

EFEITOS DA ESTIMATIVA DO CANAL NA TRANSMISSÃO DE IMAGENS EM REDES LOCAIS SEM FIO IEEE 802.11a/g

Jonatan Dellagostin e Roger Pierre Fabris Hoefel

Resumo— Este artigo investiga algoritmos para estimativa do canal aplicados a sistemas de comunicação sem fio baseados em OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). A análise comparativa do desempenho dos algoritmos estudados é efetuada através da simulação computacional da transmissão de dados e imagens em redes locais sem fio IEEE 802.11a/g.

Palavras-Chave: OFDM, 802.11a/g, estimativa do canal.

Abstract— This paper analyzes the performance of channel estimation algorithms for IEEE 802.11a/g networks.

Keywords: OFDM, 802.11a/g, channel estimation.

I. INTRODUÇÃO

O presente artigo investiga o desempenho de algoritmos de estimativa do canal acoplados com algoritmos de rastreamento da fase residual em sistemas de comunicação sem fio baseados em OFDM. É também realizado um estudo de caso referente à transmissão de imagens em redes locais sem fio IEEE 802.11a/g, cuja camada física é sucintamente descrita na Seção II. A Seção III descreve os procedimentos para estimativa do canal, enquanto a Seção IV desenvolve um algoritmo para rastrear a fase residual. A Seção V mostra a taxa de erro de bits e de pacotes em canais com desvanecimento Rayleigh. A Seção VI estuda o desempenho dos algoritmos propostos na transmissão de imagens. Finalmente, os comentários finais são apresentados na Seção VII.

II. SIMULADOR MATLAB IEEE 802.11a/g

A camada física dos padrões 802.11a (faixa de 5.8 GHz) e 802.11g (faixa de 2.4 GHz) é semelhante, exceto pelo *front-end analógico*. A Fig. 1 mostra o diagrama de blocos do transmissor 802.11a. Este padrão implementa modulação e codificação adaptativa com oito diferentes modos de transmissão, conforme mostra a Tab. 1 [1]. O código convolucional básico tem taxa $1/2$, sendo as demais taxas obtidas por meio de apagamento de bits. O *interleaving* é realizado na frequência em cada símbolo OFDM transmitido. A diversidade de antenas utiliza o método de selecionar a antenas com maior potência. Finalmente, observa-se que é modelada a inserção do ruído de fase devido a não-idealidade dos osciladores.

Tabela I – Modos de transmissão IEEE 802.11a/g.

Taxa	Modulação	Código	Taxa	Modulação	Código
6 Mbps	BPSK	1/2	24 Mbps	16-QAM	1/2
9 Mbps	BPSK	3/4	36 Mbps	16-QAM	3/4
12 Mbps	QPSK	1/2	48 Mbps	64-QAM	2/3
18 Mbps	QPSK	3/4	54 Mbps	64-QAM	3/4

A Fig. 2 mostra o diagrama de blocos do receptor 802.11a. Neste artigo não é implementada diversidade de antenas, pois é utilizado um canal SISO (*Single Input Single Output*).

Eng. Jonatan Dellagosti, DATACOM, Porto Alegre, RS, Brasil.

Roger Pierre Fabris Hoefel, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul (RS), Brasil; E-mail: roger.hoefel@ufrgs.br.

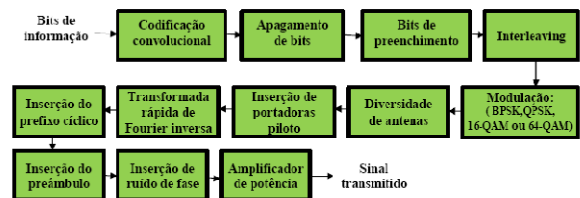


Fig. 1. Diagrama de blocos do transmissor IEEE 802.11a.

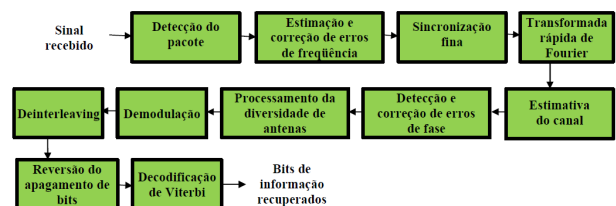


Fig. 2. Diagrama de blocos do receptor IEEE 802.11a.

