

Desempenho de Códigos Espaço-Temporais Utilizando Estimação Cega de Canal

George A. da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte

Juraci F. Galdino

Instituto Militar de Engenharia

Francisco M. de Assis

Universidade Federal da Paraíba

gasilva@digi.com.br, galdino@dee.ufpb.br, fmarcos@dee.ufpb.br

RESUMO

Este artigo apresenta resultados de desempenho de códigos espaço-temporais considerando canais com interferência intersimbólica e a existência de erros de estimação de canais. A resposta ao impulso do canal (CIR) foi estimada utilizando um identificador cego de canal que implementa o método dos subspaços. A identificação cega foi adotada devido ao crescente interesse em comunicações digitais de alta taxa, caso no qual se torna interessante esta abordagem.

Embora tenham sido obtidos bons resultados com a utilização do receptor cego, a combinação do efeito de interferência intersimbólica e erros de estimação de canal reduziram o ganho do código espaço-temporal quando comparado ao ganho obtido em canais planos com conhecimento ideal do estado do canal.

1. INTRODUÇÃO

Após o trabalho de Divsalar and Simon [1], muitas técnicas têm sido propostas para melhorar o desempenho de sistemas de comunicações que envolvem canais caracterizados pelo efeito de desvanecimento.

Tarokh et ali [2] complementaram o trabalho de Divsalar [1] combinando diversidade espaço-temporal e codificação definindo a expressão codificação espaço-temporal (*space-time coding*).

Após [2], muitos trabalhos têm sido publicados analisando o desempenho desses códigos, porém, geralmente admitindo-se nessas análises conhecimento ideal do estado do canal ou de sua resposta impulsional (CIR, do termo em inglês *channel impulse response*).

Sabe-se que esquemas de codificação espaço-temporal permitem melhorar sensivelmente o desempenho de sistemas de comunicações em canais modelados pelo efeito de desvanecimento lento, quando a resposta impulsional do canal.

Em virtude dos bons resultados reportados pelo uso de tais códigos para canais com desvanecimento lento e

plano, muitos trabalhos propõem utilizá-los em canais que seguem outros modelos. No entanto, até onde abrange o conhecimento dos autores, existem poucos resultados de simulações de desempenho desses códigos nessas condições.

Identificação cega de canal é outro tema que vêm sendo estudado por muitos pesquisadores. As pesquisas realizadas nessa área vislumbram diversas aplicações. Dentre as quais, busca-se aumentar a vazão em sistemas de comunicações móveis que utilizam o uso periódico de seqüências de treinamento.

Outro importante cenário para aplicação dessas técnicas é em canais seletivos e invariantes no tempo, nos quais o envio de seqüência de treinamento para sintonizar usuários que entram em instantes aleatórios no sistema sobrecarrega sobremodo o processamento central.

Existem diversas abordagens para implementação da identificação cega. Entretanto, os métodos baseados em propriedades de processos cicloestacionários, por empregarem apenas estatísticas de segunda ordem, têm recebido especial atenção nos últimos anos.

As propriedades de processos cicloestacionários podem ser reproduzidas adotando-se diversidade espacial ou temporal. A primeira, podendo ser implementada com o uso de várias antenas de recepção, a segunda, por outro lado, pode ser obtida com o uso de superamostragem no receptor.

Neste artigo propõe-se combinar essas duas promissoras técnicas para implementar esquemas de comunicações digitais em canais modelados pelo efeito de desvanecimento lento, quase-estático, e seletivo em frequência. O desempenho do esquema proposto é avaliado, mediante simulação computacional utilizando a técnica de Monte-Carlo.

Os resultados mostram uma degradação das vantagens do código no ambiente investigado quando comparada a resultados obtidos em condições ideais.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma: o modelo do sistema avaliado é descrito na Seção 2, os resultados de simulação são apresentados na Seção 3 e as conclusões são resumidas na Seção 4.

2. MODELO DO SISTEMA

O diagrama de blocos simplificado do modelo do sistema de comunicação aqui estudado é mostrado na Figura 1. Como mostrado, os esquemas investigados podem empregar n antenas no transmissor e m antenas no receptor.

