

Reginaldo Palazzo Jr.
Departamento de Telemática
FEE-UNICAMP, C.P. 6101
13081 Campinas, SP

*Keiko V. Ono Fonseca
Departamento de Eletrônica
CEFET - PR
80230 Curitiba, PR

RESUMO

Neste trabalho estabelecemos as propriedades estruturais, de distância e geração dos códigos TCM variantes no tempo. Condições para que a análise de desempenho de tais códigos possa ser realizada são apresentadas, bem como algumas formas de codificadores TCM variantes no tempo. A propriedade de superlinearidade foi estabelecida para uma das formas de codificadores TCM variantes no tempo. Exemplos ilustrativos de códigos TCM variantes no tempo superlineares com os respectivos ganhos assintóticos são apresentados.

1. Introdução

Desde a proposta por Ungerboeck [3] da forma combinada de codificação e modulação (TCM), inúmeros trabalhos têm surgido na literatura técnica tratando dos mais diferentes aspectos deste problema de codificação de canal. Porém, todas essas contribuições estão relacionadas com o aspecto de invariância no tempo.

O objetivo principal deste trabalho é o de estabelecer as propriedades que denominaremos de estruturais e de distância da classe TCM variante no tempo, sendo que as mesmas vem a estender aquelas existentes para os códigos de treliça em geral. Considerações que deram origem a este trabalho estão em [1].

Os códigos TCM variantes no tempo (TCM-VT) podem ser obtidos a partir dos códigos TCM invariantes no tempo (TCM-IT) através do entrelaçamento destes mesmos códigos segundo um determinado arranjo. Como um exemplo deste fato, a Fig. 1 mostra treliças de alguns códigos TCM-VT.

Na estrutura básica tanto dos códigos TCM-VT como dos códigos TCM-IT, o codificador convolucional é o responsável direto pela estrutura da treliça em cada intervalo de codificação. Esta estrutura é uma consequência de como as memórias (ou registros) estão distribuídas ao longo de cada uma das entradas. Dessa forma, o codificador convolucional mais o mapeamento compõem as diferentes configurações treliça-constelação que variam ao longo do tempo caracterizando um código TCM-VT.

Assim, a Fig. 1 apresenta os códigos gerados por estas configurações repetidas ciclicamente dando origem aos códigos TCM-PVT. Note que se não existir uma

repetição cíclica, então o código sendo gerado é do tipo TCM-VT.

Definiremos como período T o intervalo de tempo em que um conjunto de configurações treliça-constelação se repete e de periodicidade o número de vezes que uma mesma configuração se repete em um período.

Na seção 2, iremos abordar os aspectos relacionados aos codificadores TCM-VT. Na seção 3, será estabelecida a distância mínima dos códigos TCM-VT. A seção 4 apresenta as condições para que os códigos TCM-VT sejam superlineares. A seção 5 busca explicitar através de alguns exemplos as características e propriedades estabelecidas nas seções anteriores. Finalmente, na seção 6, apresentaremos as conclusões.

2. Codificadores TCM-VT

Nesta seção procuraremos descrever o processo de codificação variante no tempo que será considerado neste trabalho.

Como ocorre com os códigos convolucionais, e em geral com os códigos de treliça, o processo de geração dos códigos TCM-VT não possui uma estrutura algébrica (até agora) definida. Isto implica na utilização de procedimentos heurísticos no processo de geração de tais códigos. Como consequência deste fato, o processo de codificação variante no tempo consiste basicamente em se escolher as estruturas das treliças através dos codificadores convolucionais e as constelações onde serão mapeadas as palavras código geradas.

Algumas formas bem como as condições de se combinarem as treliças e constelações serão estabelecidas além das representações esquemáticas dos codificadores.

As condições que se fazem necessárias impor para que a análise dos códigos TCM-VT possa ser realizada

*Este trabalho teve o suporte financeiro do Programa CAPES-PICD.

são:

- I - O número de estados das estruturas de treliças a serem combinadas devem ser iguais;
- II - Uma seqüência de entrada qualquer deve proporcionar ao mesmo tempo a mesma seqüência de estados nas diferentes treliças que compõem o código TCM-VT.

