

Um Esquema de Codificação AL-FEC para Recepção Móvel no Sistema Brasileiro de Televisão Digital

Roberto W. Krauss M. e Evelio M. G. Fernández

Resumo—Um esquema de correção de erros na camada de aplicação (AL-FEC, do inglês: *Application Layer-Forward Error Correction*), aplicado ao Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) para recepção móvel é proposto. A recepção móvel no SBTVD não é tão eficaz devido ao efeito Doppler que ocorre quando o usuário está se movimentando. Visando não modificar as normas já estabelecidas, propõe-se a implementação de um esquema AL-FEC baseado em códigos Raptor como atualização de *software* no SBTVD. Resultados obtidos através de simulação mostram que o esquema proposto proporciona ganho de codificação com um custo relativamente baixo de implementação.

Palavras-Chave—SBTVD, Códigos Raptor, recepção móvel, AL-FEC

Abstract—An Application Layer - Forward Error Correction (AL-FEC) scheme for mobile reception for the Brazilian Digital Television System (SBTVD) is proposed. The mobile reception in the SBTVD is not as effective due to the Doppler effect that occurs when the user is moving. In order not to modify standards already established, it is proposed to implement an AL-FEC scheme based on Raptor codes as a software upgrade in the SBTVD. Simulation results show that proposed scheme provides coding gain with a relatively low cost implementation.

Keywords—SBTVD, Raptor Codes, mobile reception, AL-FEC

I. INTRODUÇÃO

O Sistema Brasileiro de Televisão Digital, SBTVD, (também conhecido como ISDB-Tb) é o padrão de radiodifusão de televisão digital criado no Brasil e ultimamente adotado por vários países da América do Sul. Este padrão foi desenvolvido para recepção fixa e portátil. Porém, na recepção móvel, o desempenho dos esquemas de decodificação de canal não é tão eficaz devido ao efeito Doppler e ao sombreamento que ocorrem quando o usuário está se movimentando.

A codificação de canal no SBTVD é feita através da concatenação de um código convolucional (interno) e um código de Reed-Solomon (externo) implementados em *hardware* na camada física do sistema. Na recepção, é utilizada decodificação incompleta para o código de Reed-Solomon, sendo que os pacotes de transporte (TS, do inglês: *Transport Stream*) entregues à camada de aplicação do SBTVD carregam informação sobre eventuais falhas na decodificação de canal. Desta forma, o sistema de transmissão e codificação de canal do SBTVD pode ser modelado como um canal com apagamento.

Roberto Wilhelm Krauss Martinez e Evelio M. G. Fernández, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. E-mails: roberto.krauss.eng@gmail.com, evelio@ufpr.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela CAPES (AUX-PE-RH-TV 249/2008).

Para melhorar o desempenho de erro do SBTVD sem modificar as normas e o *hardware* já estabelecidos, uma opção a se ter em conta é a correção de erros na camada de aplicação (AL-FEC, do inglês: *Application Layer Forward Error Correction*) através da utilização de códigos eficientes para canais com apagamento. Assim, as atualizações serão incorporadas como atualização de *software* nos sistemas pré-existent.

Códigos Fontanais [1], [2] são uma classe de códigos eficientes para a transmissão de dados de maneira confiável através de canais com apagamento. Em [3], González *et al.* pesquisaram a utilização de códigos Raptor (pertencentes à classe dos códigos Fontanais) na camada de aplicação para o Sistema Europeu de Televisão Digital Terrestre (DVB-T, do inglês: *Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) para provisão de serviços móveis, e compararam o desempenho com relação ao sistema de codificação já implementado no sistema de recepção móvel DVB-H (DVB-H, do inglês: *Digital Video Broadcasting - Handheld*), o MPE-FEC (MPE-FEC, do inglês: *Multi Protocol Encapsulation - Forward Error Correction*).

O MPE-FEC foi projetado no sistema DVB-T para lidar com o desvanecimento rápido do canal, além de realizar um entrelaçamento virtual da informação transmitida. Gozávez *et al.* [3] concluíram que aumentando o tempo de proteção, é possível a obtenção de ganhos de codificação de até 7dB comparados ao MPE-FEC, incluindo os ganhos de diversidade espacial.