Os dados dos usuários são codificados em n filas de dados que são utilizados como entradas para moduladores independentes. Diferentes antenas irão transmitir simultaneamente as saídas dos moduladores. Desta forma, em cada instante de tempo t , a saída do modulador i é um sinal c_t^i que é transmitido usando a antena de transmissão i , com $1 \leq i \leq n$.

O sinal em cada antena de recepção é a superposição de n sinais transmitidos, distorcidos pelo canal e corrompido pelo ruído. Os elementos da constelação de sinais são escolhidos para que a energia média da constelação seja 1.

O processo de demodulação na recepção calcula a estatística de decisão baseada nos sinais recebidos em cada antena de recepção. O sinal r_t^j recebido pela antena j no instante t é dado por

$$r_t^j = \sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^L \mathbf{a}_k^{ij} \cdot c_{t-k}^i + \mathbf{h}_t^j$$

com o ruído \mathbf{h}_t^j sendo modelado por uma variável aleatória gaussiana complexa com média zero, c_t^i representando o sinal da constelação transmitido pela antena i , os termos \mathbf{a}_k^{ij} representando o desvanecimento do k -ésimo percurso que vai da antena de transmissão i para a antena de recepção j e L a memória do canal.

Dois modelos de canais foram utilizados neste artigo. O primeiro define um canal com desvanecimento plano e o segundo define um canal seletivo em frequência.

No canal plano ($L=0$), os termos \mathbf{a}^{ij} são modelados como variáveis aleatórias gaussianas complexas com média zero e variância unitária. O canal seletivo em frequência é modelado como um filtro transversal com $(L+1)$ linhas com espaçamento igual a um intervalo de sinalização. Neste caso, os termos \mathbf{a}_k^{ij} são modelados como variáveis aleatórias gaussianas complexas com média zero e variância dada pelo perfil de espalhamento temporal.

Para o canal seletivo dois perfis foram investigados: (0.5, 0.3, 0.2) e (0.7, 0.2, 0.1). Para simplificar a notação,

esses perfis serão rotulados como 532 e 721, respectivamente. Seguindo a mesma notação, o canal plano será rotulado por 100.

Para os dois ambientes tratados neste artigo considera-se que a resposta ao impulso do canal é constante durante a transmissão de um bloco e varia entre dois blocos (desvanecimento quase estático).

O crescente interesse em comunicações digitais com altas taxas de dados torna os métodos de identificação cega bastante atrativos, desde que, eles não requerem transmissão de seqüências de treinamento. Além disto, o uso de esquemas de codificação eficientes em conjunto com técnicas robustas e rápidas de identificação cega podem permitir o projeto de sistemas de comunicação para altas taxas com bom desempenho. Neste trabalho os parâmetros do canal foram estimados utilizando técnicas de identificação cega de canais.

Sabe-se que estatísticas de segunda ordem da saída de um processo estacionário não contém informação suficiente para identificar processos que possuem densidade espectral de potência com zeros arbitrariamente posicionados no plano Z . Apenas sistemas de fase-mínima ou de fase-máxima podem ser estimados.

Em virtude dos canais de comunicações possuírem espectros com zeros arbitrariamente posicionados, os primeiros esquemas bem sucedidos de identificação cega de canais utilizavam estatísticas de ordem superior do sinal recebido. É importante elucidar que o termo

