

Codificação Hierárquica para a Ethernet

Valdemar C. da Rocha Jr., Garik Markarian e Maria de Lourdes M.G. Alcoforado

Resumo—Este artigo introduz um novo esquema de codificação hierárquica que permite um acréscimo de até 50% (valor teórico) no tráfego total em redes Ethernet, operando em total compatibilidade com os usuários já existentes.

Palavras-Chave—Ethernet, acesso múltiplo, canal aditivo, códigos turbo.

Abstract—This article introduces a new hierarchical coding scheme which allows an increase of up to 50% (theoretical value) in the total traffic in Ethernet networks, operating with full compatibility with existing users.

Keywords—Ethernet, multiple access, additive channel, turbo codes.

I. INTRODUÇÃO

No início da década de 1970, a XEROX Corporation introduziu Ethernet [1] para transmissão de dados em redes. A especificação original utiliza o código Manchester [2, pp.145-147] e pode suportar um tráfego agregado de até 10 Mbits/s. Um grande número destes sistemas foi instalado e permanece em uso até hoje. Neste artigo propõe-se um esquema de codificação que permite um acréscimo de até 50% do tráfego total em redes Ethernet, operando em total compatibilidade com os usuários já existentes. Em outras palavras, novos usuários serão adicionados com o código proposto, enquanto os usuários existentes não precisarão mudar de hardware.

Na Seção II apresentamos uma breve revisão sobre o canal aditivo com dois usuários binários (2-BAC) [3]. Na Seção III apresentamos o esquema de codificação hierárquica proposto, inicialmente usando apenas códigos unicamente decodificáveis para o 2-BAC e, posteriormente, usando códigos turbo nesta mesma aplicação. Uma comparação de desempenho é feita entre os dois modos de codificação propostos. Na Seção IV apresentamos nossas conclusões.

II. CANAL 2-BAC

O canal binário simétrico com dois usuários binários (2-BAC) é um canal sem memória e aceita em cada unidade de tempo duas entradas binárias, uma de cada usuário. Os símbolos binários emitidos por cada usuário serão supostos equiúproáveis. No caso sem ruído, a saída do canal y é a soma aritmética das entradas x_1 e x_2 , respectivamente, e os símbolos na saída deste canal pertencem ao alfabeto $\{0, 1, 2\}$. No caso

Valdemar C. da Rocha Jr., Grupo de Pesquisas em Comunicações - CODEC, Departamento de Eletrônica e Sistemas, Caixa Postal 7800, Universidade Federal de Pernambuco, 50711-970 Recife PE, BRASIL E-mail: vcr@ufpe.br, Garik Markarian, Institute of Integrated Information Systems, University of Leeds, LS2 9JT, England, E-mail: G.Markarian@leeds.ac.uk, Maria de Lourdes M.G. Alcoforado, Escola Politécnica de Pernambuco, Departamento de Engenharia Elétrica, Recife PE, BRASIL E-mail: mlmg@ee.ufpe.br. Valdemar C. da Rocha Jr. e Maria L.M.G Alcoforado agradecem pelo apoio parcial recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Projeto 305226/2003-7 e da CAPES, respectivamente.

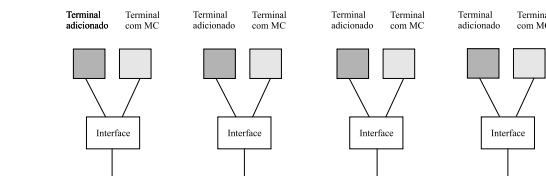


Fig. 1. Inclusão de novos usuários em uma rede Ethernet já existente. A especificação original utiliza o código Manchester.

TABELA I
PAR DE CÓDIGOS UNICAMENTE DECODIFICÁVEIS PARA O 2-BAC.

	-1, +1	+1, -1
-1, -1	-2, 0	0, -2
-1, +1	-2, +2	0, 0
+1 +1	0, +2	+2, 0

ruído a saída do canal 2-BAC é descrita pela distribuição de probabilidade condicional $P(y|x_1x_2)$.

III. CODIFICAÇÃO HIERÁRQUICA

É possível introduzir novos usuários com o uso de códigos para o 2-BAC como ilustrado na Figura 1. O efeito positivo dessa nova técnica pode ser resumido abaixo:

- 1) O código Manchester tem taxa de $R_1 = 1/2$ bits por uso do canal.
- 2) Um segundo usuário pode ser adicionado com taxa de $R_2 \leq 1$ bits por uso do canal.
- 3) O código para dois usuários resultante tem uma taxa total de R , $R = R_1 + R_2 \leq 1,5$ bits por uso do canal [3].