No sistema DVB-H, os códigos Raptor foram previamente padronizados para a proteção no nível de enlace, segundo as normas ETSI *Bluebook* A131 [4] e ETSI *Bluebook* A054r4.1 [5].

Partindo do trabalho apresentado em [3], e tendo em conta que os subsistemas de transmissão e codificação de canal dos sistemas DVB-T e SBTVD são muito parecidos, no presente trabalho será avaliado o desempenho de códigos Raptor aplicados na camada de aplicação do SBTVD, utilizando como métrica de desempenho a taxa de erro de bits (BER, do inglês: *Bit Error Rate*).

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na próxima seção, será feita uma breve abordagem do esquema proposto para melhorar o desempenho na recepção móvel do SBTVD. Na Seção III, serão apresentados resultados de simulações realizadas mostrando o desempenho da codificação AL-FEC em condições de recepção móvel no SBTVD. Por fim, as conclusões mais relevantes do trabalho são apresentadas na Seção IV.

II. PROTEÇÃO AL-FEC PARA RECEPÇÃO MÓVEL NO SBTVD

O processo de codificação na camada de aplicação deve ser transparente. Para que isto aconteça, as sequências de dados que transportam as informações de vídeo e áudio não devem ser alteradas.

A Figura 1, mostra a arquitetura proposta onde é possível observar que o áudio e o vídeo são empacotados num fluxo elementar, ou PES (PES, do inglês: *Packetized Elementary Stream*) [6], e processados pelo codificador AL-FEC que gera um novo fluxo que chamaremos de fluxo elementar com correção de erro FEC ES (FEC ES, do inglês: *Forward Error Correction Elementary Stream*). Todos os pacotes ES são multiplexados nos pacotes de transporte TS e propagados pelo SBTVD.

Os pacotes TS possuem um identificador chamado de TEI (TEI, do inglês: *Transport Error Indicator*) [7] que indica erro no pacote. Assim, se o identificador for '1' devido a uma falha na decodificação do código de Reed-Solomon na camada física, o pacote conterá pelo menos um símbolo errado. Se o pacote contiver erros, considera-se o pacote TS inteiro errado, já que não é possível saber qual a posição do(s) erro(s). Este procedimento faz com que a camada física do SBTVD possa ser modelada como um canal com apagamento.

Receptores que não possuam a arquitetura proposta, ilustração do centro da Figura 1, descartariam os pacotes FEC ES. Receptores que possuem a arquitetura proposta, última ilustração da Figura 1, utilizariam o FEC ES para reconstruir as sequências de áudio e vídeo, tendo uma capacidade adicional de correção de erros residuais nos pacotes TS.

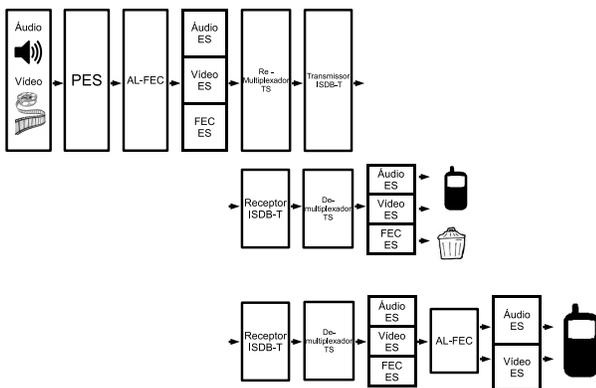


Fig. 1. Arquitetura do sistema proposto

Os pacotes de erro FEC ES por sua vez devem ser empacotados em pacotes de transporte TS, com um PID (PID, do inglês: *Program Identification*) diferente ao de áudio, de vídeo ou dos utilizados, para que no receptor os aparelhos móveis que não reconheçam esse PID facilmente o descartem.