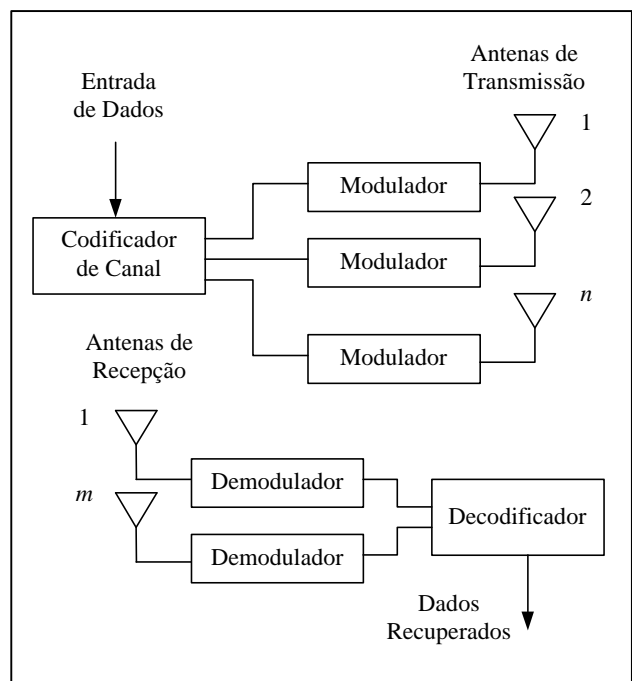


Figura 1. Modelo do Sistema.

superior designa o uso de momentos de ordem estatística superior a dois, do sinal recebido.

Embora os algoritmos baseados em estatísticas de ordem superior apresentem bons resultados de estimação para canais invariantes no tempo, eles requerem uma grande quantidade de amostras de dados para obtenção das estatísticas limitando sua aplicação.

Mais recentemente, uma abordagem para identificação cega baseada em estatísticas de segunda ordem foi proposta. Essa abordagem usa diversidade espacial ou temporal para recuperar a informação de fase perdida de um filtro transversal. Esse algoritmo requer menos amostras de dados em comparação com os métodos baseados em estatísticas de ordem superior. Um dos problemas das técnicas baseadas em diversidade é que o desempenho é severamente degradado quando os subcanais obtidos com a diversidade compartilham zeros comuns.

Diversas abordagens baseadas em estatísticas de segunda ordem tem sido propostas nos últimos anos. Em particular, neste trabalho, foi utilizado o método dos subespaços [6]. A idéia básica por trás desta técnica consiste na estimação dos parâmetros desconhecidos através da exploração de dois subespaços ortogonais: o subespaço sinal e o subespaço ruído. Maiores detalhes acerca do desenvolvimento desta técnica podem ser encontrados em [6].

3. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Nesta seção são apresentados resultados de simulações dos esquemas de recepção aqui propostos. Os resultados aqui discutidos foram obtidos considerando duas antenas transmissoras e uma antena receptora. Além disso, os dados transmitidos foram divididos em 50000 blocos, cada qual contendo 160 símbolos. No início de cada bloco sorteia-se um novo canal, estatisticamente independente do anterior.

Neste artigo emprega-se diversidade temporal que é obtida com superamostragem. Em particular, nas simulações aqui realizadas usa-se um fator de superamostragem igual a 2. No entanto, é importante elucidar que o processo de decodificação é todo ele realizado na taxa de símbolos.

Em todos os resultados obtidos utilizou-se os primeiros 30 símbolos de cada quadro para identificar o canal. Estes símbolos não foram considerados para medir a probabilidade de erro.

Nas Figuras 2 a 5 são apresentados resultados de simulação de sistemas codificados e não codificados, para os três perfis de espalhamento temporal, com e sem erro de estimação de canal.

Nas legendas dessas figuras o rótulo *Ncod* refere-se a simulação de sistema com modulação 4PSK sem codificação, o rótulo *Cod4s* refere-se à simulação de um sistema com codificação espaço-temporal de 4 estados apresentados em [2], os rótulos *100*, *532* e *721* referem-se ao modelo de canal conforme definido anteriormente e o rótulo *e* refere-se a resultados de desempenho de sistemas com erros de estimação de canal.

Na Figura 2 são apresentados curvas de probabilidade de erro para o sistema não codificado com modulação 4PSK considerando os três modelos de canais estudados, com estimação ideal e identificação cega de canal. As curvas 1, 2 e 3 apresentam resultados de desempenho do sistema com estimação ideal, ao passo que, as curvas 4, 5 e 6 apresentam os resultados de desempenho com a CIR obtida utilizando o método dos subespaços.

No canal com desvanecimento plano (curvas 1 e 4), os erros de estimação causados pelo identificador de canal resultaram em uma pequena degradação no desempenho. Por outro lado, para canais seletivos o desempenho foi severamente degradado pelos erros na identificação do canal.

