

AT2 - Sistemas de Comunicação 2

Direct Sequence Spread Spectrum

DSSS

Leticia Coelho, Schaiana Sonaglio

Setembro 2018

1 Introdução

Este relatório apresenta os resultados de experimentos propostos na disciplina de Sistemas de Comunicação 2 (COM2), ministrada pelo professor Roberto da Nóbrega no curso de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de Santa Catarina. Os experimentos foram realizados no software Matlab®, a fim de proporcionar maior entendimento sobre o método de codificação digital DSSS (do inglês *Direct Sequence Spread Spectrum*).

2 Fundamentação teórica

2.1 Conceitos básicos

Nesta seção, serão apresentados alguns conceitos teóricos básicos para melhor entendimento dos resultados dos experimentos realizados.

2.2 DSSS

O DSSS é a sequência direta de espalhamento do espectro, que fornece uma densidade espectral de potência muito baixa através da potência do sinal sobre uma faixa de frequência muito larga. Requer uma largura de faixa mais larga, logo, é ideal para transmitir taxas de dados mais baixas.[3]

Esta técnica é utilizada nas redes locais sem fio, WiFi 802.11b e 802.11g 802.11n, e na telefonia móvel de 3ª geração, W-CDMA e Wideband Code Division Multiple Access.[3]

O DSSS combina um sinal de dados enviado pelo transmissor com uma alta taxa de sequência de *bit rate*, permitindo aos receptores filtrar sinais que não utilizam o mesmo padrão, incluindo ruídos ou interferências. O transmissor gera um código de *chip* e apenas os receptores que conhecem o código são capazes de decifrar os dados.[3]

2.3 DS-CDMA (do inglês *Direct Sequence - Code-division multiple access*)

Na transmissão do espectro de dispersão DS, o sinal de dados do usuário é multiplicado por uma sequência de código. Na maioria das vezes, são usadas sequências binárias. A duração de um elemento no código é chamada de tempo de chip. A razão entre o tempo do símbolo do usuário e o tempo do chip é chamada de fator de espalhamento. O sinal de transmissão ocupa uma largura de banda que é igual ao fator de propagação vezes a largura de banda dos dados do usuário.[1]

2.4 LFSR (do inglês *Linear-feedback shift register*)

O LFSR é um registrador de deslocamento de feedback linear, onde o bit de entrada é uma função linear do seu estado anterior.[2]

Geralmente, a função linear utilizada é o XOR (Ou exclusivo), sendo assim, o LFSR é, na maioria das vezes, um registrador de deslocamento onde o bit de entrada é acionado pelo XOR de alguns bits do valor geral do registrador de deslocamento.[2]

O valor inicial do LFSR é chamado de semente e, como a operação do registrador é determinística, o fluxo de valores produzidos pelo registrador é completamente determinado pelo seu estado atual (ou anterior). Da mesma forma, como o registrador tem um número finito de estados possíveis, ele deve eventualmente inserir um ciclo de repetição. No entanto, um LFSR com uma função de feedback bem escolhida pode produzir uma sequência de bits aparentemente aleatória e tem ciclo longo.[2]

Aplicações de LFSRs incluem geração de números pseudo-aleatórios, sequências de pseudo-ruído, contadores digitais rápidos e sequências de clareamento. Ambas as implementações de hardware e software de LFSRs são comuns.[2]

3 Experimentos práticos

Nos tópicos a seguir, serão apresentados os quatro experimentos propostos seus resultados.

3.1 Experimento 1: Sistema DSSS

O sistema DSSS, demonstrado na Figura 1, foi implementado considerando as seguintes especificações:

- Número de bits transmitidos: $N_b = 1000$.
- Código: pseudo-aleatório de período: $L = 200$.
- Número de chips por bit de informação: $N = 10$.
- Modulação BPSK com $f_c = 40\text{kHz}$.