A utilização dos fluxos de FEC ES gerados pelo esquema AL-FEC faz com que o número de serviços utilizados seja reduzido no transporte de TS. A maior vantagem de utilizar-se o AL-FEC é aumentar o desempenho para recepção móvel.

A. Tempo de Proteção

A proteção do código depende da taxa e do período de proteção [8]. A taxa é a relação entre os dados originais e a quantidade total de dados transmitidos, isto inclui os dados originais e os dados de correção. O período de proteção é a duração da informação codificada.

De acordo com [8], o tempo de proteção tem impacto na latência, como também no tempo de troca de canal. A latência é o tempo que o dado leva desde a entrada ao transmissor até a decodificação da mídia. O tempo de troca de canal é o intervalo que o usuário leva desde a troca de canal até que a imagem apareça na televisão.

Quanto maior é o tempo de proteção, maior será o tempo de troca de canal e maior será também a memória necessária para armazenar os dados. Segundo Rahrer *et.al.* [9] e Fuchs e Farber [10], valores menores a 500 ms de tempo de troca de canal são imperceptíveis; já, se maiores a dois segundos, são irritantes. Assim, a norma ABNT NBR 15608-2 [11] estabelece que o tempo apropriado para troca de canal é de 600 ms, sendo o tempo máximo permitido de um segundo.

Segundo Faria *et.al.* [12] apud, [6], a taxa de bits média do ES é de 500 kbps, devido ao tamanho da tela do sistema DVB-H. Tendo em conta que os tamanhos da tela dos sistemas DVB-H e SBTVD são iguais, então considera-se neste trabalho a taxa de bits ES de 500 kbps. Desta forma, e considerando que o tamanho do TS é fixo e igual a 184 bytes sem o cabeçalho, então tem-se 1472 bits por cada TS, ou 2,9 ms por cada TS.

Akamine [13] apresenta uma tabela com os tempos de atraso do entrelaçador temporal do sistema de transmissão do SBTVD. Na tabela, estão detalhados os tempos de atraso para cada modo OFDM com relação ao ajuste do tamanho do entrelaçador, I . Assim, o tempo de atraso do entrelaçador é o tempo que o transmissor atrasa-se. Este tempo afeta o tempo de troca de canal. Por isso, o tempo máximo de troca de canal de um segundo, como referenciado em [11]. Considerando somente os atrasos apresentados em [13], os mesmos são aplicados neste trabalho levando-se em conta que se usa o modo 3 (8 K) e tamanho de entrelaçador $I = 4$ que corresponde a 379 ms.

Com um máximo de tempo de troca de canal de 1 segundo, menos o tempo de 379 ms devido ao entrelaçador, temos como resultado o tempo que equivale a $k = 241$ símbolos fonte.

B. Correção de Erros na Camada de Aplicação

A proposta da correção de erros na camada de aplicação é para recuperar perdas de pacotes, ou seja, o codificador gerará pacotes redundantes a partir dos pacotes originais para a recuperação dos pacotes errados, diferente da camada física onde o codificador gerará bits redundantes a partir dos pacotes originais para a recuperação dos bits errados.

O esquema de codificação a ser apresentado neste capítulo é do tipo fontanal, analogamente ao do tipo fonte de água, ou fontanal, na qual a fonte, ou codificador, produz um número ilimitado de gotas (códigos ditos sem taxa), onde as gotas são associadas a pacotes. Para que o código seja chamado de "ótimo", o mesmo precisa decodificar um balde de gotas de água de tamanho original. Os códigos que serão apresentados

são códigos “quase ótimos”, que para poder recuperar os pacotes transmitidos, ou codificados, requerem pacotes com o tamanho original mais um pequena quantidade de bits adicionais (que chamaremos de redundância, ou *overhead*).

Neste artigo, é considerado o uso de códigos Raptor, apresentados por Shokrollahi [14], que pertencem à classe dos códigos Fontanais. Nos códigos Raptor, existe uma etapa de pré-codificação, seguida de uma codificação LT, ou códigos Transformada de Luby [1].