Entretanto, como pode ser observado nessa Figura, a degradação de desempenho do esquema de recepção avaliado depende do perfil considerado. Em particular, para o perfil *721* verificou-se um desempenho pior do que com o perfil *532*. Isto pode ser constatado comparando as curvas 3 – 6 e 2 – 5 da Figura 2.

O pior desempenho obtido considerando o perfil de espalhamento *721* foi determinada pelo baixo desempenho da técnica de identificação cega neste caso.

Apesar de não ter sido apresentado curvas contemplando este fato, observou-se que para este perfil foram sorteados mais CIR com zeros que se aproximavam da condição desfavorável para estimação do canal e, é importante mencionar que toda a massa de dados, exceto os 20 primeiros símbolos de cada bloco de informação foram utilizados para computar a curva de probabilidade de erro do sistema.

É interessante observar que estes efeitos podem ser reduzidos aumentando o fator de superamostragem, utilizando de forma conjunta diversidade temporal e espacial ou adotando-se procedimentos para detecção de falhas de estimação do algoritmo cego. Entretanto, essas soluções podem aumentar a complexidade do receptor.

Outro aspecto a ser enfatizado é que o desenvolvimento de técnicas de identificação cega baseadas em estatísticas de segunda ordem é uma área de pesquisa ativa e um tópico em aberto é o desenvolvimento de técnicas robustas ao efeito de compartilhamento de zeros comuns.

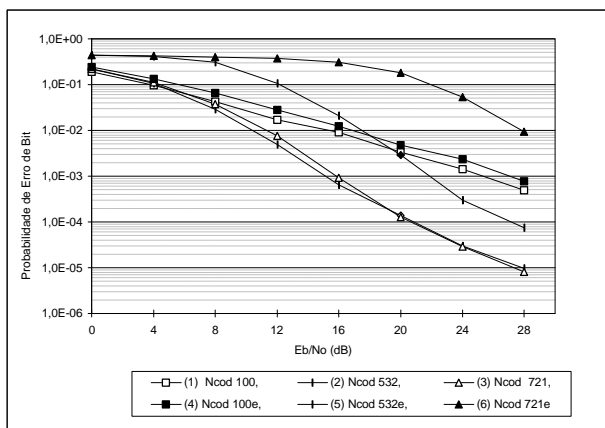


Figura 2 – Desempenho do sistema 4PSK não codificado. Curvas 1 a 3 mostram os resultados de desempenho considerando CSI ideal, curvas 4 a 6 mostram os resultados de desempenho de sistemas com identificação cega de canais.

Outro resultado importante a ser observado é que considerando estimação ideal e desvanecimento seletivo em frequência obtém-se resultados de desempenho melhores que em canais com desvanecimento plano, como pode ser observado comparando as curvas 2 e 3 com a curva 1. Este ganho acontece pois o espalhamento no tempo provocado pelo canal seletivo, no caso de estimação ideal, introduz uma diversidade temporal na transmissão do sinal, melhorando o desempenho.

Na Figura 3 são apresentadas curvas de desempenho dos esquemas de recepção aqui investigados para canais com desvanecimento plano. Nesta Figura foram incluídas curvas obtidas considerando estimação ideal e estimação cega fornecida pelo método dos subespaços. Para esses dois casos são apresentados resultados de sistema com e sem codificação.

Pode-se observar que mesmo considerando os erros de estimação da CIR, os ganhos de codificação são mantidos.

As curvas 1 e 2 mostram o desempenho de um sistema não codificado com modulação 4PSK considerando estimação ideal e considerando erro de estimação provocado pelo método de identificação de canal, respectivamente. As curvas 3 e 4 foram obtidas considerando as mesmas condições de simulação das curvas 1 e 2, mas para um sistema com codificação espaço-temporal com 4 estados.

Os resultados obtidos estão em conformidade com os apresentados em [7], sendo que nesse artigo a variância do erro de estimação é dado pelo limitante de Cramer-Rao. Em particular, para uma taxa de erro de 10^{-3} o ganho de codificação é de aproximadamente 8 dB.