III. ESTIMATIVA DO CANAL

O pré-âmbito do pacote 802.11a contém dois símbolos longos de treinamento utilizados para estimativa do canal. Após a execução da *Transformada de Fourier Rápida* (FFT, *Fast Fourier Transform*) no sinal recebido, o símbolo recebido é o produto do n -ésimo símbolo de treinamento recebido na k -ésima portadora $L_{k,n}$ e da resposta em frequência do canal $H_{k,n}$, somado ao ruído Gaussiano aditivo $W_{k,n}$ [2-3]:

$$R_{k,n} = H_{k,n} \cdot L_{k,n} + W_{k,n}. \quad (1)$$

Logo, a estimativa do canal pode ser calculada para cada símbolo longo por

$$\hat{H}_k = \frac{R_{k,n}}{L_{k,n}}. \quad (2)$$

A resposta em frequência do canal é estimada através da média aritmética dos dois ($N=2$) símbolos longos transmitidos:

$$\hat{H}_k = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \frac{R_{k,n}}{L_{k,n}}. \quad (3)$$

Neste artigo, o canal de rádio móvel é postulado constante durante toda a transmissão do pacote.

IV. RASTREAMENTO DO DESVIO DE FASE RESIDUAL

Cada símbolo OFDM de dados contém $N_p=4$ subportadoras piloto conhecidas. O método mais simples para corrigir a fase residual (devido a estimativa imperfeita do canal; desvio de frequência e sincronização de símbolo imperfeita) é rastrear a fase das subportadoras dos símbolos pilotos transmitidos. Depois do n -ésimo símbolo recebido ser processado pela FFT, as subportadoras piloto $R_{n,k}$ são iguais ao produto da resposta impulsiva do canal H_k e do símbolo piloto conhecido $P_{n,k}$, rotacionado devido ao desvio de frequência residual. Logo, desconsiderando o ruído aditivo Gaussiano branco, temos que

$$R_{n,k} = H_k \cdot P_{n,k} \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{\Delta} \cdot n} \quad (4)$$

onde f_{Δ} é o desvio de frequência normalizado pelo espaçamento das subportadoras. A Eq. (4) assume sincronização temporal perfeita de tal forma que o erro de fase residual devido a correção imperfeita do desvio de frequência é constante para todas subportadoras.

Postulando que a estimativa da resposta impulsiva do canal \hat{H}_k esteja disponível, então a estimativa de fase é dada por

$$\begin{aligned} \hat{\Phi}_n &= \angle \left[\sum_{k=1}^{N_p} R_{n,k} \cdot (\hat{H}_k \cdot P_{n,k})^* \right] \\ &= \angle \left[\sum_{k=1}^{N_p} H_k \cdot P_{n,k} \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{\Delta} \cdot n} \cdot (\hat{H}_k \cdot P_{n,k})^* \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Postulando que a estimativa do canal é perfeita, então o estimador de fase é dado por (6). Na prática a estimativa do canal não é perfeitamente acurada, contribuindo com ruído na estimativa da fase da portadora.

$$\begin{aligned} \hat{\Phi}_n &= \angle \left[\sum_{k=1}^{N_p} |H_k|^2 \cdot |P_{n,k}|^2 \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{\Delta} \cdot n} \right] \\ &= \angle \left[e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{\Delta} \cdot n} \cdot \sum_{k=1}^{N_p} |H_k|^2 \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

V. ANÁLISE DE DESEMPENHO

A Fig. 3 mostra a taxa de erro de bits (BER, *Bit Error Rate*) e de pacotes (PER, *Packet Error Rate*) em função da razão sinal-para-ruído (RSR) de bit em um canal com desvanecimento do tipo Rayleigh com decaimento exponencial na presença de ruído de fase. Utiliza-se 16-QAM, taxa de código $\frac{3}{4}$, equalização do tipo ZF (*Zero Forcing*) e decodificação de Viterbi suave. São mostrados os seguintes resultados: (i) PER na entrada (triângulo lilás) e saída (triângulo roxo) do decodificador de Viterbi; (ii) BER na entrada (triângulo verde) e saída (triângulo azul marinho) do decodificador de Viterbi.