Com o objetivo de simplificar o estudo, na etapa de pré-codificação foi utilizado um código LDPC com distribuição de graus dada por $\lambda = (2x + 3x^2) / 5$ [14]. Esta distribuição de graus é também utilizada nos trabalhos apresentados em [15], [16], [17], entre outros.

Como esta pesquisa não foca melhorar ou achar a melhor distribuição de graus para o código enfraquecido LT, então utiliza-se a tabela de distribuição de graus otimizadas apresentada por Shokrollahi em [14], para $k = 65536$, para gerar as matrizes geradoras do código LT. É importante observar que ao gerar a matriz geradora com a distribuição otimizada, não se leva em conta que todos os símbolos estejam cobertos.

Na Figura 2, mostra-se os estágios de codificação já mencionados, onde a partir de um bloco $\mathbf{S} = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_k)$ com k símbolos de entrada, a matriz geradora da pré-codificação \mathbf{G}_P , de tamanho $[m \times k]$, produz um vetor $\mathbf{F} = (F_1, F_2, F_3, \dots, F_L)$, onde $L = k + m$ símbolos pré-codificados, sendo que m é o número de símbolos de paridade gerado pelo código LDPC, que equivale ao vetor $\mathbf{D}_P = (D_{P1}, D_{P2}, D_{P3}, \dots, D_{Pm})$.

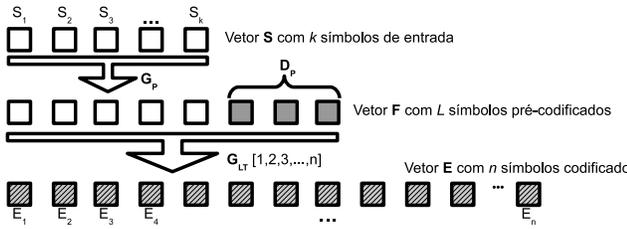


Fig. 2. Estágio de codificação do Código Raptor

Os símbolos de paridade \mathbf{D}_P são obtidos da seguinte forma:

$$\mathbf{D}_P = \mathbf{G}_P \cdot \mathbf{S}. \quad (1)$$

O conjunto de símbolos pré-codificados \mathbf{F} é dado por $[\mathbf{S}^T \mathbf{D}_P^T]^T$, de dimensão $[(k + m) \times 1]$. Estes símbolos pré-codificados servem como símbolos de entrada para o codificador LT. Então, os símbolos codificados no vetor $\mathbf{E}_{[1:n]}$, de dimensão $[n \times 1]$, são obtidos como segue:

$$\mathbf{E}_{[1:n]} = \mathbf{G}_{LT}(1,2,\dots,n) \cdot [\mathbf{S}^T \mathbf{D}_P^T]^T, \quad (2)$$

onde a matriz \mathbf{G}_{LT} tem dimensão $[n \times (k + m)]$.

As Equações (1) e (2) podem ser representadas como:

$$\mathbf{A}_{[1,2,\dots,n]} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{S} \\ \mathbf{D}_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{E}_{[1:n]} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

onde “ $\mathbf{0}$ ” é um vetor de dimensão $[m \times 1]$. A matriz \mathbf{A} tem dimensão $[(m + n) \times (k + m)]$ e é conhecida como “*Matriz de Codificação A*” sendo definida como:

$$\mathbf{A}(1,2,\dots,n) \triangleq \begin{bmatrix} \mathbf{G}_P \mathbf{I}_m \\ \mathbf{G}_{LT}(1,\dots,n) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

onde \mathbf{I}_m é a matriz identidade de dimensão $[m \times m]$. A matriz de codificação \mathbf{A} não é uma matriz geradora e sim uma matriz que fornece um conjunto de restrições tanto para a pré-codificação, quanto para a codificação LT.