Na Figura 4 são apresentados resultados de simulação dos sistemas codificados. Nesta Figura são mostradas curvas considerando estimação ideal e identificação de

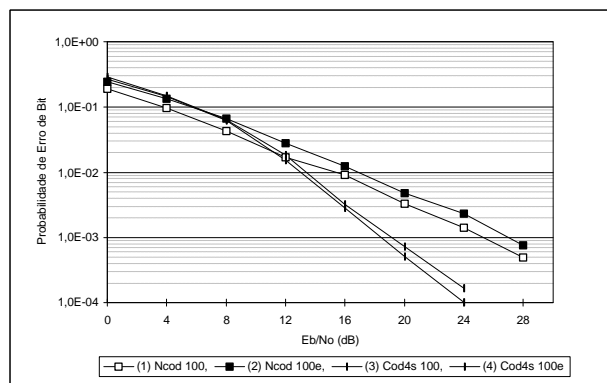


Figura 3 – Desempenho de Sistemas em canais com desvanecimento plano. Curvas 1 e 2 mostram resultados de desempenho de sistemas não codificados, curvas 3 e 4 mostram resultados de desempenho de sistemas codificados.

canal pelo método dos subespaços. Para estes dois casos são apresentados resultados para canais planos e seletivos em frequência.

O desempenho do sistema codificado considerando estimação ideal em canal plano e nos dois perfis de canal seletivo analisados são apresentados nas curvas 1, 2 e 3.

Observa-se que o sistema codificado apresenta praticamente o mesmo desempenho nos três modelos de canal investigados, ao contrário do que aconteceu com o sistema não codificado.

Observa-se também que, nestes casos, o desempenho do sistema codificado é pior que o sistema não codificado. Em particular, considerando uma relação sinal ruído de 20 dB, a probabilidade de erro do sistema não codificado é de 10^{-4} (Figura 2), enquanto que a probabilidade de erro do sistema codificado é de $3 \cdot 10^{-4}$ (Figura 4).

Por outro lado, no caso de desvanecimento plano o código resultou em um ganho de desempenho, como pode ser observado comparando os resultados de simulações apresentados nas Figuras 2 e 4.

Deve-se enfatizar que o código foi otimizado para canais planos, e, portanto, seu desempenho em canais seletivos em frequência é questionável, embora análises apresentadas em [7] indiquem que o desempenho seja mantido em canais seletivos em frequência.

As curvas 4 e 5 apresentam o desempenho de sistemas considerando canais seletivos e estimação de canal utilizando a técnica de identificação cega. Observa-se que nestes casos o erro de estimação de canal impõe uma intensa degradação no desempenho, fato observado também no sistema não codificado.

Na Figura 5 são apresentados os resultados finais deste trabalho. Ela mostra uma comparação de desempenho entre sistemas codificados e não codificados

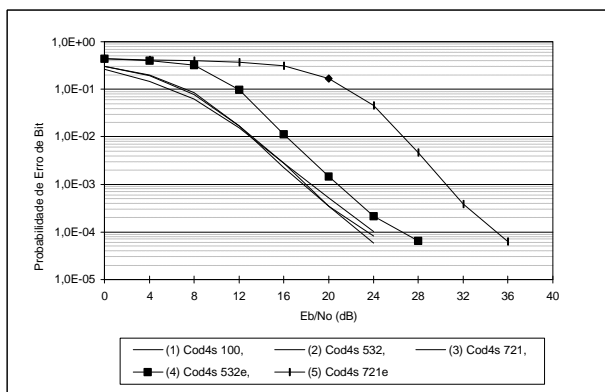


Figura 4 - Desempenho de Sistemas em canais seletivos em frequência. Curvas 1 e 3 mostram resultados de desempenho de sistemas considerando CSI ideal, curvas 4 e 5 mostram resultados de desempenho de sistemas com identificação cega.

