

1. Classificação <i>INPE-COM. 3/NTE</i> <i>CDU: 621.391.83</i>	2. Período	4. Critério de Distribuição: interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>Modulação delta</i> <i>Modulação DPCM</i> <i>MODEM</i>		
5. Relatório nº <i>INPE-1173-NTE/107</i>	6. Data <i>Dezembro de 1977</i>	7. Revisado por <i>Jose R. de Oliveira</i>
8. Título e Sub-Título <i>CODIFICADOR ADAPTATIVO DELTA/DPCM PARA TRANSMISSÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS POR VIA TELEFÔNICA</i>		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor
10. Setor <i>DME</i>	Código <i>413</i>	11. Nº de cópias <i>10</i>
12. Autoria <i>Juan Carlos Pinto de Garrido</i> <i>Marcos Antonio Bergamo</i> <i>Aydano Barreto Carleial</i>		14. Nº de páginas <i>22</i>
13. Assinatura Responsável <i>Juan Carlos P. Garrido</i>		15. Preço
16. Sumário/Notas <i>Imagens meteorológicas de alta resolução (tipo VHRR) são transmitidas por satélites NOAA e recebidas pelo INPE. Está sendo desenvolvido um codificador híbrido delta/DPCM, adaptativo, do tipo proposto por Frei, Schindler e Vettiger, visando obter substancial compressão dos dados. O objetivo é transmitir as imagens em tempo útil, sem degradação sensível de qualidade, através de canais de pequena capacidade. O sistema utiliza o modo delta (um bit por elemento de imagem) para codificar as regiões de variações suaves, que predominam nas imagens, e o modo DPCM (três bits por elemento) para regiões de variações mais bruscas.</i>		
17. Observações		

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II	
DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE CODIFICAÇÃO.....	3
CAPÍTULO III	
DESCRIÇÃO GERAL DO CODIFICADOR DELTA/DPCM.....	7
3.1 - Filtro passa-baixas.....	7
3.2 - Amplificador do sinal diferença.....	7
3.3 - Circuito de amostragem e retenção (Sample/Hold).....	7
3.4 - Quantizador não linear de oito níveis.....	9
3.5 - Gerador do modo de operação do codificador e conversor paralelo-série.....	11
3.6 - Adaptador de bits delta.....	12
3.7 - Previsor.....	13
3.8 - Conversor digital-analógico.....	14
3.9 - Compressor de bits delta.....	14
3.10- Introdutor de bits marcadores.....	14
3.11- Gerador da sequência de sincronismo de linha.....	15
3.12- Chave seletora.....	15
3.13- Buffer variável de 8 x 1024 bits.....	15
3.14- Interface com o Modem.....	16
CAPÍTULO IV	
CONCLUSÕES.....	17
BIBLIOGRAFIA.....	18

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1 - Codificação para o modo delta . (a) Forma de onda do vídeo. (b) Bits delta em $3f_s$. (c) Bits delta comprimidos para transmissão. (d) Bits reconstituídos em $3f_s$ na recepção. (e) Forma de onda reconstituída no receptor.....	3
Figura II.2 - Característica de codificação do modo DPCM em relação ao tamanho, q, do degrau delta.....	5
Figura II.3 - Exemplo de transição delta→DPCM→delta.....	6
Figura III.1- Diagrama de blocos do codificador delta/DPCM.....	8
Figura III.2- Algoritmo otimizado que impede transições indesejáveis de modo.....	12

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1 - Tabela de codificação para o modo delta..... 4

