

## Simulação de um Transmissor/Receptor para um sistema de Espalhamento de Espectro por Sequência Directa

P. Silva, J. N. Matos

**Resumo** – O trabalho que se apresenta neste artigo, tem como objectivo proporcionar uma melhor compreensão do processo de Modulação e Desmodulação de sinais com Espalhamento de Espectro por Sequência Directa. Para cumprir os nossos objectivos, foi desenvolvido um simulador que permite a visualização do sinal em diversos pontos dentro do Emissor e do Receptor.

Embora a utilização de simuladores / demonstradores como aplicação didáctica não seja uma ideia inovadora, este trabalho pretende realçar a sua importância no processo de aprendizagem, podendo estas ferramentas serem utilizados como complemento de aulas e livros técnicos.

### I. INTRODUÇÃO

O espectro de rádio frequência é um recurso muito importante que tem que ser preservado, uma vez que se trata de um recurso finito e reutilizável. É reutilizável, no sentido em que quando uma pessoa deixa de utilizar uma determinada frequência outro utilizador pode começar. Recorrendo à técnica de Espalhamento de Espectro, é possível partilhar a mesma banda de frequência sem que isso cause um grau de interferência perceptível.

Este método, é particularmente importante juntamente com a técnica de Code Division Multiple Access (CDMA). Para além da reutilização da mesma banda de frequência, este tipo de modulação possui outros atractivos, como sejam, resiste a interferências intencionais e não intencionais, consegue eliminar ou atenuar o efeito da dispersão multipercurso e oferece um certo grau de privacidade, devido à utilização de códigos de espalhamento pseudo - aleatórios. Para além destas propriedades, pode ainda ser utilizado como meio de localização de veículos, devido à sua capacidade de alcance durante a utilização simultânea do canal [1].

Por vezes, torna-se difícil a compressão do conceito de um determinado sistema devido à sua complexidade e/ou aleatoriedade. O objectivo deste trabalho, é proporcionar uma mais fácil compreensão do processo de modulação e desmodulação de sinais utilizando Espalhamento de Espectro por Sequência Directa. O recurso a um programa de simulação, que permita a visualização do sinal em diversos pontos dentro do Emissor e Receptor, poderá ser particularmente útil no que concerne ao processo de aprendizagem do funcionamento deste sistema.

### II. TÉCNICAS DE ESPALHAMENTO DO ESPECTRO

Um sistema de comunicação digital é considerado um sistema de Espalhamento de Espectro se:

- o sinal transmitido ocupa uma largura de banda maior que a largura de banda mínima necessária para a transmissão da informação;
- o alargamento da banda é conseguido com recurso a um código, o qual é independente dos dados a transmitir.

Apesar de técnicas de modulação mais comuns, tais como a modulação em frequência (*FM*) e a modulação por impulsos codificados (*PCM*), satisfazerem a primeira condição, não constituem técnicas de espalhamento de espectro uma vez que não satisfazem a segunda condição.

Existem basicamente três tipos de sistemas de Espalhamento de Espectro: por Sequência Directa (*Direct-Sequence - DS/SS*), por Saltos na Frequência (*Frequency-Hopping - FH/SS*) e por Saltos no Tempo (*Time-Hopping - TH/SS*). No transmissor, o sinal de dados é tornado dependente de um sinal Pseudo-Aleatório (*PN*). Para que seja possível a recuperação do sinal de dados por parte do receptor, este tem que ter conhecimento da forma do sinal Pseudo-Aleatório utilizado na Transmissão.

Este simulador foi concebido para demonstração de um sistema *DS/SS* com modulação *BPSK* (binary phase-shift keying), devido à popularidade deste tipo de sistemas. O sinal *DS/SS* é obtido através da multiplicação da mensagem por um sinal Pseudo-Aleatório de banda larga., tendo o produto resultante, um aspecto semelhante a um sinal de ruído de banda larga. Este sinal de banda larga, é por sua vez utilizado para modular uma portadora segundo a técnica *BPSK*.

