

# Modulações de Espectro Espalhado



- Propriedades
- Gerador de sequência aleatória
- Sequência Direta (DSSS)
- “Chirp” (CSS)
- Salto de Frequência (FHSS)
- Salto de Tempo (THSS)

# Modulações de Espectro Espalhado

- A frequência da portadora varia de acordo com regras pré-definidas
- A banda passante resultante é superior à banda da mensagem
- Vantagens:
  - Maior segurança na comunicação
  - Possibilidade de ocupação da mesma banda por diferentes “links” de comunicação
  - Maior imunidade às interferências e ruídos
  - Limita a densidade de fluxo de potência em determinadas frequências

# Modulações de Espectro Espalhado

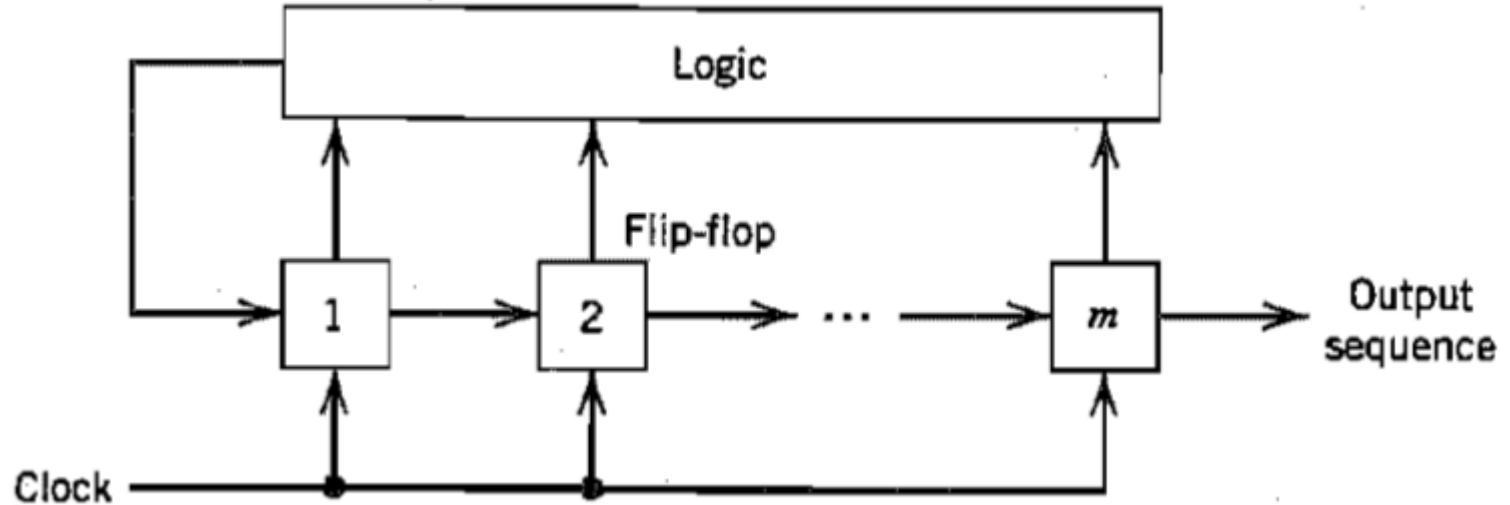
- Aplicações:
  - Comunicações via satélites
  - GPS (DSSS)
  - Telefonia celular CDMA (DSSS)
  - Wi-Fi IEEE 802.11 (DSSS)
  - Bluetooth (FHSS)
  - Telefones sem fio (FHSS)
  - Geração de clock em fontes chaveadas e sistemas digitais (SSC)

# Geradores de Sequência Aleatória

- São circuitos digitais capazes de gerar uma sequência pseudo-aleatória (PN)
- Formados por portas-lógicas e *flip-flops* e alimentados por um sinal de *clock* de frequência fixa
- A sequência é repetida a cada  $N$ -ciclos do *clock*