Na decodificação do Código Raptor, assumindo que o canal tem perdas de pacotes, é recebido um subconjunto de símbolos identificado pelo vetor $\mathbf{i} = (i_1, i_2, \dots, i_r)$, onde $r \leq n$. A decodificação é realizada baseada na matriz de decodificação $\mathbf{A}_{[i_1, i_2, \dots, i_r]}$, definida como:

$$\mathbf{A}(i_1, i_2, \dots, i_r) \triangleq \begin{bmatrix} \mathbf{G}_P \mathbf{I}_m \\ \mathbf{G}_{LT}(i_1, \dots, i_r) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Esta matriz é uma generalização da matriz de codificação de (4), porque os índices não são mais consecutivos, mas somente os índices recebidos são levados em conta. A partir desta matriz, o processo de decodificação é realizado resolvendo-se a seguinte equação:

$$\mathbf{A}(i_1, i_2, \dots, i_r) \cdot \mathbf{F} = (\mathbf{0}^T \ E_{i_1}^T \ E_{i_2}^T \ \dots \ E_{i_r}^T), \quad (6)$$

onde “ $\mathbf{0}$ ” é um vetor de dimensão $[m \times 1]$. Percebe-se que os primeiros k símbolos do vetor \mathbf{F} correspondem aos símbolos intermediários, de acordo com,

$$\mathbf{F}_{[1:k]} = \mathbf{S}. \quad (7)$$

Apesar dos Códigos Raptor não-sistemáticos terem um bom desempenho, precisam-se de códigos sistemáticos para o uso no SBTVD, visando não afetar o sistema já implementado.

Já a metodologia utilizada para a decodificação do código Raptor, neste artigo, não é o processo inverso da codificação LDPC e a codificação LT fraca. A metodologia utilizada para esta decodificação foi baseada na resolução de equações lineares ou método de eliminação Gaussiana das equações já vistas.

Por último, o parâmetro utilizado neste trabalho, especificamente nos resultados, é o *overhead* do código Raptor, *e*. Segundo [14], o *overhead* total do código Raptor depende dos *overheads* do pré-codificador, ε_{LDPC} , e do codificador, ε_{wLT} , e é dado por:

$$(1 + e) = (1 + \varepsilon_{LDPC}) \cdot (1 + \varepsilon_{wLT}), \quad (8)$$

onde (*wLT*) é a “distribuição de Shokrollahi” ou “código LT enfraquecido”, ε_{wLT} é o *overhead* do código LT enfraquecido e ε_{LDPC} é o *overhead* da pré-codificação.

C. Simulação da Camada Física do SBTVD

Para analisar o desempenho do esquema de codificação proposto, foi utilizada a ferramenta de simulação computacional ISDB-T Analyzer [18]. Com esta ferramenta, é possível simular de forma precisa e confiável todo o sistema de

modulação e de codificação de canal do SBTVD, incluindo entrelaçamento e diferentes opções para equalização de canal. Com a utilização do ISDB-T *Analyzer*, cada camada do sistema de transmissão hierárquico pode ser discriminada, existindo, desta forma, a possibilidade de extração de dados do segmento central do sinal OFDM que é o segmento de baixa definição para recepção em dispositivos portáteis (tecnologia 1-seg).

O deslocamento do dispositivo portátil será simulado considerando frequência Doppler em alguns perfis típicos de multipercurso sugeridos pela ITU [19], para projetos e testes de dispositivos de radiodifusão de televisão com recepção fixa e que podem ser implementados no ISDB-T *Analyzer*. Especificamente, podem ser implementados na ferramenta os perfis chamados de Brazil A, B, C, D e E que representam vários cenários de propagação com até seis multipercursos distintos, caracterizados pelo atraso e atenuação de cada multipercurso. O canal Brazil A, cuja especificação é mostrada na Tabela I, será utilizado no presente trabalho.