A modulação *FH/SS* é efectuada de forma semelhante à modulação *FDM* (*frequency division multiplex*), mas no primeiro sistema, a banda ocupada por um canal específico varia periodicamente de uma forma determinada por um sinal Pseudo-Aleatório.

A modulação *TH/SS* é análoga à modulação *TDM* (*Time Division Multiplex*), mas o *time-slot* ocupado é função de uma sequência Pseudo-Aleatória.

## A. Transmissor

O diagrama de blocos de um transmissor *DS/SS* com modulação *BPSK* encontra-se representado na Fig. 1. A mensagem binária  $b(t)$  pode ser definida como:

$$b(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} b_k p_T(t - kT) \quad (1)$$

onde  $b_k$  representa o  $k$ -ésimo bit e pode tomar valores  $\pm 1$ ;  $T$  representa a duração do bit. A mensagem  $b(t)$  é espalhada pelo sinal Pseudo-Aleatório  $c(t)$ . O sinal resultante é por sua vez multiplicado por uma portadora, resultado no sinal *SS/DS – BPSK*, representado pela equação:

$$s(t) = Ab(t)c(t)\sin(2\pi f_c t + \theta) \quad (2)$$

onde  $A$  representa a amplitude,  $f_c$  e  $\theta$  são respectivamente a frequência e fase da portadora. Cada *bit* do sinal *PN* é denominado por *chip* e tem duração  $T_c$ .

No simulador, considera-se que a duração de um *bit* do sinal de mensagem é igual ao período do sinal *PN* ( $T = NT_c$ ).

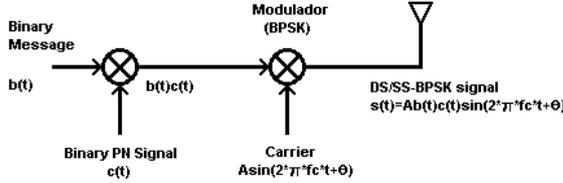


Fig. 1 - Diagrama de blocos do transmissor DS/SS - BPSK.

## B. Receptor

A primeira operação efectuada no receptor, consiste na conversão do sinal transmitido para um sinal de banda estreita. Este sinal, é posteriormente desmodulado obtendo-se de novo a mensagem inicial. O diagrama de Blocos do receptor encontra-se representado na Fig 2.

O sinal que chega ao receptor pode ser definido pela equação:

$$s(t - \tau) + n(t) = Ab(t - \tau)c(t - \tau)\sin(2\pi f_c(t - \tau) + \theta) + n(t) \quad (3)$$

onde  $n(t)$  corresponde a ruído adicionado e  $\tau$  representa o atraso de propagação. Multiplicando o sinal recebido pelo mesmo sinal *PN* utilizado no emissor, resulta no sinal  $w(t)$  (4), uma vez que o produto de dois sinais iguais com valores  $\pm 1$  é igual à unidade.

$$w(t) = Ab(t - \tau)\sin(2\pi f_c t + \theta') \quad (4)$$

com  $\theta' = \theta - 2\pi f_c \tau$ .

Para realizar a desmodulação de um sinal BPSK efectua-se uma operação de correlação seguida de um bloco de *thresholding*. Considerando que a frequência  $f_c$  e a fase  $\theta'$  são conhecidas pelo receptor, a operação de correlação resulta em:

$$z_i = \int_{t_i}^{t_i+T} w(t) \sin(2\pi f_c t + \theta') dt \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &= A \int_{t_i}^{t_i+T} b(t - \tau) \sin^2(2\pi f_c t + \theta') dt \\ &= \frac{A}{2} \int_{t_i}^{t_i+T} b(t - \tau) \{1 - \cos(4\pi f_c t + 2\theta')\} dt \end{aligned} \quad (6)$$

onde  $t_i = iT + \tau$  corresponde instante inicial do  $i$ -ésimo *bit*. O segundo termo de equação (6) é aproximadamente zero após integração e o termo  $b(t - \tau)$  toma valores  $\pm 1$ , dando origem am  $\pm T$ . O sinal resultante da operação anterior corresponde a  $z_i = \pm AT/2$ . O bloco de *thresholding* permite a recuperação do sinal de mensagem binário.