- Número de amostras por chip: **100**.
- Taxa de bits: $R_b = 1\text{kbit/s}$

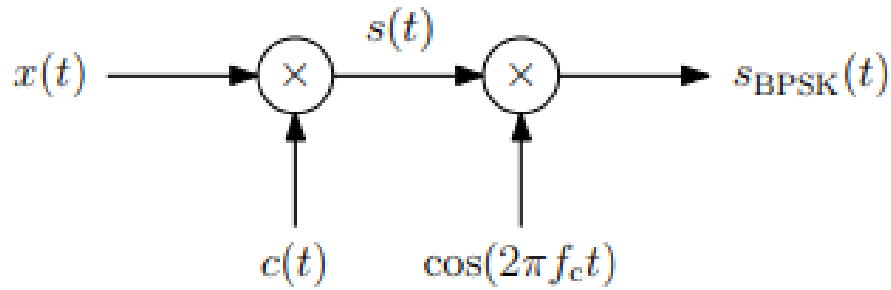


Figure 1: Sistema DSSS proposto. Fonte: Material fornecido pelo professor.

3.1.1 Resultados

A Figura 2 demonstra o sinal de informação $x(t)$, o sinal de código $c(t)$, o sinal de informação codificado $s(t)$ e o sinal s_{BPSK} . Observando a figura, vemos que o sinal $s(t)$ é o sinal codificado, ou seja, é resultado da multiplicação do sinal de informação pelo sinal de código. Certificou-se de que o resultado está correto pois, quando $x(t) = -1$, o sinal $s(t)$ recebe o valor de $c(t)$ invertido, caso aconteça o contrário, quando $x(t) = 1$, o valor de $c(t)$ é mantido no sinal $s(t)$. Na última parte da figura, há a multiplexação BPSK, ou seja, a multiplicação do sinal $s(t)$ pela portadora. Verificamos que o experimento está correto, pois são apresentadas duas frequências no sinal s_{BPSK} , referentes ao sinal $s(t)$ e ao sinal da portadora. A Figura 3 demonstra o espectro no domínio da frequência dos sinais citados anteriormente.

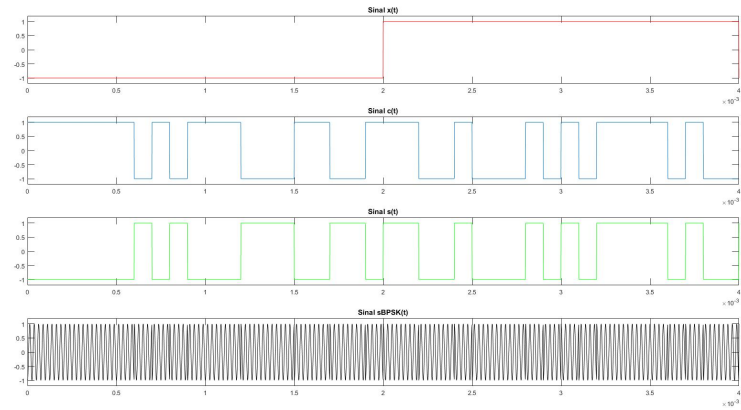


Figure 2: Formas de onda no domínio do tempo. Fonte: Elaboração Própria.

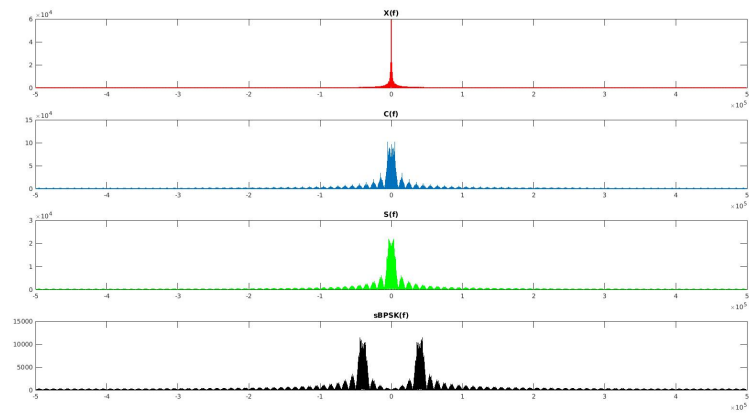


Figure 3: Espectros no domínio da frequência. Fonte: Elaboração Própria.