TABELA I

ESPECIFICAÇÃO DE ATRASO E ATENUAÇÃO PARA O CANAL BRAZIL A MÓVEL

Nome	Descrição	Percurso 1	Percurso 2	Percurso 3	Percurso 4	Percurso 5	Percurso 6
Canal Brazil A móvel	Atraso (ns)	0	0,15	2,22	3,05	5,86	5,93
	Atenuação (dB)	0	13,8	16,2	14,9	13,6	16,4
	Espalhamento Doppler (Hz)	0	100	0	0	0	0

Considerando um cenário com recepção móvel, a frequência Doppler é dada por:

$$f_d = \frac{vf}{c}, \quad (9)$$

onde v é a velocidade do usuário móvel, f é a frequência central do canal de comunicação e $c = 3 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz. Desta forma, verifica-se que no segundo percurso do canal Brazil A, na Tabela I, a frequência Doppler é de 100 Hz para uma frequência de portadora de 600 MHz, que equivale a 180 Km/h. Por isso, utilizam-se neste trabalho valores de frequência Doppler de 10 Hz, que equivale a 18 km/h, e de 34 Hz, que equivale a 61,2 km/h, uma velocidade mais adequada ao ambiente urbano.

Por fim, utilizando o ISDB-T *Analyzer* [18], foi parametrizado um cenário que corresponde ao utilizado na prática pelas emissoras de televisão do Brasil, com o sistema operando em modo 3, camada central, código convolucional com taxa 1/2, intervalo de guarda 1/16, profundidade de entrelaçamento igual a 4 e modulação QPSK.

III. ANÁLISE DO DESEMPENHO

Na Figura 3, pode-se observar o desempenho do código Raptor para um *overhead* $e = 0,2$ ou 20% do tamanho dos símbolos da fonte. Foi considerado o código convolucional com taxa 1/2 e profundidade de entrelaçamento igual a 4, utilizando o canal Brazil A com $f_d = 10$ Hz. Observa-se um desempenho melhor do esquema utilizando AL-FEC a partir de $E_b/N_0 = 8$ dB, obtendo-se um ganho de codificação de aproximadamente 0,6 dB para uma BER de $5,1801 \times$

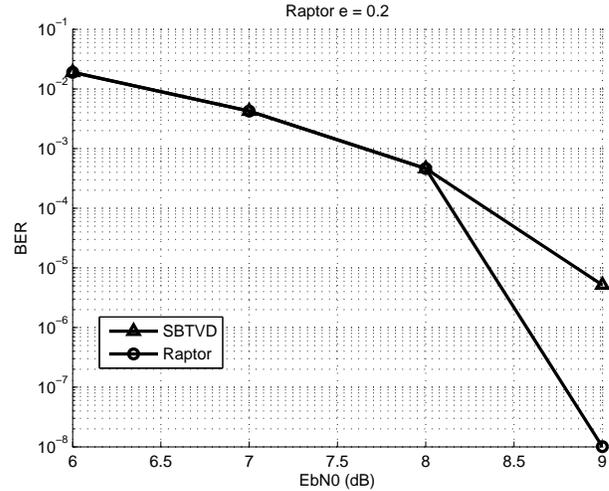


Fig. 3. Desempenho do código de Raptor para um *overhead* de 20% do tamanho dos símbolos fonte. A curva corresponde à taxa do código convolucional 1/2, comprimento do entrelaçador 4 e canal Brazil A com $f_d = 10$ Hz

10^{-6} . O desempenho de erro do sistema foi estimado através de simulação de Monte Carlo.

Na Figura 4, é apresentado o desempenho do mesmo esquema de codificação considerando agora um *overhead* de 50% do tamanho dos símbolos fonte para o código Raptor. A curva considera um comprimento do entrelaçador igual a 4 e canal Brazil A com $f_d = 34$ Hz. Percebe-se ganho de codificação a partir de 15 dB, obtendo-se um ganho de codificação aproximado de 2,5 dB, para uma BER de $1,7810 \times 10^{-7}$.