Tabela III.1 - Quantizador não linear de oito níveis.....10

Tabela III.2 - Codificador delta adaptado.....13

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

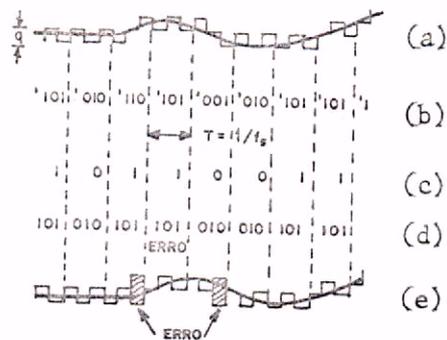
Fotografias de satélites meteorológicos que cobrem vastas áreas da Terra, como as obtidas pelos radiômetros de resolução muito alta (VHRR) dos satélites NOAA, apresentam estatísticas de claro-escuro diferentes de região para região. Em particular, a distribuição das diferenças de luminosidade entre elementos de imagem (pixels) consecutivos pode variar bastante de uma para outra região da mesma foto VHRR. Um codificador de fonte eficiente para essas imagens deve levar em conta as variações estatísticas.

Descreve-se nesse trabalho um sistema de codificação adaptativo delta/DPCM, projetado com a finalidade de abreviar o tempo de transmissão das fotos VHRR através de canais telefônicos. O sistema baseia-se na técnica ad-hoc de codificação proposta por Frei, Schindler e Vettiger [1] para imagens de televisão. Suas principais vantagens são a baixa taxa de transmissão (abaixo de 1,5 bits por pixel), a alta qualidade da imagem reproduzida e a complexidade relativamente pequena dos circuitos. O sistema utiliza modulação delta nas regiões de variações suaves, que predominam nas imagens, e utiliza DPCM (PCM diferencial) nas regiões de variações bruscas. A comutação entre um e outro modo de operação faz-se automaticamente.

CAPÍTULO II

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE CODIFICAÇÃO

O codificador adaptativo delta/DPCM seleciona um dos dois modos de operação, de acordo com o sinal instantâneo produzido pela fonte. Nas regiões de pequenas variações da forma de onda analógica, o codificador opera no modo delta, produzindo um bit por amostra ou pixel. O princípio de operação e a tabela de codificação são mostrados na Figura II.1 e na Tabela II.1.



Fig, II.1 - Codificação para o modo delta. (a) Forma de onda do vídeo. (b) Bits delta em $3f_s$. (c) Bits delta comprimidos para transmissão. (d) Bits reconstituídos em $3f_s$ na recepção. (e) Forma de onda reconstituída no receptor.

TABELA II.1

TABELA DE CODIFICAÇÃO PARA O MODO DELTA

CÓDIGO DELTA NO TRANSMISSOR	MODO	CÓDIGO PARA TRANSMISSÃO	CÓDIGO DELTA NO RECEPTOR
001 010 100	DELTA	0	010 010 010
110 101 011	DELTA	1	101 101 101
000 111	TRANSIÇÃO delta→DPCM	000 111	000 111

A forma de onda da imagem é amostrada à taxa $3f_s$ (três vezes a frequência de Nyquist), produzindo, portanto, uma taxa de bits de $3f_s$. A seguir, grupos de três bits são comprimidos para um bit, de acordo com decisão majoritária, conforme indicado na Figura II.1. Grupos de três bits idênticos são tratados de modo especial. A figura mostra ainda como é feita a reconstrução dos bits delta comprimidos no receptor. Esta reconstrução leva a alguns erros na forma de onda decodificada, mas a distorção resultante é praticamente imperceptível.

Se, antes da compressão, o modo delta produz três bits consecutivos iguais, em vez de comprimi-los, o codificador prepara-se para entrar em região de variações acentuadas e comuta para o modo DPCM. Após a condição 000 ou 111 ter sido detetada, inibe-se o modo delta de codificação acima descrito. A característica de codificação DPCM é apre

sentada na Figura II.2, comparativamente ao tamanho de degrau, q , usado em delta. A característica pode ser escolhida e ajustada empiricamente, mas o menor degrau DPCM (correspondente a 000 e 111) normalmente deverá ser maior do que q . A capacidade de acompanhar grandes variações de nível, apresentada pelo DPCM, é muito útil na representação de transições abruptas.