A Condição I estabelece a existência de uma correspondência biunívoca entre seqüências de bits de informação e caminhos na treliça, isto é, a toda seqüência de bits de informação existe um e somente um caminho na treliça e vice-versa. De uma forma mais simples, a Condição I garante que todos os estados de uma treliça podem ser alcançados ou alcançar os estados dos quadros de transições anterior e posterior a um determinado instante de tempo kT , respectivamente. Para que esta condição aconteça, o número de memórias deve ser o mesmo para cada um dos codificadores convolucionais. Embora os codificadores apresentem o mesmo número de memórias, a distribuição destas ao longo das entradas define os diversos tipos de treliça do código TCM-VT. A Fig. 2 ilustra o caso onde ocorrem quadros de transições contendo diferentes números de estados.

A Condição II garante que as seqüências de estados em treliças diferentes sejam iguais para uma mesma seqüência de informação. A combinação de treliças que obedecem esta condição resultará em uma treliça variante no tempo distribuída de descontinuidade, isto é, no instante de tempo jT o estado que apenas acabou de ser alcançado pelos bits de informação é o mesmo de onde partirá com os próximos bits de informação definindo a próxima transição de estado independente do tipo de treliça que determina esta transição.

Na verdade, os diversos tipos de treliça seguem suas seqüências de estados independentemente uma das outras e ao serem conectadas entre si partem sempre do do mesmo estado alcançado pelo quadro de transições anterior. Para tal, o conteúdo dos registros do próximo codificador a ser serializado deverá conter os mesmos valores dos registros do codificador predecessor e uma regra de leitura do conteúdo dos registros (estados) é estabelecida. As diferentes treliças invariantes no tempo, que compõem uma única treliça variante no tempo, podem ser determinadas por um conjunto de codificadores convolucionais. Neste conjunto, o número de entradas e memória devem ser iguais em cada um dos codificadores.

Cada uma das entradas de um codificador é ligada em paralelo com entradas correspondentes dos demais codificadores do conjunto. Este arranjo de entradas paralelas determina os mesmos bits de entrada para todos os codificadores convolucionais, ou seja, uma entrada de bits em um codificador determina a mesma transição de estado em todas as treliças invariantes no tempo. Esta é uma situação típica de codificadores com idêntica distribuição de memórias. A Condição II não sendo satisfeita implica na existência de descontinuidades entre

os estados para o mesmo instante de tempo. Estas descontinuidades advêm do fato de que o estado do codificador que acabou de ser serializado. Estes saltos constituem variáveis aleatórias de um processo estocástico cuja descrição estatística é desconhecida, conseqüentemente, dificultando substancialmente o modelo a ser adotado para a análise de desempenho de tais códigos.

Assim, as condições aqui descritas tornam possível uma correspondência um a um das seqüências de bits de informação com as correspondentes seqüências de estados do código TCM-VT. Para tal, considere o caso em que se dispõem de duas estruturas distintas de treliças satisfazendo a Condição I como ilustra a Fig. 3. Considere ainda que cada uma dessas treliças resulte de um código TCM-IT. Uma vez que sejam fixados o período e a periodicidade, a estrutura da treliça resultante será obtida através do entrelaçamento das treliças invariantes no tempo. Desta forma, o processo de estimação de seqüências por máxima verossimilhança, isto é, o algoritmo de Viterbi, continua válido.

Uma vez que as condições para uma análise de desempenho destes códigos foram estabelecidas, o próximo passo passa a ser a descrição de alguns dos codificadores TCM-VT. Neste trabalho, estaremos considerando 3 possíveis formas de codificadores. A seguir, passaremos a apresentar essas 3 formas, ou seja:

CASO A - Mantém-se a constelação fixa e alternam-se as treliças: a Fig. 4 apresenta N codificadores convolucionais diferentes cada um com taxa $r = k/n$ e m memórias cujas entradas são alimentadas em paralelo e as correspondentes saídas multiplexadas no tempo com o mapeamento destas saídas em uma única constelação. O período e a periodicidade do código resultante são definidos pelo multiplexador (mux). Observe que, enquanto um codificador convolucional está conectado ao mapeamento através do mux, os demais codificadores são alimentados com o mesmo dado de entrada concomitante ocorrendo a mudança de estado, mas suas saídas não são mapeadas. Note que para partir do mesmo estado, o próximo codificador a ser serializado deverá ter nos seus registros o mesmo conteúdo do codificador anterior (caso contrário, a Condição II não estará sendo satisfeita). Ciclicamente, por sua vez conectados ao mapeador, partirão do mesmo estado da treliça determinado pela transição anterior, satisfazendo desta maneira a Condição II.