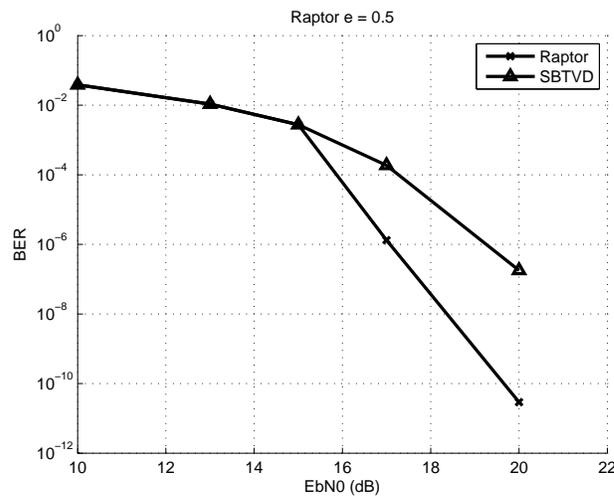


Fig. 4. Desempenho do código de Raptor para um *overhead* de 50% do tamanho dos símbolos fonte. A curva corresponde à taxa do código convolucional 1/2, comprimento do entrelaçador 4 e canal Brazil A com $f_d = 34$ Hz

Na Figura 5 pode-se observar o desempenho do sistema utilizando um código Raptor com *overhead* $e = 0,5$ ou 50% do tamanho dos símbolos da fonte. Neste caso, foi utilizado o código convolucional com taxa 2/3, profundidade de entrelaçamento igual a 4 e canal Brazil A com $f_d = 34$

H. Observa-se que para uma $BER \approx 1,3 \times 10^{-6}$, o ganho de codificação obtido é de aproximadamente 3,2 dB.

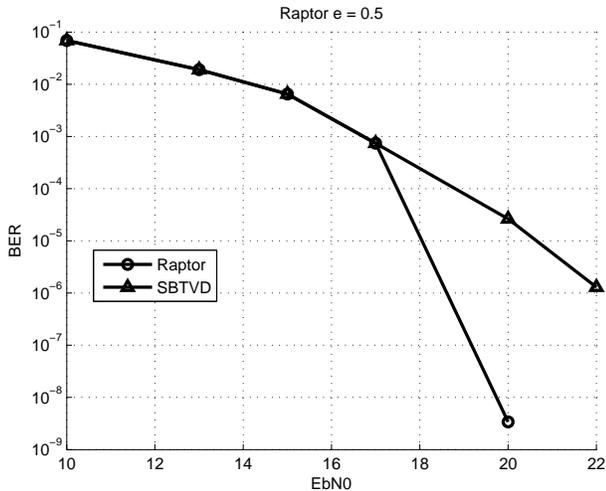


Fig. 5. Desempenho do código de Raptor para um overhead de 50% do tamanho dos símbolos fonte. A curva corresponde à taxa do código convolucional 2/3, comprimento do entrelaçador 4 e canal Brazil A com $f_d = 34$ Hz

Nas Figuras 3, 4 e 5, pode-se notar que as taxas de erro de bit nunca ficam pior que as apresentadas pelo sistema sem codificação AL-FEC, fato este que nunca acontecerá com a utilização do esquema proposto. Isto é devido a que neste trabalho não é utilizado o princípio de código sem taxa do código de Raptor. O processo de decodificação do código Raptor não espera o próximo pacote necessário para decodificação. Assim, pode acontecer o fato do decodificador não conseguir decodificar a mensagem e conseqüentemente não saber qual pacote está certo ou errado. Neste caso, os pacotes redundantes da codificação são descartados e o desempenho do sistema fica determinado pelo desempenho do SBTVD sem ALFEC.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo melhorar o desempenho de erro na recepção móvel, através da utilização de um esquema de correção de erros na camada de aplicação do SBTVD. Foram utilizados códigos Raptor no esquema AL-FEC por serem de baixa complexidade computacional e apresentarem ganhos consideráveis quando utilizados no sistema DVB-T. Foram realizadas simulações para avaliar o desempenho do esquema proposto considerando frequência Doppler de 10Hz e 34Hz que correspondem a velocidades de 18 km/h e 61,2 km/h, respectivamente. Essas velocidades do receptor móvel aumentam consideravelmente a taxa de erro de bit no SBTVD sem a utilização do esquema ALFEC. Os resultados claramente indicam que se obteve ganhos no desempenho com a utilização dos códigos Raptor. Considerando frequência Doppler de 10Hz, o ganho foi relativamente baixo, mas o overhead do código utilizado também foi pequeno. Para frequência Doppler de 34Hz, o ganho de codificação obtido foi superior a 2 dB, considerando um overhead maior. O ganho de codificação obtido pode parecer modesto, porém é importante

notar que este ganho é obtido com um custo relativamente baixo como atualização de *software* no sistema pré-existente.