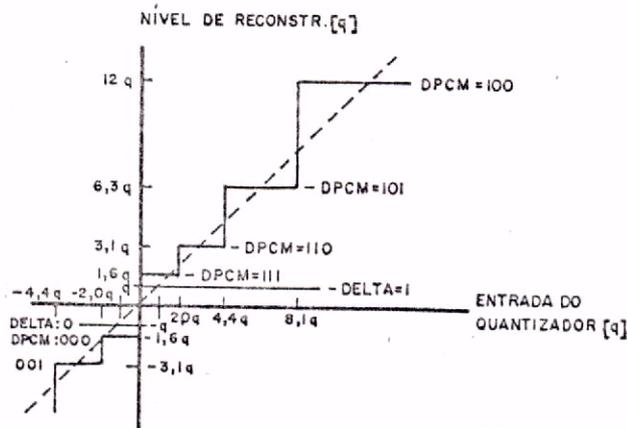


Fig. II.2 - Característica de codificação do modo DPCM em relação ao tamanho, q , do degrau delta.

A Figura II.3 mostra um exemplo de comutação de delta para DPCM e, depois, de volta para delta. A condição de retorno para o modo delta é a ocorrência, durante a operação DPCM, de uma das palavras que representam mínima amplitude, precedida da outra palavra mínima (que tem sinal contrário), ou seja, ocorrência da sequência 000111 ou da sequência 111000.

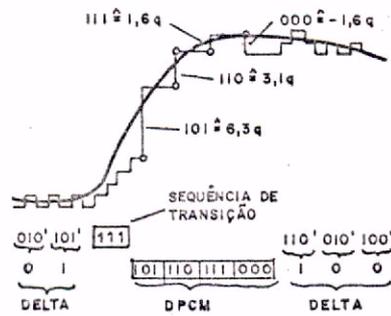


Fig. II.3 - Exemplo de transição delta → DPCM → delta.

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO GERAL DO CODIFICADOR DELTA/DPCM

A Figura III.1 mostra o diagrama de blocos completo do codificador. Descrevem-se a seguir as funções realizadas por cada um dos blocos.