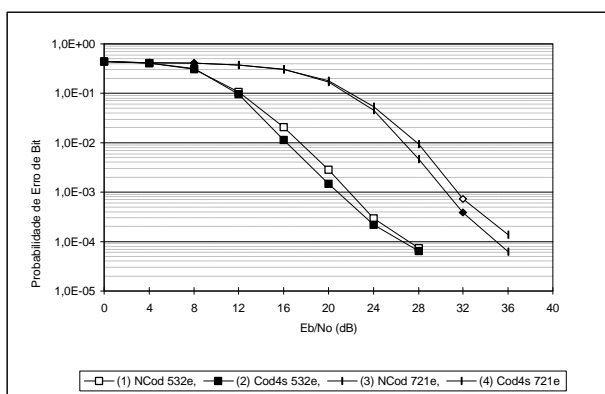


Figura 5 – Comparação de desempenho de sistemas com e sem codificação. Curvas 1 e 3 mostram o desempenho de sistemas não codificados, curvas 2 e 4 mostram o desempenho de sistemas codificados.

considerando os dois perfis de canal seletivo em frequência. As curvas 1 e 3 apresentam o desempenho do sistema não codificado para os dois perfis avaliados e as curvas 2 e 4 apresentam resultados similares para o sistema codificado. Estas curvas foram obtidas utilizando identificação cega de canal. Os resultados de simulação mostram pequenos ganhos de codificação. Em particular, para uma probabilidade de erro de 10^{-3} o ganho de codificação é de apenas 1dB, bem menor que os 8 dB atingidos quando o canal considerado apresentava desvanecimento plano.

4. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou alguns resultados de desempenho de códigos espaço-temporais em canais com desvanecimento plano e canais com desvanecimento seletivo em frequência, em ambos casos admitindo-se modelos quase-estáticos. A resposta ao impulso do canal foi estimada empregando a técnica de estimação cega de canal denominada método dos subespaços.

Métodos de identificação cega de canais foram

considerados pois são bastante atrativos nos casos de comunicação digital com alta taxa de dados. Combinando esquemas de codificação eficientes com métodos de identificação cega pode-se projetar sistema de comunicação com alto nível de desempenho.

O esquema de recepção cega apresentou bons resultados, entretanto, verificou-se que no caso de canais seletivos em frequência o ganho de codificação foi bastante reduzido.

A partir dos resultados apresentados pode-se afirmar que é importante estudar o desenvolvimento de códigos que levem em conta o perfil de atraso do canal.

REFERÊNCIAS

- [1] Dariush Divsalar e Marvin K. Simon, “*The Design of Trellis Coded MPSK for Fading Channels: Performance Criteria*”, IEEE Trans. on Communications, Vol. 36, No. 9, September, 1988, pp. 1004-1012.
- [2] Vahid Tarokh, Nambi Seshadri e A. R. Calderbank, “*Space-Time Codes for High Data Rate Wireless Communication: Performance Criterion and Code Construction*”, IEEE Transaction on Information Theory, Vol. 44, No. 2, March, 1998.
- [3] George A. da Silva e Francisco M. Assis, “*Fading-resistant Transmission using Built-in Time Diversity and Several Antennas*”, Proceedings of SBT/IEEE International Telecommunications Symposium, August, 1998, pp. 400-404.
- [4] George A. da Silva e Francisco M. Assis, “*Some New Codes for Space-Time Trellis Encoded Modulation over Fading ISI Channels*”, Proceedings of the 11th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication - PIMRC 2000, September, 2000.
- [5] Juraci F. Galdino and Marcelo S. de Alencar, “*Avaliação de Desempenho de Esquemas Identificação Cega de Canais Baseados em Superamostragem*”, Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBT 2000, September, 2000.
- [6] Jean-François Cardoso e Eric Moulines, “*Subspace Methods for Blind Identification of Multichannel FIR Filters*, IEEE Transaction on Signal Processing”, Vol. 43, pp. 512-525, 1995.
- [7] Vahid Tarokh, Ayman Nabuib, Nambi Seshadri e A. R. Calderbank, “*Space-Time Codes for High Data Rate Wireless Communication in The Presence of Channel Estimation Errors, Mobility and Multiple Paths*”, IEEE Transaction on Communications, Vol. 47, No. 2, February, 1999.