3.2 Experimento 2: Sistema DS-CDMA

O sistema DS-CDMA, demonstrado na Figura 4, foi implementado considerando as seguintes especificações:

- Número de bits transmitidos: $N_b = 1000$.
- Código: pseudo-aleatório de período: $L = 200$.
- Número de chips por bit de informação: $N = 10$.
- Modulação BPSK com $f_c = 40\text{kHz}$.
- Número de amostras por chip: 100.
- Taxa de bits: $R_b = 1\text{kbit/s}$

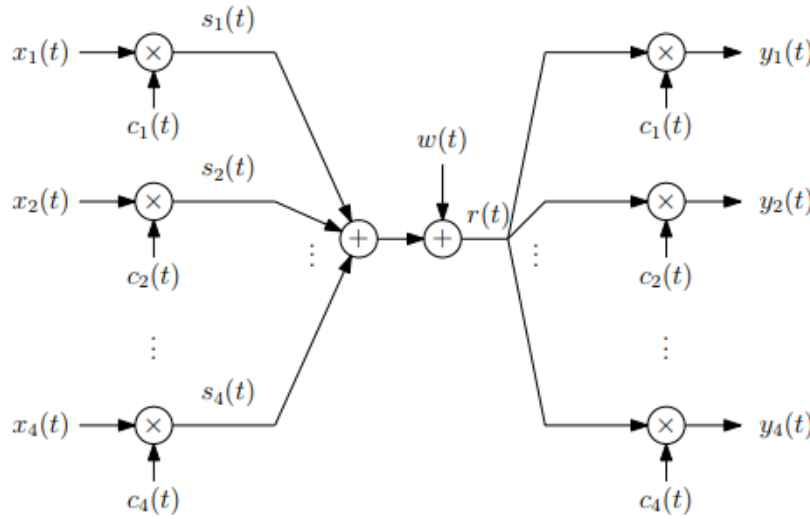


Figure 4: Sistema DS-CDMA proposto. Fonte: Material fornecido pelo professor.

3.2.1 Resultados

O sistema DS-CDMA simulado possui como entrada os sinais $x_1(t)$ a $x_4(t)$ que podem ser verificados na Figura 5 polarizados e super-amostrados. A Figura 6 demonstra os sinais $s_1(t)$ a $s_4(t)$ que são a informação codificada, ou seja a multiplicação de $x(t)$ pelo código de Walsh-Hadamard em $c_1(t)$, a $c_4(t)$. A Figura 7 demonstra o sinal $r(t)$ que é resultante da soma dos sinais $s_1(t)$ a $s_4(t)$, sendo o sinal para transmissão. Por fim, a Figura 8 demonstra a saída do correlator, ou seja, o sinal $r(t)$ multiplicado pelo código em $c_1(t)$ a $c_4(t)$ onde a correlação dos sinais resulta na sua decodificação.

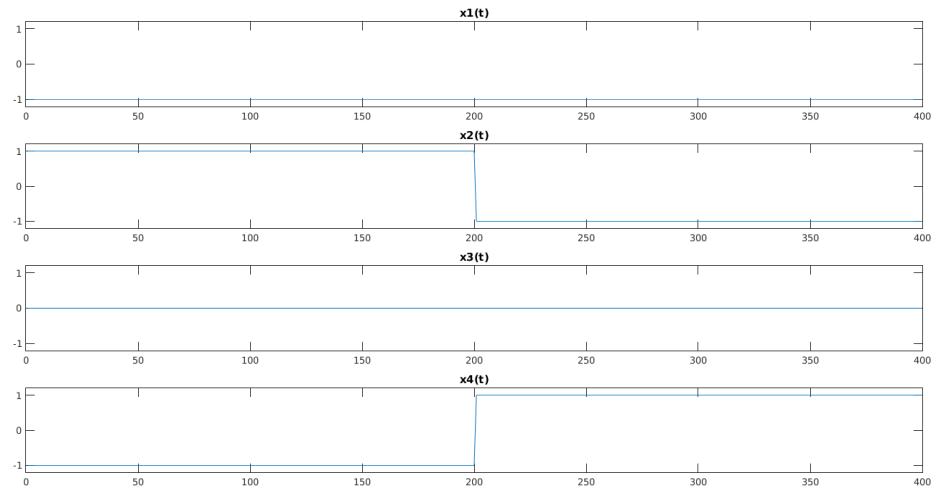


Figure 5: Informação - $x_1(t)$ a $x_4(t)$. Fonte: Elaboração Própria.