3.1 - FILTRO PASSA-BAIXAS

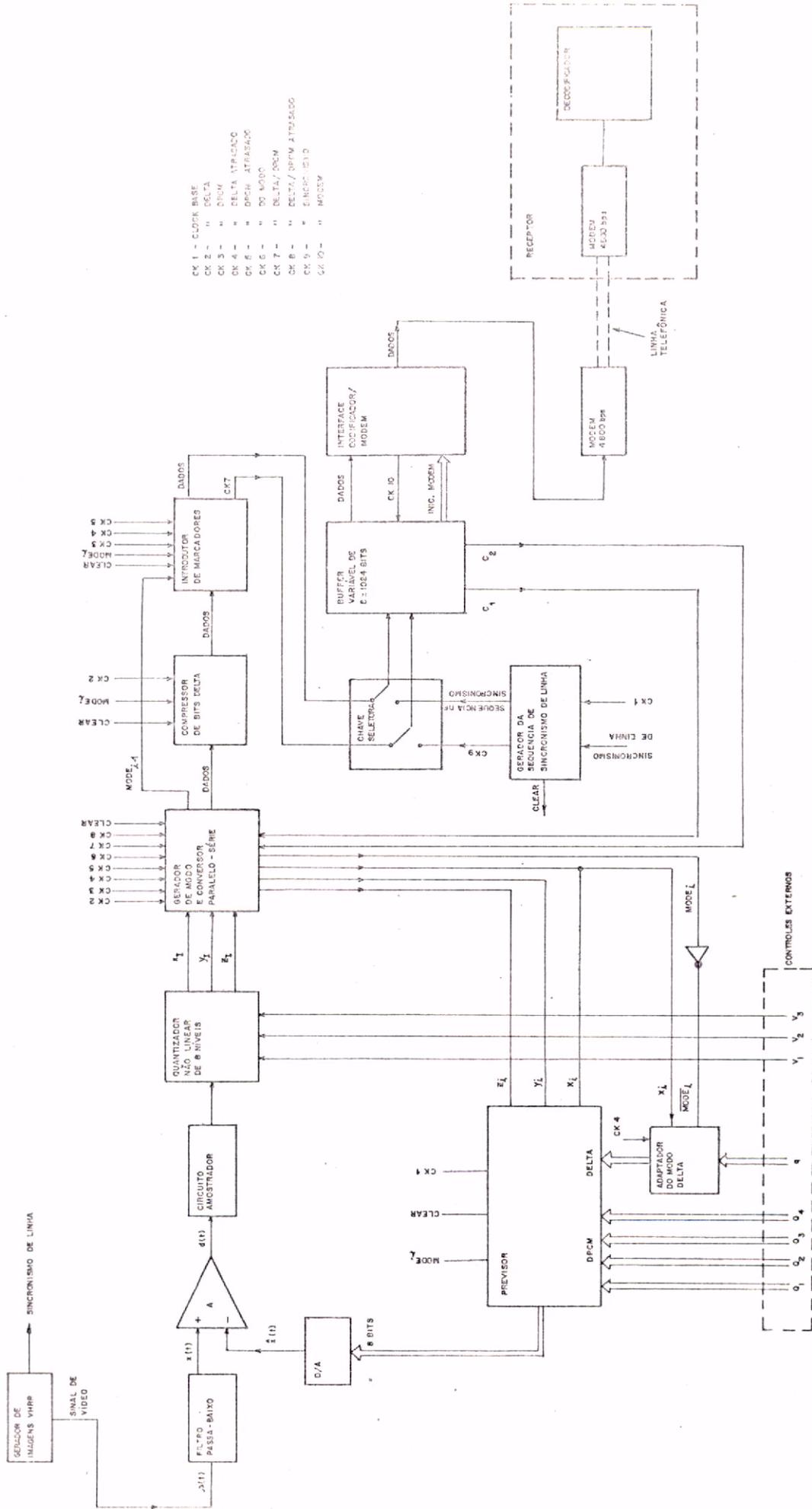
O filtro passa-baixas é do tipo Butterworth, com sete polos, e serve para eliminar as componentes de alta frequência do sinal, preparando-o para o processo de amostragem.

3.2 - AMPLIFICADOR DO SINAL DIFERENÇA

Este bloco realiza a diferença entre o valor do sinal de imagem, $x(t)$, e um valor estimado $\hat{x}(t)$, produzido pelo previsor com base na amostragem anterior, conforme será explicado adiante. O sinal diferença amplificado é $d(t)$.

3.3 - CIRCUITO DE AMOSTRAGEM E RETENÇÃO (SAMPLE/HOLD)

No modo de operação DPCM, indicado pela condição $MODO_i=1$, este circuito amostra o sinal diferença $d(t)$ na frequência de Nyquist f_s do sinal de imagem filtrado. No modo delta ($MODO_i=0$), a amostragem se faz ao triplo dessa frequência.



- CK 1 - CLOCK BASE
- CK 2 - " DELTA
- CK 3 - " DPCM
- CK 4 - " DELTA ATRASADO
- CK 5 - " DPCM ATRASADO
- CK 6 - " DO MODO
- CK 7 - " DELTA/DPCM
- CK 8 - " DELTA/DPCM ATRASADO
- CK 9 - " SINCRONIZADO
- CK 10 - " MODEM

Fig. III.1 - Diagrama de blocos do codificador delta/DPCM

3.4 - QUANTIZADOR NÃO LINEAR DE OITO NÍVEIS

A Figura II.2 mostra a característica de reconstrução do quantizador de oito níveis, que, em princípio, deve ser simétrica e usada sem modificação também no decodificador. Suas tensões de referência V_1 , V_2 , V_3 bem como as tensões q , Q_1 , Q_2 , Q_3 e Q_4 , usadas no previsor, podem ser ajustadas externamente.