CASO B - Mantém-se a treliça fixa e alternam-se as constelações: a Fig. 5 apresenta o codificador TCM-VT onde o codificador convolucional de taxa $r = k/n$ e m memórias é único e sua saída é conectada a N mapeamentos diferentes através de um multiplex. Cabe ao mux selecionar as constelações a serem mapeadas segundo uma política previamente determinada que define o período e a periodicidade do código.

CASO C - Alternam-se as constelações e treliças. Cada treliça corresponde a uma constelação diferente: a Fig. 6 apresenta o codificador TCM-VT onde os N co-

dificadores convolucionais distintos possuem m memórias com suas entradas ligadas em paralelo e suas saídas mapeadas independentemente (note que neste caso, os codificadores convolucionais podem possuir taxas diferentes, uma vez que as mensagens são mapeadas em constelações independentes e estas por sua vez podem diferir quanto as respectivas cardinalidades e que a observação com relação ao conteúdo dos registros continua válida). Os sinais modulados são então multiplexados no tempo, definindo assim a saída do codificador TCM-VT. Novamente, o período e a periodicidade do código resultante são definidos pelo mux.

Gostaríamos de enfatizar que nos casos A, B e C os codificadores envolvidos possuem o mesmo número de entradas e de memórias. Implicitamente, estamos assumindo que existe um sincronismo perfeito entre o transmissor e o receptor.

3. Distância Mínima dos Códigos TCM-VT

Para facilitar o entendimento do método a ser utilizado na determinação da distância mínima dos códigos TCM-VT, iremos através de um exemplo estabelecer passos necessários. Após esta apresentação, ficará claro como uma generalização da determinação da distância mínima dos códigos TCM-VT poderá ser realizada.

Sem perda de generalidade, considere um codificador TCM-PVT como do Caso C. A Fig. 7 ilustra tal codificador. A Fig. 8 mostra como cada seqüência de informação enviada pode ser mapeada em qualquer uma das 3 configurações treliça-constelação dependendo de como for estabelecido o início do quadro de transições (note que o período e a periodicidade foram fixados previamente), isto é, uma mesma seqüência de informação pode ser mapeada de três maneiras distintas dependendo do tipo do arranjo inicial. No caso em questão teremos os arranjos AAB, ABA e BAA respectivamente. Isto produz como conseqüência três diferentes conjuntos de distâncias Euclidianas. Assim, a distância mínima do código resultante é a menor das distâncias mínimas destes conjuntos.

A distância mínima, d_{mi} é obtida da seguinte maneira:

- 1) escolhe-se um arranjo qualquer das treliças dentre os possíveis arranjos como condição inicial das seqüências a serem comparadas. No exemplo ilustrado pelas Figs. 7 e 8, para obtermos d_{m1} , iniciamos o processo de comparação a partir do arranjo BAA das treliças;
- 2) comparam-se aos pares todas as seqüências que partem do arranjo estabelecido no passo anterior e calculam-se as distâncias entre estas;
- 3) a menor distância Euclidiana encontrada entre as seqüências será d_{mi} , isto é;

$$d_{mi} = \min(d_{i1}, d_{i2}, \dots)$$

onde d_{ij} é a distância Euclidiana da j -ésima seqüência que inicia em um dos arranjos $i = (AAB, ABA, BAA)$.

A distância mínima será então dada por

$$d_{min} = (d_{m1}, d_{m2}, d_{m3})$$

O número de estados, transições e configurações diferentes determinam a complexidade da avaliação da distância mínima de um código TCM-VT. O tempo de processamento do algoritmo de Viterbi na determinação do caminho de distância mínima é diretamente proporcional ao número de estados e transições entre os estados, pois são estes fatores que determinam a quantidade de memórias e operações necessárias para o cálculo e armazenamento dos sobreviventes. A quantidade de arranjos determina a associação de diferentes conjuntos de distâncias Euclidianas (definidos pela participação das constelações) aos ramos da treliça e/ou entrelaçamento de diferentes treliças. O número de operações realizadas para a determinação da distância mínima é pelo menos i vezes maior que o de um código TCM-IT.