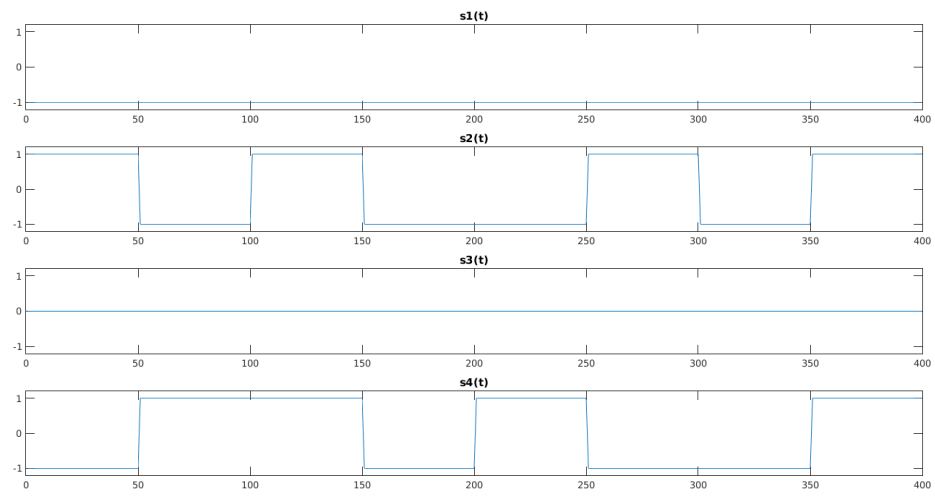


Figure 6: Informação codificada - $s_1(t)$ a $s_4(t)$. Fonte: Elaboração Própria.

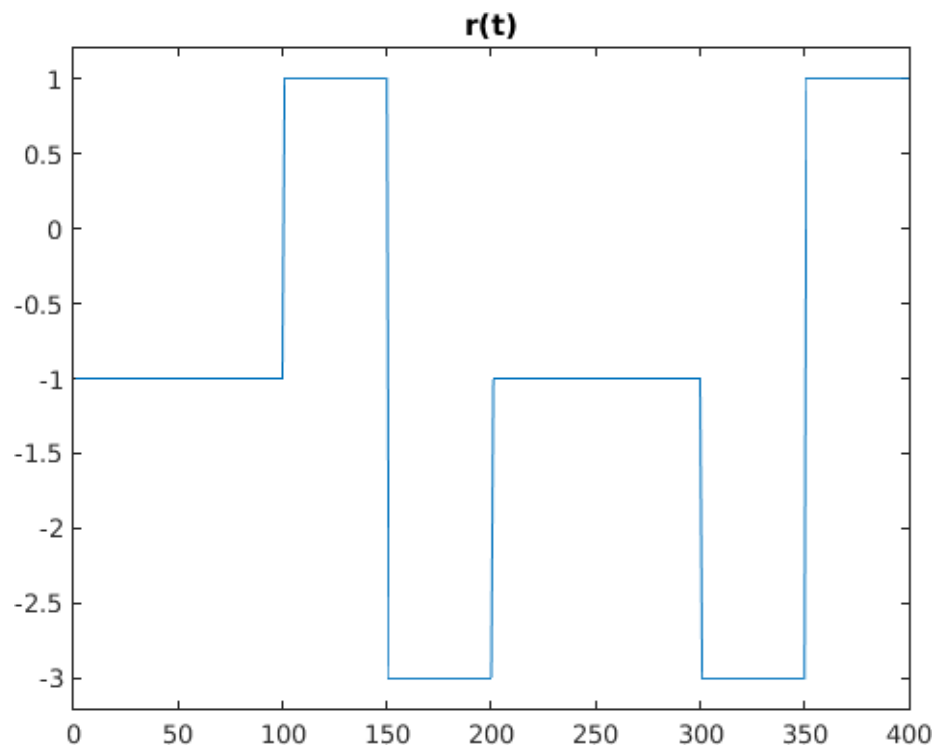


Figure 7: Informação transmitida - $r(t)$. Fonte: Elaboração Própria.