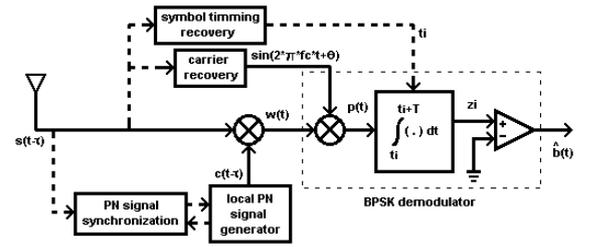


Fig. 2 – Diagrama de blocos do receptor DS/SS

## C. Sequências PN

As sequências *PN* são utilizadas para aumentar o espectro do sinal transmitido e para codificar a mensagem. Estas sequências são geradas de uma forma determinística, pois o transmissor e o receptor devem ambos ter conhecimento do seu formato, caso contrário seria impossível a recuperação da mensagem.

Uma das classes mais importantes de sequências *PN* é constituída pelas sequências de máximo comprimento ou sequências-m. Estas sequências são geradas usando *shift-registers* lineares realimentados e circuitos constituídos por *gates* do tipo *OR*. Um *shift-register* linear é definido por um polinómio  $g(x)$  de grau  $m > 0$ , onde:

$$g(x) = g_m x^m + g_{m-1} x^{m-1} + \dots + g_1 x + g_0. \quad (7)$$

Uma sequência binária gerada através de um *shift-register* que possua período  $N = 2^m - 1$  é designada por sequência de máximo comprimento ou sequência-m. O polinómio que dá origem a estas sequências é designado por polinómio primitivo.

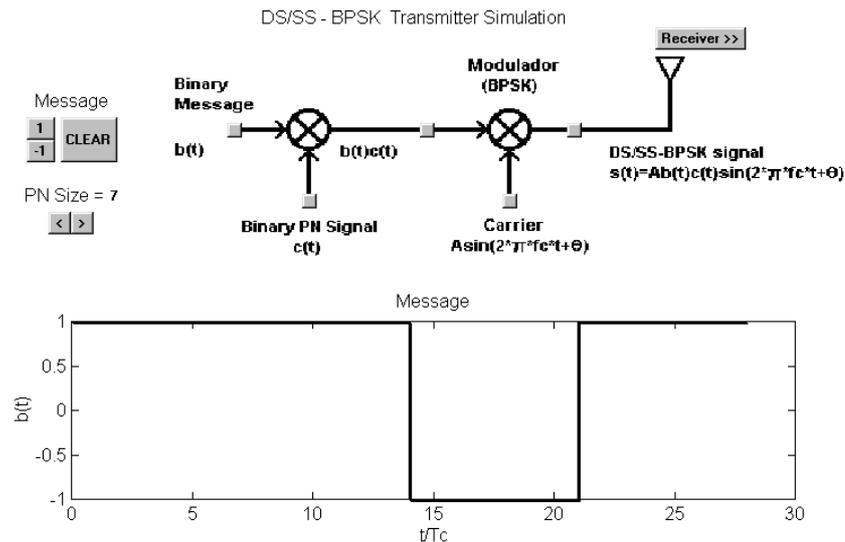


Fig. 3 – Janela de Simulação do Transmissor

A utilização de seqüências-m nos sistemas de Espalhamento de Espectro resulta no facto de estas seqüências apresentarem propriedades importantes. Uma dessas propriedades, reside no facto de que a função de autocorrelação normalizada de uma seqüência ser igual a 1, para  $i = 0 \pmod N$  e  $-1/N$  par  $i \neq 0 \pmod N$ , o que representa uma vantagem no processo de sincronismo. Outras propriedades podem ser encontradas em [1].