A classe dos códigos TCM-IT superlineares possibilita a determinação da distância mínima do código através da comparação das seqüências codificadas utilizando-se somente uma seqüência de referência ao invés de todos os possíveis pares de seqüências. Isto sem dúvida simplifica bastante a avaliação do código quanto ao critério da distância mínima. Neste ponto, é oportuno investigar se esta mesma propriedade existe para os códigos TCM-VT. Em caso positivo, a análise ficaria substancialmente reduzida.

4. Códigos TCM-PVT Superlineares

Diante das características e fatos apresentados na seção anterior, natural que se busquem respostas às seguintes questões:

- Um código TCM-PVT formado pela combinação de N códigos TCM-IT superlineares é superlinear?
- Se afirmativo, que condições devem ser satisfeitas?

As respostas positivas a estas questões simplificam significativamente a avaliação dos códigos TCM-PVT aqui tratados.

Antes, porém de continuar nossa análise, se faz necessário estabelecer precisamente o que vem a ser um código superlinear. Para tal, usaremos um resultado de Marsan et al. [2], isto é,

TEOREMA [2]: Um código é dito superlinear se:

- 1 - é linear, isto é, existe uma operação chamada "soma" e denotada "+" sobre a qual o alfabeto de modulação forma um grupo Abeliano; e existe um homomorfismo do alfabeto de entrada $\{X\}$ no alfabeto de modulação $\{Z\}$.
- 2 - é possível associar a cada símbolo de $\{Z\}$ um número real positivo $w(Z)$ tal que

$$d(Z_i, Z_j) = w(Z_i + Z_j)$$

Da condição de linearidade deriva a propriedade

$$Z(X_i + X_j) = Z(X_i) + Z(X_j)$$

Em vista de que acabamos de mencionar, iremos estabelecer o seguinte:

PROPOSIÇÃO: Sob a condição de que as estruturas das treliças são diferentes e a constelação é fixa, um código TCM-PVT formado pela combinação de códigos TCM-IT superlineares é superlinear.

PROVA: No caso de treliças distintas e mapeamento único, os N codificadores convolucionais de memória m e taxa $r = k/n$ podem ser explicitados, através de justaposição, como um codificador convolucional de memória m e taxa $r = N \cdot k/N \cdot n$ cuja saída é mapeada somente em um tipo de constelação. Este mapeamento único é representado pela letra M .

Sejam $C = \{C_i\}$, $M = \{M_i\}$, $w = \{w_i\}$ e $d = \{d_i\}$ com $1 \leq i \leq N$, codificadores convolucionais, mapeamentos, funções peso e distâncias Euclidianas, respectivamente. Sejam Z , Z_i e Z_j sinais.

Cada código convolucional invariante no tempo, C_i , após o mapeamento M , determina um código TCM-IT superlinear se existe uma função peso $w_i(\cdot)$ tal que

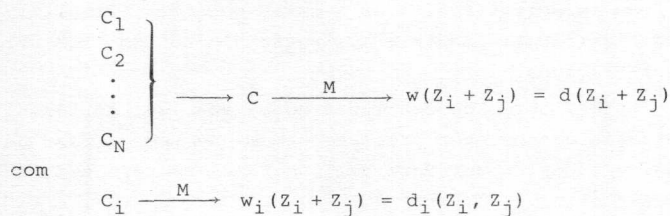
$$w_i(Z_i + Z_j) = d(Z_i, Z_j)$$

onde $d(Z_i, Z_j)$ é a distância Euclidiana entre os pontos Z_i e Z_j .

Pode-se mostrar facilmente que o código convolucional variante no tempo resultante da combinação de dois ou mais códigos convolucionais invariantes no tempo é linear. Ao substituirmos a combinação de códigos convolucionais invariantes no tempo, C_1 , e efetuarmos o mapeamento, constituindo desta forma as palavras do código TCM-VT, o código resultante será superlinear se e somente se

$$w(Z_i + Z_j) = d(Z_i, Z_j) \quad (1)$$

O diagrama 1 apresenta a situação apenas descrita:



onde $1 \leq i \leq N$.

Devemos então verificar se existe uma função peso $w(\cdot)$ para o código C mapeado por M tal que (1) seja válida. Sem perda de generalidades, consideraremos um código convolucional C resultante da combinação de dois códigos convolucionais invariantes no tempo. Pelo diagrama 1, as palavras codificadas são mapeadas no conjunto de sinais $\{Z\}$ possuidor da propriedade de fechamento. Sejam S_i , $1 \leq i \leq q$ as seqüências de sinais transmitidos relativos às mensagens dos códigos TCM-IT superli-

neares C_1 e C_2 , $\{Z_{kp}\}$ o conjunto de sinais da seqüência k do código C_1 referente ao período p e $\{Z_{kp}\}$, o conjunto de sinais da seqüência k do código C_2 referente ao período p .