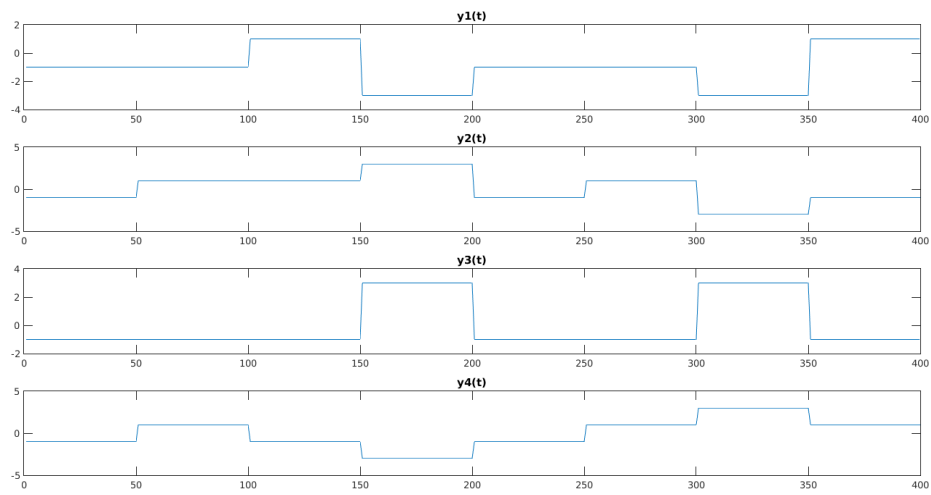


Figure 8: Informação correlacionada - $y_1(t)$ a $y_4(t)$. Fonte: Elaboração Própria.

3.3 Experimento 3: LFSR

A função que implementa um gerador de sequência binária pseudo-aleatórias, via registrador de deslocamento com realimentação, possui como característica os seguintes valores de entrada e saída:

Valores de entrada:

- Vetor indicando quais são as conexões (*taps*) de realimentação.
- Estado inicial dos registradores. Deve ser um vetor binário com m elementos.

Como saída:

- Sequência binária pseudo-aleatória gerada (0s e 1s)

Para testar a função utilizou-se os exemplos em [Haykin, 4Ed, Seção 7.2].

3.3.1 Resultados

Conforme observado na Figura 9, a função de autocorrelação dos exemplos do livro foi representada de maneira correta, se observarmos o período em cada um dos exemplos. No primeiro, o período da função foi 7, nas demais, foi 31, respeitando a equação 1, com $M = 3$ e $M = 5$, respectivamente.

Observando a autocorrelação dos exemplos 2 e 3 na figura, vemos que, para dois tipos de *taps* diferentes, temos o mesmo resultado. A autocorrelação do exemplo 4, onde foi gerada uma sequência pseudo-aleatória `randi([0 1], 1, 31)` também se comportou conforme esperado, sendo uma versão aproximada das duas anteriores.

$$N = 2^M - 1 \quad (1)$$

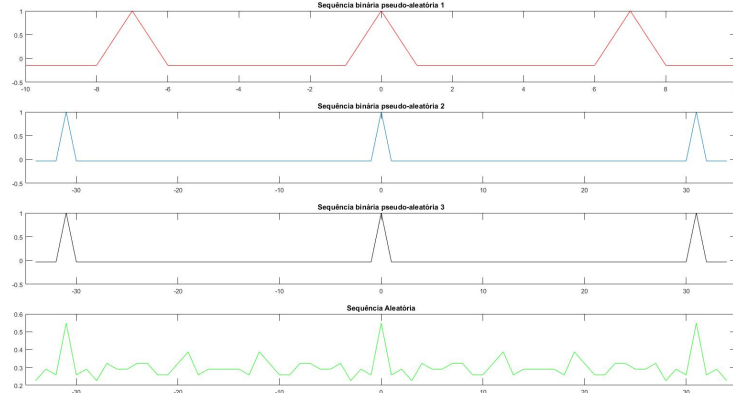


Figure 9: Autocorrelação de sequência binárias pseudo-aleatória e sequência aleatória. Fonte: Elaboração Própria

