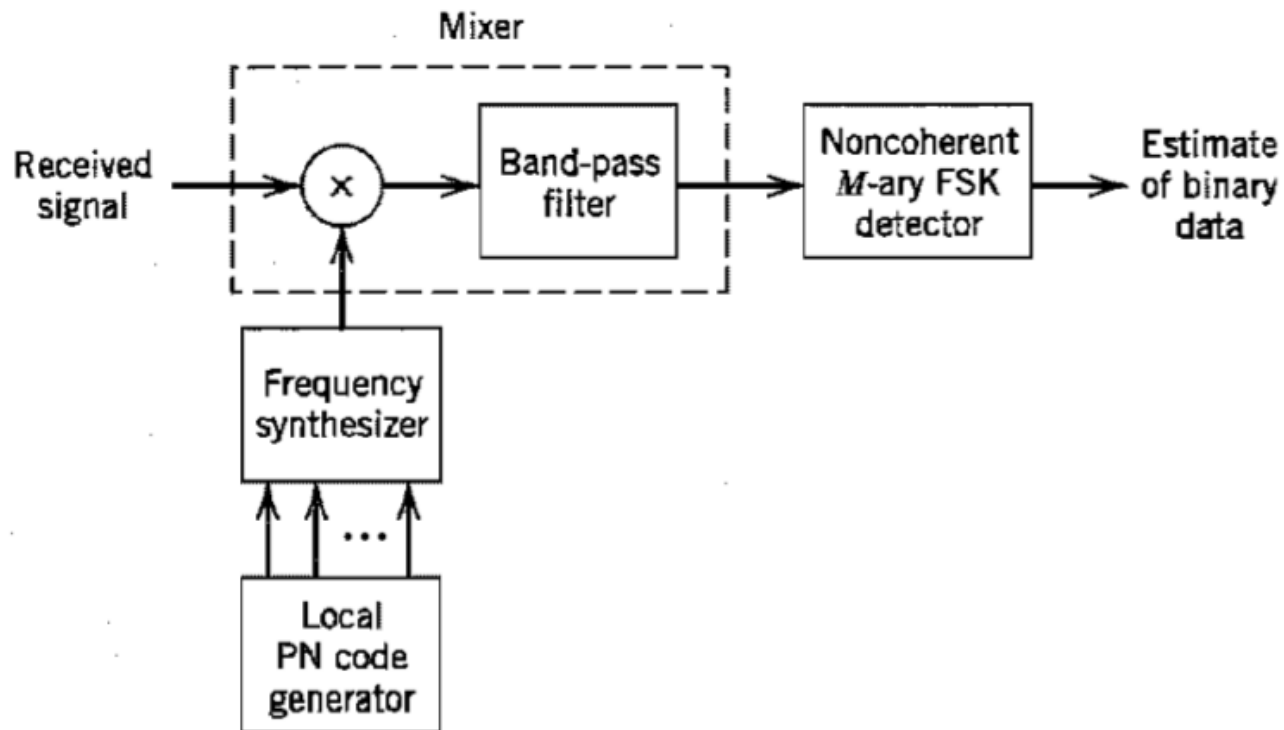
Slow-FHSS

- Diagrama em blocos da modulação FSK/FHSS:



Slow-FHSS

- Diagrama em blocos da demodulação FSK/FHSS:



Slow-FHSS

□ *Chip rate (R_c):*

□ taxa definida por:

$$R_c = R_s = \frac{R_b}{K} \geq R_h$$

□ Onde:

□ R_b: taxa de bit (*bit rate*)

□ R_h: taxa dos saltos de frequência (*hopping rate*)

□ R_s: taxa dos símbolos da mensagem (*symbol rate*)

$$K = \log_2 M$$

Slow-FHSS

- Para cada salto de frequência, os tons MFSK são separados por um múltiplo inteiro da taxa de chip, garantindo o critério de ortogonalidade
- Dessa forma a interferência inter-símbolos é minimizada na demodulação
- O ganho de processo é dado por:

$$PG = \frac{W_c}{R_s} = 2^k$$

- Onde:
 - W_c : banda passante total
 - R_s : taxa dos símbolos da mensagem (*symbol rate*)