Estabeleceremos um arranjo como mostrado na Fig. 9. A primeira coluna do referido arranjo denota os sinais do código TCM-IT C_1 e a segunda coluna aos sinais do código TCM-IT C_2 . Ciclicamente este padrão se repete. Cada coluna possui sinais de modulação referentes às mensagens geradas por único código TCM-IT superlinear. A sucessão periódica das colunas forma as seqüências de sinais modulados do código TCM-PVT. Ao se comparar o sinal de primeira coluna de uma seqüência S qualquer com os demais sinais de todas as outras seqüências nesta mesma coluna, obtém-se um conjunto de distâncias Euclidianas referentes às mensagens do código TCM-IT superlinear C_1 , isto é, não importa qual seja a seqüência de referência, os conjuntos de distâncias destas seqüências em relação às demais é sempre o mesmo. Isto implica que existe uma função

$$w_z(Z_i + Z_j) = d(Z_i, Z_j)$$

onde Z_i e Z_j estão na mesma coluna e o índice z refere-se ao código TCM-IT C_1 ou C_2 . O mesmo ocorre com as distâncias obtidas da segunda coluna do arranjo bem como as demais.

Considere a seqüência de sinais S_1 truncada como a seqüência de referência do arranjo da Fig. 9. Assim,

$$d(S_1, S_2) = d(Z_{i1}, Z_{j1}) + d(Z'_{i1}, Z'_{j1}) + d(Z_{i2}, Z_{j2}) + d(Z'_{i2}, Z'_{j2}) + \dots$$

Como as distâncias referem-se às colunas dos códigos C_1 e C_2 , temos

$$w(S_1 + S_2) = w_1(Z_{i1} + Z_{j1}) + w_2(Z_{i1} + Z_{j1}) + w_1(Z_{i2} + Z_{j2}) + w_2(Z_{i2} + Z_{j2}) + \dots \quad (2)$$

rearranjando (2), temos

$$w(S_1 + S_2) = w_1(Z_{i1} + Z_{j1}) + w_1(Z_{i2} + Z_{j2}) + \dots + w_2(Z_{i1} + Z_{j1}) + w_2(Z'_{i2}, Z'_{j2}) + \dots$$

onde $w_1(\cdot)$ e $w_2(\cdot)$ são funções peso dos sinais pertencentes à mesma constelação. Embora os pontos desta constelação não representem exatamente as mesmas mensagens codificadas para os dois códigos, uma vez que estes são diferentes, as matrizes distância destes sinais são equivalentes para ambos os códigos. Por exemplo:

$$d(Z'_{i1}, Z'_{j1}) = d(Z_{ik}, Z_{jk}) \quad e$$

$$w_2(Z'_{i1} + Z'_{j1}) = w_1(Z_{ik} + Z_{jk})$$

trocando-se os índices de um dos códigos, por exemplo $Z'_{i1} = \tilde{Z}_{ik}$ e $Z'_{j1} = \tilde{Z}_{jk}$ resulta em

$$w_2(\tilde{Z}_{ik} + \tilde{Z}_{jk}) = w_1(Z_{ik} + Z_{jk}) = w(Z_{ik} + Z_{jk})$$

isto é, existe uma matriz adição do alfabeto de modulação Z cujos símbolos correspondem a distâncias iguais na mesma posição da matriz distância entre estes símbolos (Teorema). Esta condição é suficiente

para que o código TCM-PVT do Caso A seja superlinear.

Para os outros dois casos de combinação de códigos TCM-IT superlineares, o raciocínio para comprovação de que o código variante no tempo resultante é também superlinear é semelhante ao apresentado acima.

5. Exemplos

Nesta seção apresentaremos, à título de exemplos, alguns códigos TCM-PVT superlineares resultantes da combinação de códigos TCM-IT superlineares com taxa $r = 3/4$, $m = 3$, mapeados em constelações bi-dimensionais como mostradas na Fig. 10.

Para efeito dos cálculos, serão utilizados duas configurações de codificadores TCM-IT cada com três memórias, três entrada e quatro saídas, que determinam três tipos de treliça, a saber:

TRELIÇA A - (tr A) : duas entradas livres de memórias, ou seja, de cada estado partem dois conjuntos de ramos cada um contendo quatro sinais que irão terminar em dois estados.