Sem perda de generalidade, podemos especificar o par de códigos para o 2-BAC (C_1, C_2) , em que $C_1 = \{01, 10\}$ e $C_2 = \{00, 01, 11\}$ com taxa total de 1.29 bits por uso do canal. O par (C_1, C_2) é equivalente a um par de taxa idêntica introduzido em [3]. Outros pares de códigos unicamente decodificáveis para o 2-BAC a princípio podem ser usados com um mapeamento apropriado. Aplicando o mapeamento $0 \rightarrow -1$; $1 \rightarrow +1$ nas palavras código de C_1 e C_2 , respectivamente, obtemos como resultado o código Manchester para o usuário 1 e um código para o usuário 2 que chamaremos de código pseudo Manchester. Alimentando um 2-BAC sem ruído com +1's e -1's as saídas correspondentes estão mostradas na Tabela I, na qual as linhas são indexadas pelas palavras códigos de C_2 e as colunas são indexadas pelas palavras código de C_1 . O esquema de codificação introduzido está ilustrado na Figura 2. Como os códigos $C_1 = \{01, 10\}$ e $C_2 = \{00, 01, 11\}$ têm diferentes taxas, podemos utilizar um código de linha conhecido como 3B2T [2] para codificar blocos de três símbolos binários emitidos pela fonte 2 em

TABELA II
MAPEAMENTO DO CÓDIGO 3B2T NO CÓDIGO *pseudo Manchester*.

BINÁRIO	TERNÁRIO	PSEUDO MANCHESTER
000	00	-1, -1, -1, -1
001	01	-1, -1, -1, +1
010	02	-1, -1, +1, +1
011	10	-1, +1, -1, -1
100	11	-1, +1, -1, +1
101	12	-1, +1, +1, +1
110	20	+1, +1, -1, -1
111	21	+1, +1, -1, +1
*	22	+1, +1, +1, +1

TABELA III
PAR DE CÓDIGOS UNICAMENTE DECODIFICÁVEIS PARA O 2-BAC COM TAXA 1,25.

	(-1,+1,-1,+1)	(-1,+1,+1,-1)	(+1,-1,-1,+1)	(+1,-1,+1,-1)
(-1,-1,-1,-1)	(-2, 0,-2, 0)	(-2, 0, 0,-2)	(0, -2, -2, 0)	(0,-2, 0,-2)
(-1,-1,-1,+1)	(-2, 0,-2,+2)	(-2, 0, 0, 0)	(0, -2,-2,+2)	(0,-2, 0, 0)
(-1,-1,+1,+1)	(-2, 0, 0,+2)	(-2, 0,+2, 0)	(0, -2, 0,+2)	(0,-2,+2, 0)
(-1,+1,-1,-1)	(-2,+2,-2, 0)	(-2,+2, 0,-2)	(0, 0,-2, 0)	(0, 0, 0,-2)
(-1,+1,-1,+1)	(-2,+2,-2,+2)	(-2,+2, 0, 0)	(0, 0,-2,+2)	(0, 0, 0, 0)
(-1,+1,+1,-1)	(-2,+2, 0,+2)	(-2,+2,+2, 0)	(0, 0, 0,+2)	(0, 0,+2, 0)
(-1,+1,+1,+1)	(0,+2,-2, 0)	(0,+2, 0,-2)	(+2, 0,-2, 0)	(+2, 0, 0,-2)
(+1,-1,-1,-1)	(0,+2,-2,+2)	(0,+2, 0, 0)	(+2, 0,-2,+2)	(+2, 0, 0, 0)

palavras código de C_2 . A seqüência binária emitida pela fonte 2 é segmentada em blocos de comprimento 3, e cada bloco é mapeado em 2 símbolos ternários. Cada símbolo ternário nas 2-uplas do código de linha 3B2T é mapeado em uma palavra código de C_2 do seguinte modo: $0 \rightarrow (-1, -1)$, $1 \rightarrow (-1, +1)$, e $2 \rightarrow (+1, +1)$. O usuário 2 portanto tem taxa de informação de 3/2 bits por uso do canal. Em seguida, blocos de símbolos binários de comprimento 3 emitidos pela fonte 2 são mapeados em 4-uplas como mostrado na Tabela II, formando uma concatenação de palavras código do código *pseudo Manchester*. Palavras código de comprimento 4 serão produzidas de modo síncrono por cada codificador, pela codificação simultânea de 2 símbolos emitidos pela fonte 1 e de 3 símbolos emitidos pela fonte 2, respectivamente. Observamos que a adição de pares de 4-uplas, cada par contendo uma 4-upla do usuário 1 e outra do usuário 2, produzem o código unicamente decodificável mostrado na Tabela III.