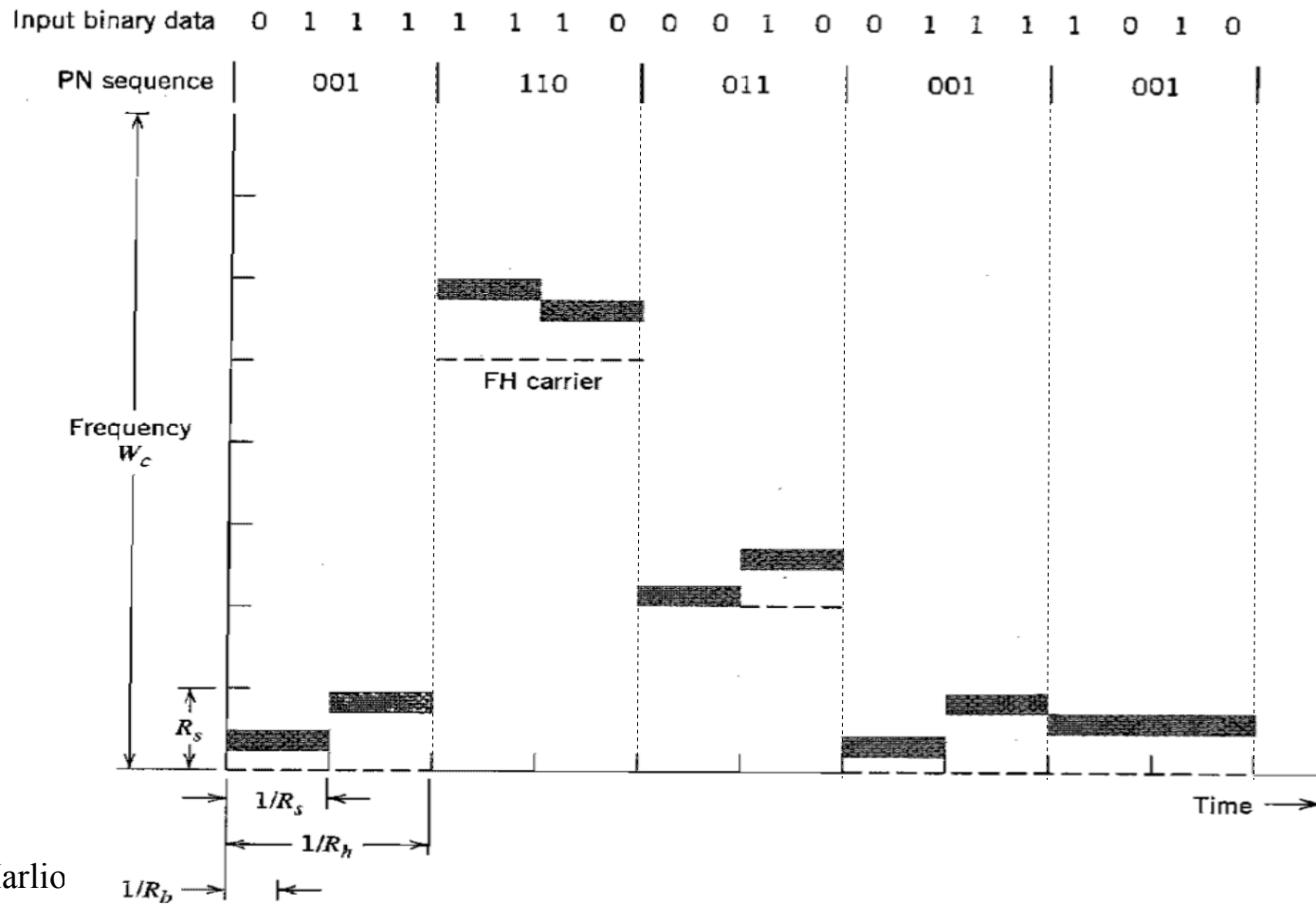
Slow-FHSS

- Exemplo de modulação *Slow-FHSS*:
 - Período da sequência PN: $2^M - 1 = 15$
 - Número de bits por símbolo: $K = 2$
 - Número de tons MFSK: $M = 2^K = 4$
 - Comprimento PN por salto: $k = 3$
 - Número total de saltos: $2^k = 8$
- Cada dois bits são representado por um ton

Input binary data	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	
PN sequence		0	0	1		1	1	0		0	1	1		0	0	1		0	0	1	

Slow-FHSS

Exemplo de modulação *Slow-FHSS*:



Slow-FHSS

Exemplo de modulação *Slow-FHSS*:

Input binary data	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0
PN sequence	001			110			011			001			001							

(a)



Exercícios

Exercício 9:

Para o exemplo anterior, determine as frequências do sinal modulado em cada período de símbolo ($1/R_s$), sabendo-se que:

- Tons: $t_1=1,25$ kHz; $t_2=2,5$ kHz; $t_3=3,75$ kHz; $t_4=5$ kHz
- Frequência central da portadora: $f_{cc}=1$ GHz

Obs: para a sequência binária apresentado no exemplo, devem ser calculadas 10 frequências do sinal modulado

Cada grupo de 2 bits gera um ton.