3.4 Experimento 4: Simulação de um sistema proposto

Este experimento utiliza a função implementada no *Experimento 3*, considerando a sinalização polar, em tempo discreto e banda base, para implementar o sistema demonstrado pela Figura 10.

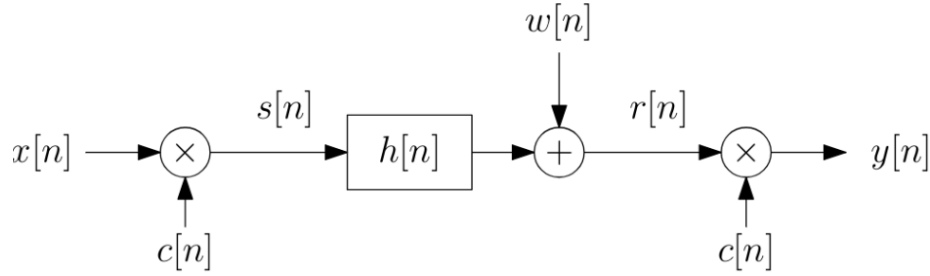


Figure 10: Sistema proposto. Fonte: Material fornecido pelo professor.

- Código: MLS com $m = 7$.
- Número de chips por bit de informação N igual ao período do código.
- Número de bits transmitidos: $N_b = 100000$.
- Canal de comunicação dado por $\mathbf{h}[n] = [2 \ -0.5 \ 0.5]$.
- E_b/N_0 no RX variando de 0 a 10dB, com passo de 1 dB.
- Probabilidade de erro de bits simulada.
- Probabilidade de erro de bits teórica.

3.4.1 Resultados

Conforme observado na Figura 11, o desempenho de erro de bit simulado ficou semelhante ao teórico, obtido através da equação 2.

$$Pb = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2)$$

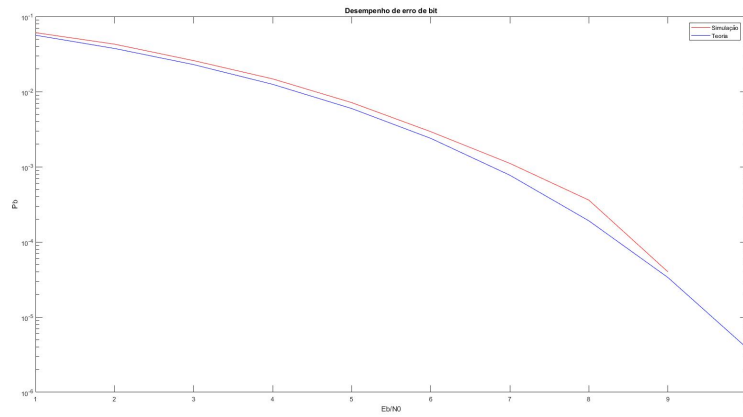


Figure 11: Probabilidade de erro de bit teórica e prática. Fonte: Elaboração Própria.

4 Conclusão

Com a realização destes experimentos, conclui-se que as técnicas de espalhamento de frequência no espectro são importantes, pois são altamente resistentes a interferências, interceptação, demodulação indesejada e desvanecimento plano. Por estas consequências positivas, a técnica é altamente utilizada para redes locais sem fios e na telefonia móvel, provendo melhores soluções para os usuários.

References

- [1] JPL's Wireless Communication Reference Website. *Direct Sequence CDMA*.
<http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/cdma/dscdma.htm>.
- [2] Wikipédia. *Linear-feedback shift register*.
- [3] Wikipédia. *DSSS*. <https://pt.wikipedia.org/wiki/DSSS>.