IV. O SIMULADOR

O programa de simulação foi desenvolvido em linguagem Matlab [2] e é basicamente constituído por quatro funções. Para obter os sinais PN foi desenvolvida uma função que gera seqüências-m com comprimento entre  $2^2-1$  e  $2^{10}-1$ . Estas seqüências são obtidas recorrendo a uma implementação da forma de um *shift-register*.

Para realizar as operações efectuadas pelo transmissor e pelo receptor, foram desenvolvidas duas funções distintas. Cada uma destas funções pode ser executada separadamente.

O programa de simulação é constituído por duas janelas. Uma das janelas é utilizada para simular o comportamento do transmissor. A outra janela destina-se à visualização dos sinais dentro do circuito do receptor.

A janela que representa o transmissor apresenta-se na Fig. 3. No canto superior esquerdo pode-se visualizar a existência de alguns botões com a função de construir a mensagem a ser transmitida e definir o comprimento da seqüência Pseudo-Aleatória utilizada. O esquema do transmissor possui diversos botões dispostos ao longo do circuito. Estes botões, quando accionados, permitem a visualização do sinal nos respectivos pontos. Estes sinais surgem representados na parte inferior da janela (Fig. 3).

Apresenta-se em seguida, um exemplo bastante simples de simulação da transmissão de uma mensagem constituída pela seqüência: 1, 1, -1 e 1 (Fig. 3).

O sinal Pseudo-Aleatório utilizado para Espalhar o sinal de dados possui um comprimento igual a sete ( $T=7Tc$ ) e é apresentado na Fig. 4(a). O sinal de banda larga, resultante do produto da mensagem pelo sinal PN, é representado pela Fig. 4(b). Este sinal, vai em segunda modular uma portadora com período igual à duração do *chip* ( $1/f_c=Tc$ ), resultando no sinal DS/SS como se mostra na Figura 4(c).

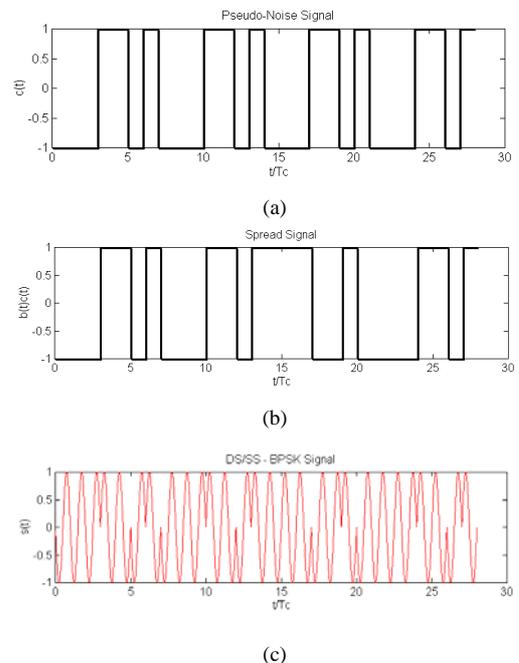


Fig. 4 (a), (b) e (c) – Sinais no Transmissor

O conceito usado no transmissor é dual do conceito usado no receptor. Na Figura 5, encontra-se representada