# Geradores de Sequência Aleatória

- Diagrama em blocos do registrador de deslocamento realimentado:



- $m$  flip-flops tipo D
- Circuito lógico combinacional

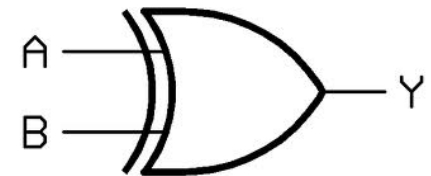
# Geradores de Sequência Aleatória

- Período de repetição do gerador PN:  $N \leq 2^m$
- Lógica de realimentação linear:
  - Composta por somadores de módulo 2 (Porta XOR)
  - Estado “zero” não permitido
  - Período da sequência:

$$N \leq 2^m - 1$$

- Período de sequência máxima:

$$N = 2^m - 1$$



A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

# Geradores de Sequência Aleatória

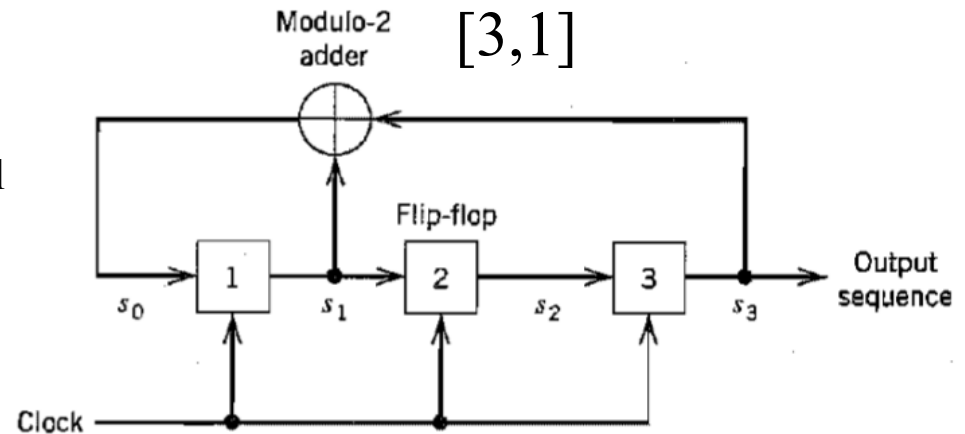
Exemplo:

$m=3$

	$s_0$	$s_1$	$s_2$	$s_3$
1	1	1	0	0
2	1	1	1	0
3	0	1	1	1
4	1	0	1	1
5	0	1	0	1
6	0	0	1	0
7	1	0	0	1
8	1	1	0	0
9	1	1	1	0

Cond. inicial

Período



Sequência de saída ( $s_3$ ):