TRELIÇA B - (tr B) : uma entrada livre de memórias, ou seja, de cada estado partem quatro conjuntos de ramos cada um contendo dois sinais que irão terminar em quatro estados.

TRELIÇA C - (tr C) : todas as entradas possuem uma memória, ou seja, de cada estado partem oito ramos, cada um contendo um sinal, que irão terminar em oito estados.

Serão consideradas as combinações das trs A e B que resultem na maior distância Euclidiana mínima para os códigos TCM-PVT superlineares determinados por estas combinações.

A tr C não foi adotada em combinações que resultam em códigos variantes no tempo por apresentarem um tempo computacional alto para o cálculo dos caminhos com distâncias Euclidianas mínimas. A Fig. 11 ilustra os casos de trs A e B, respectivamente.

A Tabela I relaciona os códigos TCM-PVT com período dois obtidos das combinações dos códigos ótimos de [3]. As colunas correspondem a valores de distância mínima (d_{\min}^2) da combinação resultante e valores dos ganhos assintóticos de codificação em relação ao 8-PSK não codificado. A coluna "combinações" define a combinação dos códigos TCM-IT utilizados. Por exemplo, na primeira linha da Tabela II a combinação (I e II) significa que o período do código resultante inicia com o mapeamento na constelação I (16-QAM) e no próximo quadro de transições passa a mapear na constelação II (16-QAM).

A Tabela II apresenta resultados de combinações de dois códigos TCM-IT mapeados em 16-PSK (tr A) e em 16-QAM (tr B), respectivamente, cuja periodicidade é maior ou igual a 1. A Fig. 12 ilustra a treliça do código das três primeiras linhas da Tabela II.

A Tabela III fornece os ganhos assintóticos de codificação dos códigos TCM-IT ótimos.

A Tabela IV mostra as combinações de treliças diferentes com o mapeamento sendo realizado somente sobre uma constelação. Neste caso, a distância mínima dos códigos obtidos ficou limitada pelas distâncias entre transições paralelas.

Seria interessante especificarmos a notação utilizada nas Tabelas II, III e IV. Por QAM-A e QAM-B queremos dizer que correspondem às constelações 16-QAM com as treliças A e B, respectivamente, do codificador convencional.

6. Conclusões

Neste trabalho procuramos estabelecer as propriedades estruturais e de distância dos códigos TCM-VT. Estas propriedades estendem aquelas estabelecidas anteriormente para o caso de invariância no tempo proporcionando desta forma um melhor entendimento da classe dos códigos de treliça. Sob este aspecto, esperamos que novas contribuições possam vir a incorporar as já existentes.

Tabela I

Combinações	tr A para todas as constelações		tr A para const. I e IV tr B para const. II e III	
	d_{\min}^2	G(dB)	d_{\min}^2	G(dB)
I e II	.6353 (*)	.35239 (*)	.7529 (*)	1.08998
II e I	.7529 (-)	1.08998	.7529	1.08998
I e III	.60535 (*)	.14267 (*)	.60535 (*)	.14267 (*)
III e I	.7529 (-)	.93958	.7337	.9778
I e IV	.5757 (*)	-.075 (*)	.575703 (*)	-.075 (*)
IV e I	.7529 (-)	1.08998	.7529 (-)	1.08998
II e III	.7529 (*, -)	1.08998 (*)	1.70909	4.65025
III e II	.7529 (-)	1.08998	1.2727	3.37 (*)
II e IV	1.6 (*, -)	4.33638 (*)	1.7522	4.758
IV e II	1.6 (-)	4.3638	1.7238 (*)	4.687 (*)
III e IV	.7529 (*, -)	1.08998 (*)	.8795 (*)	1.765 (*)
IV e III	.7529 (-)	1.08998	1.31313	3.5054

Constelação: I - 16-AM; II - 16-QAM; III - 16-AM-PM; IV - 16-PSK

(*) - é o limitante inferior da distância mínima e do ganho assintótico de codificação