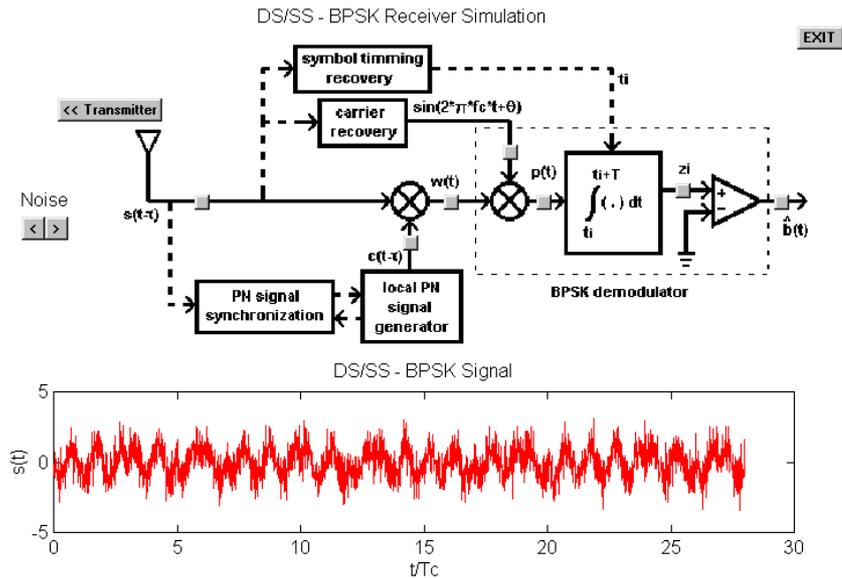


Fig. 5 – Janela de Simulação do Receptor

a janela correspondente à simulação do receptor. Este simulador, permite a introdução de ruído resultante do canal de transmissão. Os botões de controlo situados no canto superior esquerdo, destinam-se a aumentar ou diminuir a potência do ruído introduzido pelo canal. O sinal recebido adicionado com ruído branco Gaussiano, encontra-se representado na parte inferior da Fig. 5.

da Figura 6(b). A operação de correlação resulta no sinal apresentado na Fig. 6(c). A Figura 6(d) representa a mensagem recuperada após a passagem pelo bloco de *thresholding*.

## V. CONCLUSÕES

A visualização dos sinais nos diferentes pontos de um circuito, tornam mais fácil a compreensão do seu modo de funcionamento. Deste modo, embora envolvendo conceitos básicos, produtos deste género assumem particular importância na área do ensino. O simulador aqui apresentado é um exemplo particular aplicado à demonstração do funcionamento de sistemas de Espalhamento de Espectro por Sequência Directa.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. Lam, S. Tantaratana, Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems, IEEE/EAB, May 1994
- [2] Matlab, by MathWorks, inc, 1994

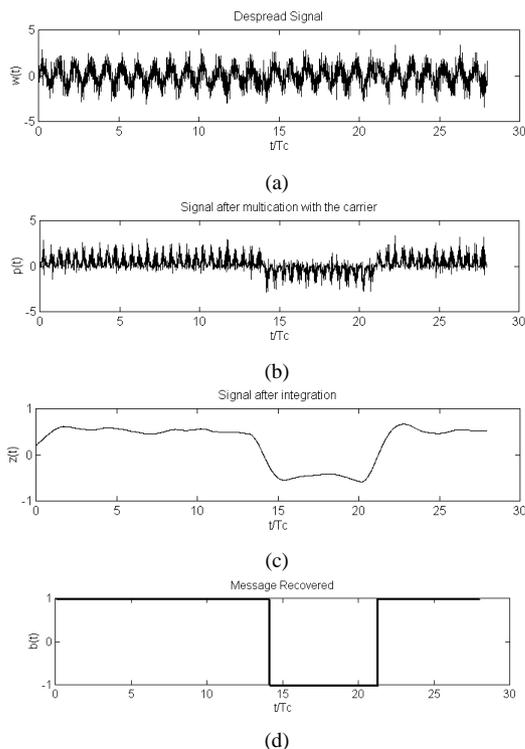


Fig. 6 (a), (b) (c) e (d) – Sinais no Receptor

Continuando o exemplo anterior, na Figura 6(a) pode ser visualizado o sinal após a operação de *despreading*. O sinal obtido após a desmodulação da portadora, resulta no sinal