Verifica-se claramente que os algoritmos de estimativa do canal e rastreamento da fase residual são capazes de recuperar a degradação introduzida no canal, tornando possível a demodulação e detecção dos pacotes de dados recebidos. Embora não seja mostrado nesta figura, a PER é de $\sim 100\%$ sem a implementação dos algoritmos supra-citados.

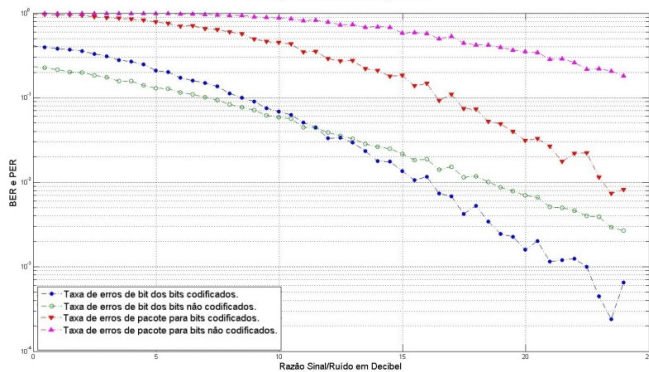


Fig. 3. PER e BER em função da RSR de bit.

VI. TRANSMISSÃO DE IMAGEM COM RUÍDO DE FASE

As imagens são moduladas com 16-QAM e taxa de código $\frac{2}{3}$. O receptor utiliza ZF e decodificação de Viterbi suave.

A Fig. 4 mostra a fotografia de Lena, que é tradicionalmente escolhida para comparar algoritmos de processamento de imagens, recebida em um canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) com RSR de bit de 5 dB sem ruído de fase. Na Fig. 5, a RSR de bit é aumentada para 15 dB, porém é inserido ruído de fase não corrigido no receptor. A Fig. 6 mostra que a

utilização do estimador de fase permite a recuperação da imagem transmitida para uma RSR de bit de 15 dB.

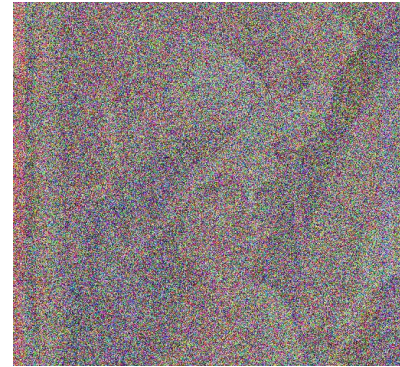


Fig. 4 – Imagem recebida em um canal AWGN com RSR de bit 5 dB sem ruído de fase



Fig. 5 – Imagem recebida em um canal AWGN com RSR de bit de 15 dB com ruído de fase e sem estimativa do ruído de fase.

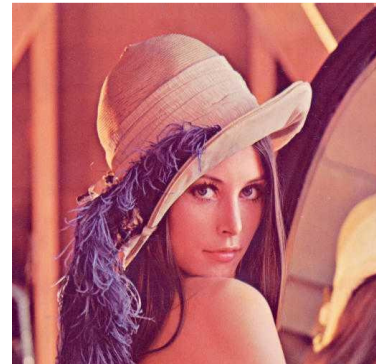


Fig. 6 – Imagem recebida em um canal AWGN com RSR de bit de 15 dB com ruído de fase e com estimativa do ruído de fase.

VII – COMENTÁRIOS FINAIS

Este artigo apresentou resultados concernentes ao desempenho de algoritmos de estimativa de canal e rastreamento de fase em redes locais 802.11a/g. Os algoritmos utilizados se mostraram eficientes para transmissão de dados e imagens em canais AWGN e com desvanecimento Rayleigh.

REFERÊNCIAS.

- [1] IEEE 802.11a, *Part 11: Wireless LAN Medium MAC and Phy Layer (PHY) Specification – Amendment 1: High-speed Physical Layer in the 5 GHz band*. Supplemented to IEEE 802.11 Standard, Sept. 1999.
- [2] Nanping, L.; Yuan, Y; Kewen, X; Zhiwei, Z.. “Study on Channel Estimation Technology in OFDM System.”. In: 2009 International Joint Conference on Artificial Intelligence, Hai Kou [China], 2009, p.773-776
- [3] Athaudage, C. R. N.; Jayalath, D. “Low-complexity channel estimation for wireless OFDM systems,” In: 14th IEEE Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Beijing, [China], 2003, p.521-525.