(-) - indica que a distância mínima encontra-se entre transições paralelas

Tabela II

Combinação	d_{\min}^2	G(dB)
PSK-A / PSK-A / QAM-B	1.571	4.286
QAM-B / PSK-A / PSK-A	1.538	4.1922
PSK-A / QAM-B / PSK-A	1.6283	4.44
QAM-B / PSK-A	1.7522	4.758
PSK-A / QAM-B	1.7238	4.687
QAM-B / PSK-B	1.7522	4.758
PSK-B / QAM-B	1.57156	4.286

Tabela III

Ganho Assintótico	16QAM-A	16QAM-B	16PSK-A	16PSK-B
G(dB)	4.3638	5.3333	4.0136	3.5408

Tabela IV

Combinações	d_{mi}^2	G(dB)
QAM-A / QAM-B	1.6	4.3638
QAM-B / QAM-A	1.6	4.3638

7. Referências Bibliográficas

- [1] R. Palazzo Jr., Códigos de Treliças Fixos e Variantes no Tempo, Tese de Livre Docência, FEE-UNICAMP, Agosto 1987.
- [2] M.A. Marsan, G. Albertengo, S. Benedetto, E. Giachin, "Theoretical Aspects and Performance Evaluation of Channel Encoding with Redundant Modulator Alphabets", Proc. GLOBECOM 84, Nov. 1984, Atlanta, USA.
- [3] G. Ungerboeck, "Channel Coding with Multilevel/Phase Signal", IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. IT-28, Jan. 1982.