A Figura 3 mostra o gráfico da probabilidade de erro de bit versus relação sinal ruído para comparação do esquema de codificação proposto com dois usuários (Figura 2) com o código *Manchester* padrão e a modulação ternária (3-PAM) [4], na presença de ruído branco gaussiano aditivo. Verificamos uma queda de desempenho para o caso de dois usuários quando usamos o esquema de codificação hierárquica proposto, em relação ao caso de um único usuário. A taxa

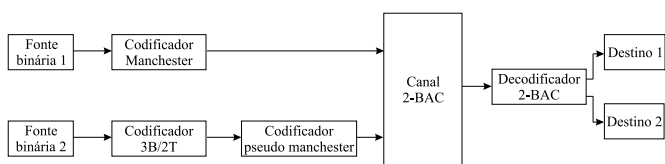


Fig. 2. Esquema de codificação hierárquica com dois usuários.

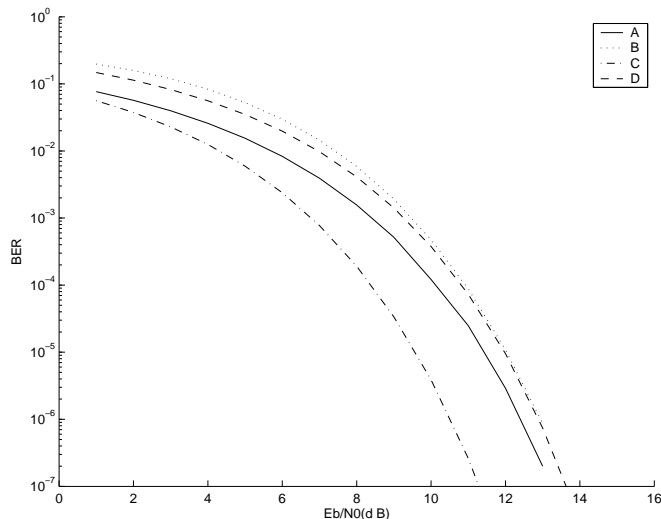


Fig. 3. A - Usuário 1 (codificação hierárquica), B- Usuário 2 (codificação hierárquica), C- Código Manchester, D- PAM ternário.

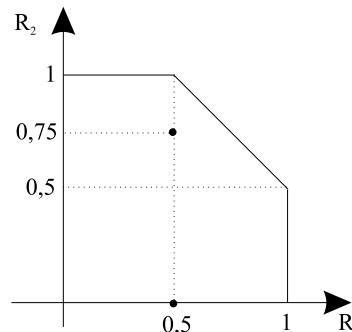


Fig. 4. Região de capacidade para o canal de acesso múltiplo com dois usuários. O ponto $(R_1, R_2) = (0.5; 0.75)$ é obtido com o uso da construção apresentada.

total passa a ser de 1,25 para dois usuários, enquanto para um usuário a taxa resultante é a do código Manchester, ou seja, igual a 1/2. Na Figura 4 indicamos os pontos $(R_1, R_2) = (0.5; 0)$ onde se operava antes, e o ponto $(R_1, R_2) = (0.5; 0.75)$ obtido com o uso da construção apresentada.

Se usarmos o esquema de codificação serial introduzido em [5], em que há a concatenação de um código de bloco e de um código convolucional para cada usuário, aplicado ao caso de codificação hierárquica, substituindo o código convolucional por um código turbo [5] [6], teremos os esquemas de codificação e decodificação ilustrados nas Figuras 5 e 6, respectivamente. Consideremos por simplicidade que o codificador turbo 1 e o codificador turbo 2 são idênticos (Figura 7), isto é são formados por dois codificadores convolucionais recursivos (RSC), denotados por \mathcal{C} , e entrelaçadores idênticos [8]. O decodificador utilizado foi introduzido em [7] e está ilustrado na Figura 6. Após o decodificador turbo estimar a seqüência ternária mais provável, o decodificador 2-BAC estima a seqüência de informação dos dois usuários usando a propriedade de decodibilidade única do par de códigos *Manchester* e *pseudo Manchester*.

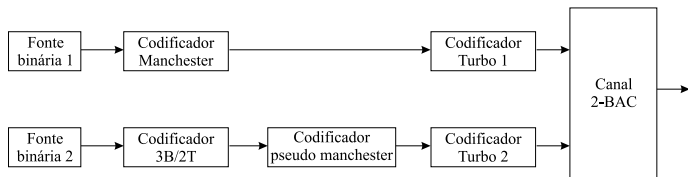


Fig. 5. Concatenação do esquema de codificação hierárquica com código turbo.

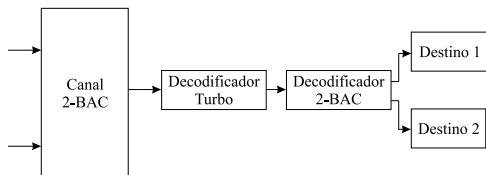


Fig. 6. Decodificador utilizado para esquema de codificação hierárquica com código turbo.