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	1	1	0	1	0	0

# Geradores de Sequência Aleatória

## ▣ Propriedades do gerador PN de sequência máxima:

### ▣ Probabilidade de 1's e 0's:

$$P_{[1]} = \frac{1}{2^{m+1}} \quad P_{[0]} = \frac{1}{2^{m+1} - 1}$$

### ▣ O estado inicial dos *flip-flops* define a fase inicial da sequência

### ▣ Período da forma de onda:

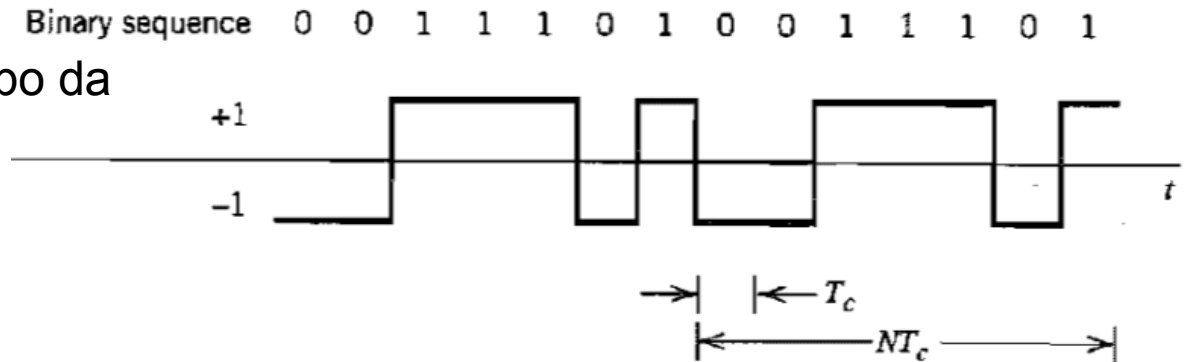
$$T_b = N T_c = 2^{m-1} T_c$$

onde:  $T_c$  = período de clock

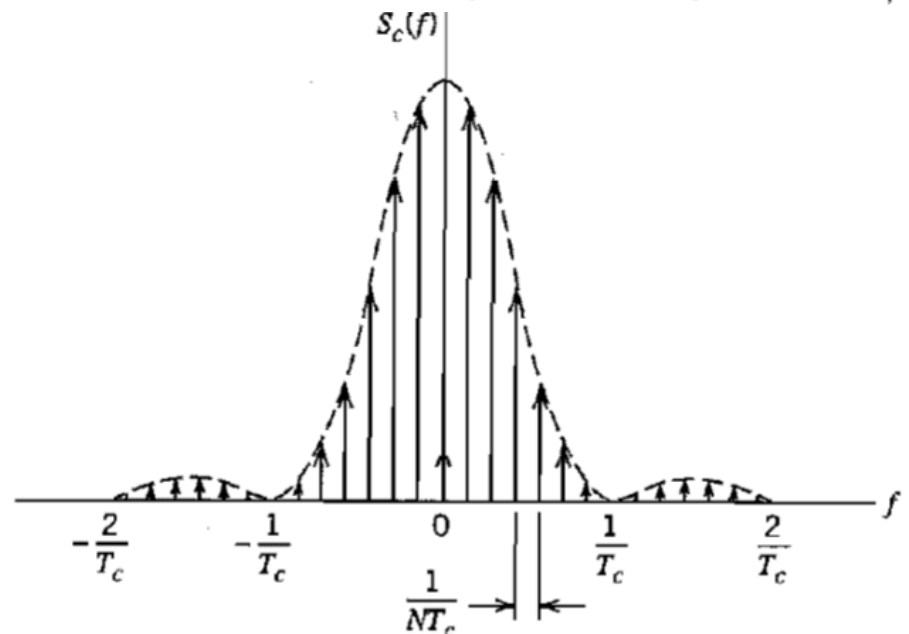


# Geradores de Sequência Aleatória

Forma de onda no tempo da sequência máxima:



Espectro de frequência:



# Geradores de Sequência Aleatória

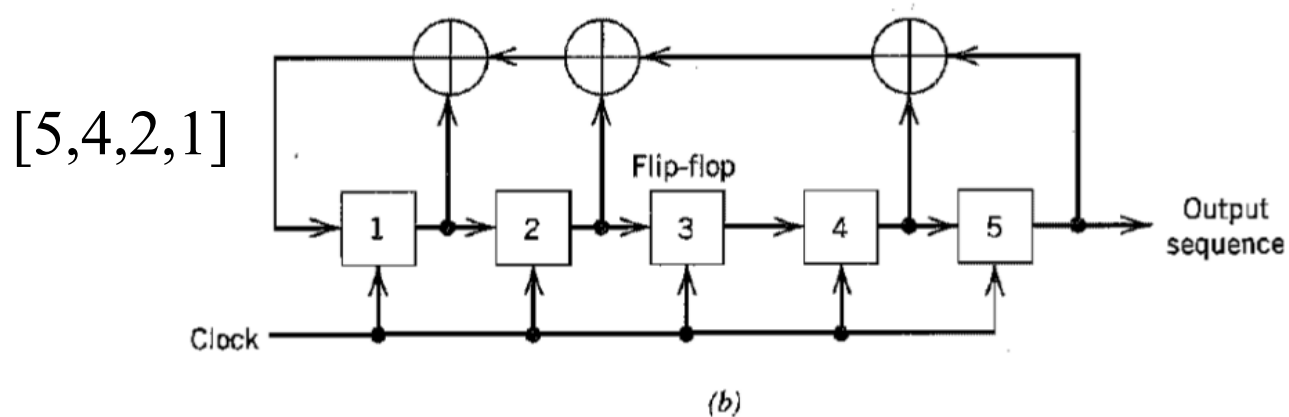
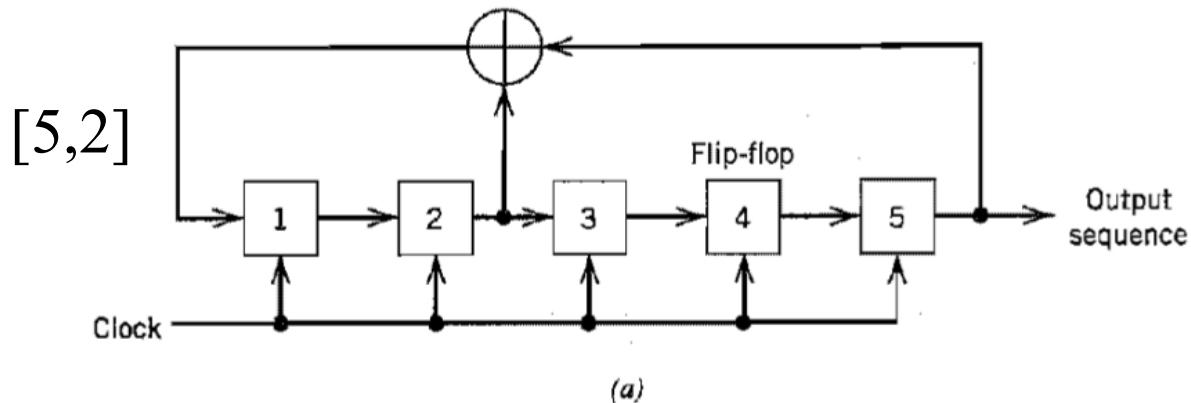
□ Realimentação para obter-se a sequência máxima:

<i>Shift-Register Length, m</i>	<i>Feedback Taps</i>
2*	[2, 1]
3*	[3, 1]
4	[4, 1]
5*	[5, 2], [5, 4, 3, 2], [5, 4, 2, 1]
6	[6, 1], [6, 5, 2, 1], [6, 5, 3, 2]
7*	[7, 1], [7, 3], [7, 3, 2, 1], [7, 4, 3, 2], [7, 6, 4, 2], [7, 6, 3, 1], [7, 6, 5, 2], [7, 6, 5, 4, 2, 1], [7, 5, 4, 3, 2, 1]
8	[8, 4, 3, 2], [8, 6, 5, 3], [8, 6, 5, 2], [8, 5, 3, 1], [8, 6, 5, 1], [8, 7, 6, 1], [8, 7, 6, 5, 2, 1], [8, 6, 4, 3, 2, 1]

# Geradores de Sequência Aleatória

Realimentação obter-se a sequência máxima:

$m=5$



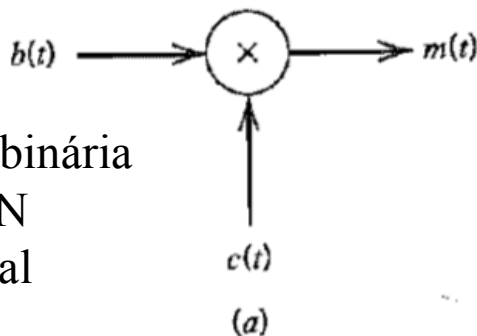
# Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