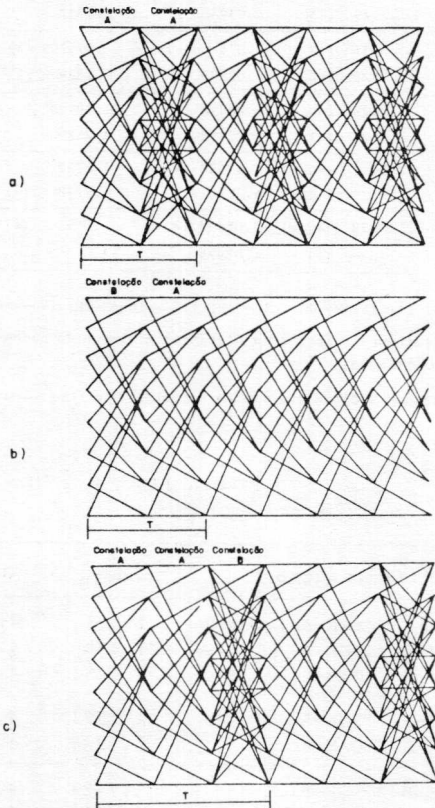


Fig 1

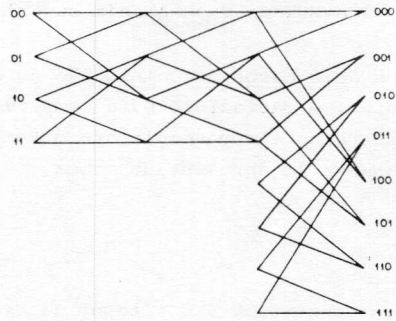


Fig 2

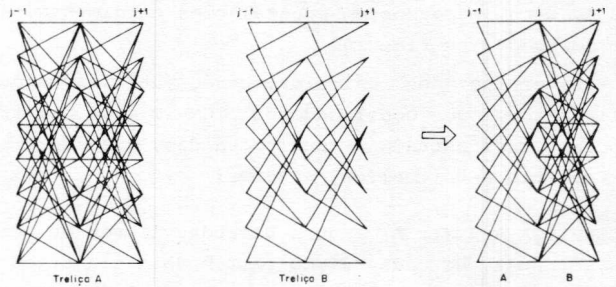


Fig 3

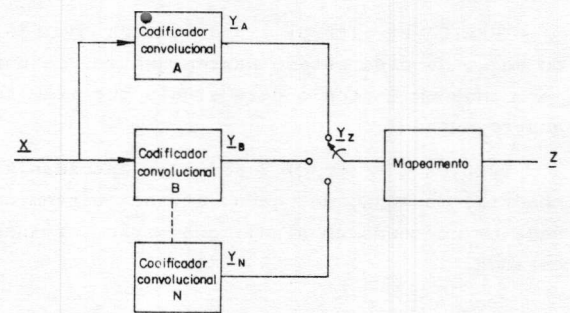


Fig 4

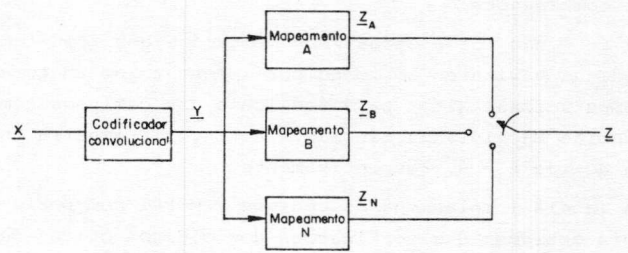


Fig 5

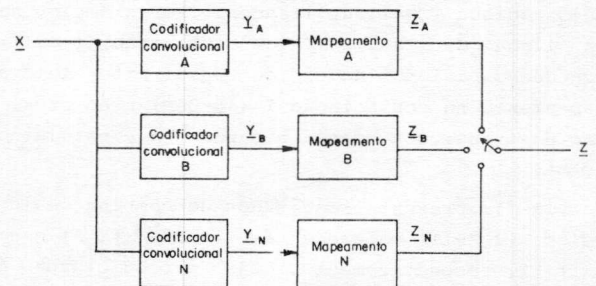


Fig 6

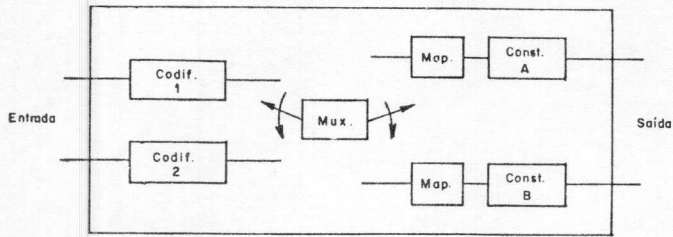


Fig 7

Configurações	i
AAB	1
ABA	2
BAA	3

$$d_{\min} = \{d_{m_1}, d_{m_2}, d_{m_3}\}$$

$$0 < i \leq 3$$

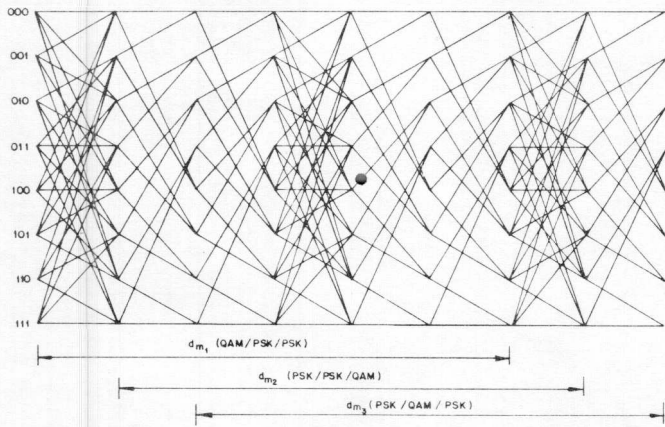
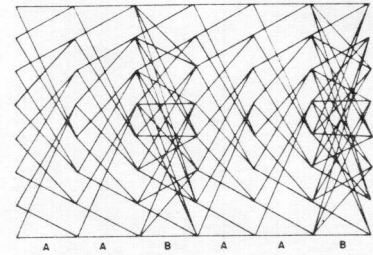
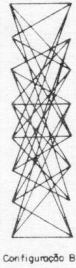


Fig 8



Configuração A



Configuração B

Fig 11

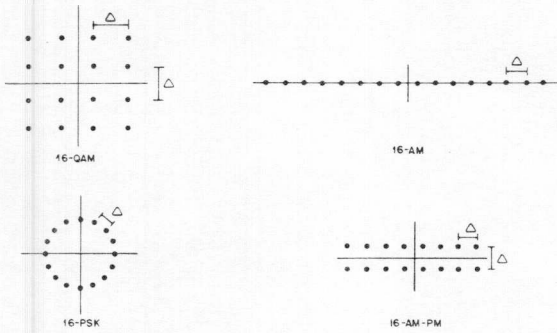


Fig 10

Sequência \ Código	Código			
	C_1	C_2	C_1	C_2
S_1	Z_{11}	Z'_{11}	Z_{12}	Z'_{12}
S_2	Z_{21}	Z'_{21}	Z_{22}	Z'_{22}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
S_α	$Z_{\beta 1}$	$Z'_{\beta 1}$	$Z_{\beta 2}$	$Z'_{\beta 2}$

Fig 9