Exemplo 3.1: Consideremos o esquema de codificação ilustrado na Figura 5 em que cada RSC componente C tem matriz geradora polinomial $G(D) = \begin{bmatrix} 1 & 1+D^2 \\ 1+D+D^2 \end{bmatrix}$. O entrelaçador é igual ao utilizado por Berrou e Glavieux em [6], com comprimento 512. O gráfico da probabilidade de erro de bit versus relação sinal ruído, para comparação do esquema hierárquico proposto com dois usuários concatenado com código turbo, está ilustrado na Figura 8 para até 3 iterações.

IV. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposto um esquema de codificação que permite um aumento de taxa de transmissão (tráfego total) em redes *Ethernet*, mantendo compatibilidade com os usuários já existentes. Novos usuários podem ser adicionados usando o esquema de codificação proposto, enquanto que os usuários existentes não precisarão mudar seus respectivos *hardware*. O uso da codificação de linha 3B2T possibilitou combinarmos dois usuários com taxas diferentes, com uma pequena perda. O novo esquema hierárquico proposto suporta 25 Mbit/s de tráfego agregado, com uma degradação inferior a 2dB, a uma taxa de erros de 10^{-5} para um usuário pre-existente. Além disso, mostramos que usando uma decodificação mais sofisticada (decodificação turbo), é possível reduzir a degradação para um usuário pré-existente.

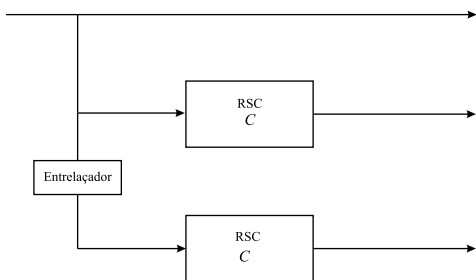


Fig. 7. Diagrama de blocos representando o codificador turbo com taxa 1/3.

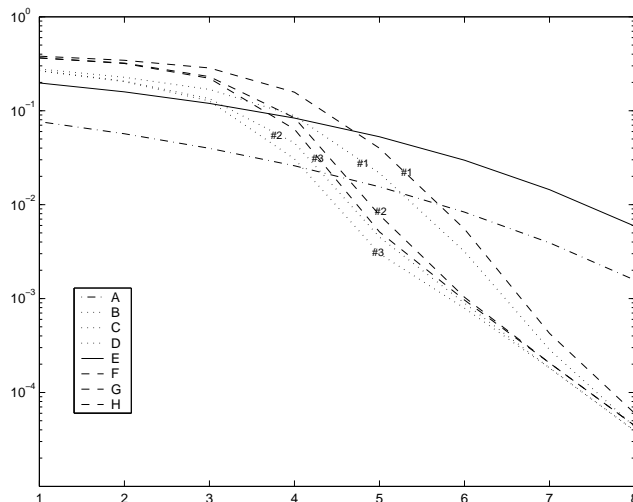


Fig. 8. A - Usuário 1 (codificação hierárquica), B - Usuário 1 com turbo (# 1 iteração), C - Usuário 1 com turbo (# 2 iterações), D- Usuário 1 com turbo (# 3 iterações) E - Usuário 2 (codificação hierárquica), F - Usuário 2 com turbo (# 1 iteração), G - Usuário 2 com turbo (# 2 iterações), H- Usuário 2 com turbo (# 3 iterações).

REFERÊNCIAS

- [1] R.M. Metcalfe and D.R.Boggs, "Ethernet: distributed packet switching for local computer networks". *Communications of the ACM*, vol.19, no.7, July 1976. Reprinted in *Multiple Access Communications*, Editor N. Abramson, IEEE Press, pp.379-398, 1993.
- [2] B.P. Lathi *Modern Digital and Analog Communication Systems*. New York: Holt-Saunders International Editions, 1983.
- [3] T. Kasami and Shu Lin, "Bounds on the achievable rates of block coding for a memoryless multiple-access channel", *IEEE Trans. on Inform. Theory*, v. IT-24, no. 2, p.187-197, March 1978.
- [4] J.G. Proakis, *Digital Communication*. New York, USA: Mc. Graw Hill Inc., 1995.
- [5] V.C. da Rocha Jr. and M.L.M.G. Alcoforado, "Trellis code construction for the 2-user binary adder channel", *Proceedings of 11th International Conference on Telecommunications*, Fortaleza, Ceará, Brazil, Editors J. Neuman and P. Dini, Springer Verlag, pp.122-127, August 2004.
- [6] C. Berrou and Alain Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no.10, pp.1261-1271, October 1996.
- [7] M.L.M.G. Alcoforado and V.C. da Rocha Jr. "Turbo convolutional codes for binary adder channel", *Eighth International Symposium on Communication Theory and Application*, Ambleside, Lake District, UK, pp.142-147, July 2005.
- [8] C. Heegard and S. B. Wicker, *Turbo Coding*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London, 2001.