- A geração de sinais de espectro espalhado usa geradores de sequência pseudo-aleatória no processo de modulação
- A banda passante do sinal resultante é superior à do sinal modulante
- A demodulação é feita a partir da mesma sequência pseudo-aleatória utilizada na modulação
- Melhoria na SNR
- Codificação do sinal

# Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

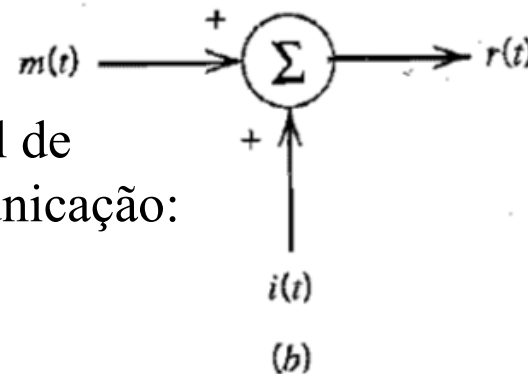
□ Diagrama em blocos da modulação DSSS em banda-base:

Modulador:

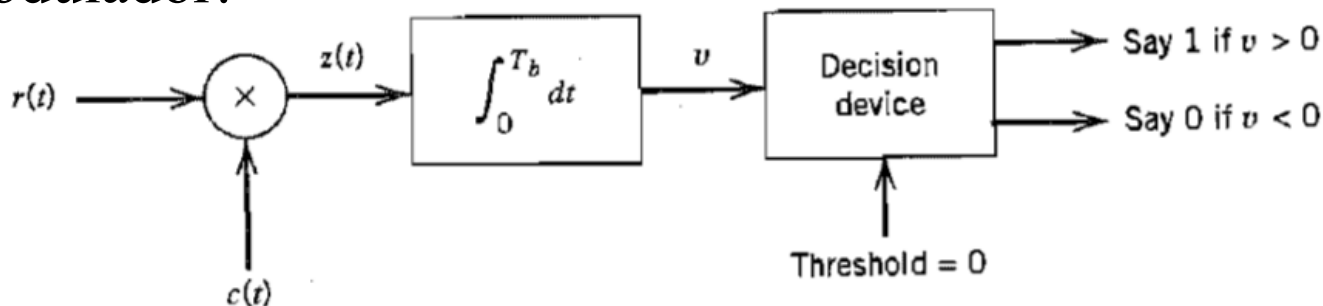


$b(t)$ : informação binária  
 $c(t)$ : sequência PN  
 $i(t)$ : ruído do canal

Canal de comunicação:



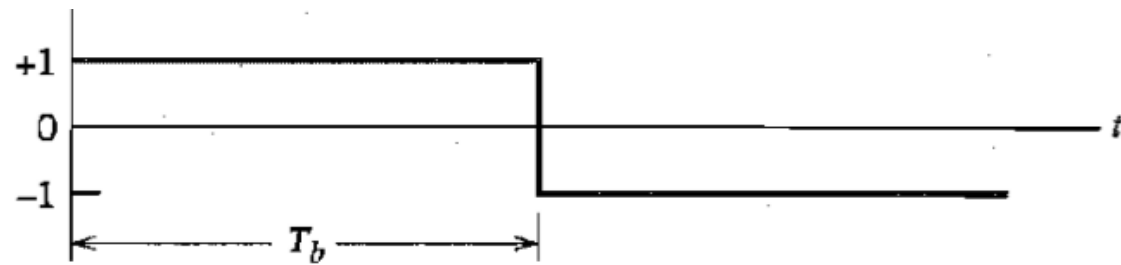
Demodulador:



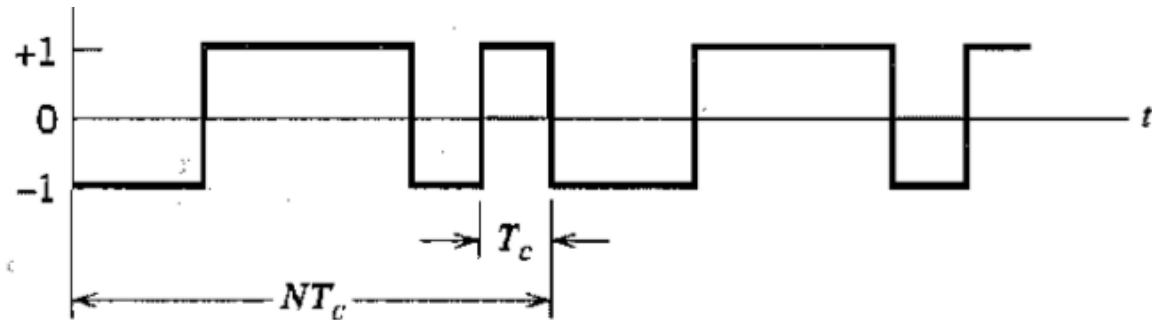
# Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

## Diagramas de tempos do modulador:

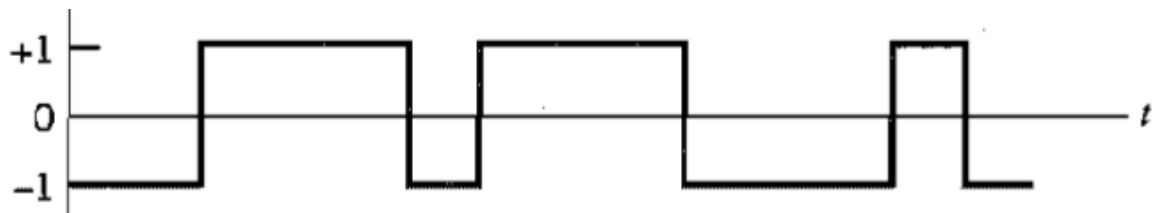
$b(t)$ : informação binária



$c(t)$ : código de espalhamento



$m(t)$ : sinal modulado



# Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

## □ Análise da demodulação:

Sinal recebido é multiplicado pela mesma sequência PN do modulador, resultando em:

$$\begin{aligned}z(t) &= c(t)r(t) \\ &= c^2(t)b(t) + c(t)i(t)\end{aligned}$$

Como  $c(t)$  é elevado ao quadrado, valores - transformam-se em +, resultando em:

$$c^2(t) = 1$$

Dessa forma pode-se simplificar  $z(t)$  em:

$$z(t) = b(t) + c(t)i(t)$$

# Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

## □ Análise da demodulação:

Após a filtragem passa-baixas, com frequência de corte igual à banda passante do sinal  $b(t)$ , recupera-se a informação inicial e o ruído é parcialmente eliminado, já que está espalhado no espectro através da operação  $c(t)i(t)$ :

Após a demodulação, potência do ruído do canal é distribuída ao longo de todo o espectro, resultando numa menor potência na região de interesse do espectro  $b(t)$

Isto resulta numa melhoria da relação sinal/ruído que é proporcional a  $m$



# Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

- Ganho de processamento: definido como o ganho na SNR pelo uso do espectro espalhado

$$PG = \frac{T_b}{T_c}$$

- Relação sinal/ruído de saída:

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

# Espectro Espalhado de Sequência Direta (DSSS)

Exercício: Seja um canal de comunicação que utiliza DSSS com um gerador de sequência PN de 8 bits, pede-se:

- a) Desenhe o diagrama em blocos do gerador PN com as devidas realimentações;
- b) Sabendo que a duração do bit é de 10 us, determine a frequência de clock do gerador PN e a largura aproximada do espectro resultante;
- c) Determine as características do filtro passa-baixas de modo a reduzir a potência da 1ª harmônica de um fator 100;
- d) Determine a  $SNR_{dB}$  na entrada de modo que na saída tenha-se  $(SNR_{dB})_O = 10$ .