AGRADECIMENTOS

Roberto Wilhelm Krauss Martinez agradece à CAPES pela bolsa de mestrado recebida.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Luby, "LT Codes," in *Proc. of the 43rd Annual IEEE Symp. on Foundation of Comp. Sc.*, Nov. 2002, pp. 271–280.
- [2] D. J. C. MacKay, *Information Theory, Inference & Learning Algorithms*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2002.
- [3] D. Gozalvez, D. Gomez-Barquero, and T. Stockhammer, "Mobile reception of DVB-T services by means of AL-FEC protection," in *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2009. BMSB '09. IEEE International Symposium on*, may 2009, pp. 1–5.
- [4] *ETSI DVB Bluebook A131: MPE-iFEC.*, European Telecommunications Standards Institute Std., November 2008.
- [5] *ETSI DVB Bluebook A054r4.1: Interaction channel for Satellite Distribution Systems.*, European Telecommunications Standards Institute Std., January 2009.
- [6] B. Furht and S. A. Ahson, Eds., *Handbook of Mobile Broadcasting DVB-H, DMB, ISDB-T, AND MEDIAFLO*. Auerbach Publications, 2008.
- [7] *Televisão digital terrestre - Codificação de vídeo, áudio e multiplexação Parte 3: Sistemas de multiplexação de sinais*, ABNT NBR 15602-3:2007 Std., 2007.
- [8] D. Gonzalez, D. G. Barquero, T. Stockhammer, and M. Luby, "AL-FEC for Improved Mobile Reception of MPEG-2 DVB-T Transport Streams," *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, vol. 2009, p. 10, 2009, article ID 614178.
- [9] T. Rahrer, R. Fiandra, and S. Wright, "TR - 126 Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements," DSL Forum, Tech. Rep., December 2006.
- [10] H. Fuchs and N. Farber, "Optimizing channel change time in IPTV applications," in *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2008 IEEE International Symposium on*, 31 2008–april 2 2008, pp. 1–8.
- [11] *Televisão digital terrestre - Guia de operação Parte 2: Codificação de vídeo, áudio e multiplexação - Guia para implementação da ABNT NBR 15602:2007*, ABNT NBR 15608-2 Std., 2010.
- [12] G. Faria, J. Henriksson, E. Stare, and P. Talmola, "DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices," *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 1, pp. 194–209, jan. 2006.
- [13] C. Akamine, "Análise de desempenho do sistema de tv digital dvb-t com entrelaçador temporal em canais com ruído impulsivo." Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas, 2004.
- [14] A. Shokrollahi, "Raptor codes," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 14, pp. 2551–2567, June 2006. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/TIT.2006.874390>
- [15] R. Palanki and J. S. Yedidia, "Rateless codes on noisy channels," in *Proc. Int. Symp. Inform. Theory*, 2004, p. 37.
- [16] O. Etesami and A. Shokrollahi, "Raptor Codes on Binary Memoryless Symmetric Channels," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, no. 5, pp. 2033–2051, 2006.
- [17] B. Sivasubramanian and H. Leib, "Fixed-rate raptor code performance over correlated rayleigh fading channels," in *Electrical and Computer Engineering, 2007. CCECE 2007. Canadian Conference on*, april 2007, pp. 912–915.
- [18] C. Schwartz, "Ferramenta de previsão de desempenho do sistema ISDB-T de TV digital," Master's thesis, Universidade Federal do Paraná, 2011.
- [19] *Guidelines and Techniques for the Evaluation of DTTB Systems*, ITU Radiocommunication Study Groups: Document 6E/TEMP/131-E Std., March 2003.