O circuito consiste de sete comparadores, que comparam a tensão de saída do amostrador com as tensões de referência do quantizador e com o nível zero. A saída de um comparador tem valor lógico 1 quando o sinal do amostrador é maior que a tensão de referência; isto resulta na Tabela III.1. A representação dos oito níveis de reconstrução por meio de três bits está indicada na tabela e corresponde às seguintes expressões lógicas:

$$X = D$$

$$Y = \bar{B}D + \bar{F}$$

$$Z = \bar{A}B + \bar{C}D + EF + \bar{G}$$

TABELA III.1

QUANTIZADOR NÃO LINEAR DE OITO NÍVEIS

COMPARADORES							SAÍDAS			
A	B	C	D	E	F	G	X	Y	Z	
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	$V_3 < d$
0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	$V_2 < d < V_3$
0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	$V_1 < d < V_2$
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	$0 < d < V_1$
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	$-V_1 < d < 0$
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	$-V_2 < d < -V_1$
0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	$-V_3 < d < -V_2$
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	$d < -V_3$

d = saída do circuito de amostragem e retenção

A = saída do comparador referente a V_3

B = saída do comparador referente a V_2

C = saída do comparador referente a V_1

D = saída do comparador referente a nível zero

E = saída do comparador referente a $-V_1$

F = saída do comparador referente a $-V_2$

G = saída do comparador referente a $-V_3$

3.5 - GERADOR DO MODO DE OPERAÇÃO DO CODIFICADOR E CONVERSOR PARALELO-SÉRIE

Em qualquer instante, o codificador está em um dos dois modos de operação. Já mencionamos que a variável $MODO_i$ especifica o modo (0 para delta, 1 para DPCM). O índice i refere-se ao intervalo de tempo que se estende do i -ésimo ao $(i + 1)$ -ésimo instante de amostragem. Já descrevemos a finalidade e as condições em que se processam as comutações entre os dois modos. As comutações entre os modos dependem dos dados de imagem codificados e do estado de um "buffer" (descrito adiante), que pode estar armazenando maior ou menor quantidade de informação. O circuito gerador de $MODO_i$ leva em conta:

- a ocorrência de bits delta de imagem;
- a ocorrência de bits DPCM de imagem;
- a possível necessidade de substituir alguns bits de imagem por bits forçados, obrigando a uma mudança de modo, independentemente do conteúdo da imagem, para evitar que o buffer fique completamente carregado ou descarregado.

Mais adiante serão dadas explicações mais detalhadas sobre o estado do buffer e as condições excepcionais em que X , Y e Z podem ser modificados.

Passa-se agora a descrever a conversão paralelo-série, feita para que os dados codificados sejam transmitidos sequencialmente pelo canal de comunicações. Isto é feito com a seguinte regra: se $MODO_i=0$, somente o bit de sinal X_i é entregue aos estágios seguintes do codificador; se $MODO_i=1$, os três bits X_i , Y_i e Z_i são passados adiante, em seqüência:

$$\begin{array}{l} X_i \ X_{i+1} \ X_{i+2} \ X_{i+3} \ X_{i+4} \ X_{i+5} \ \dots \ (\text{delta}) \\ X_i \ Y_i \ Z_i \ X_{i+1} \ Y_{i+1} \ Z_{i+1} \ \dots \ (\text{DPCM}) \end{array}$$

3.6 - ADAPTADOR DE BITS DELTA

Em certos casos, uma pequena variação do sinal da fonte poderia levar a uma mudança indesejável para o modo DPCM (Figura III.2). Para evitar esta situação, o algoritmo de codificação foi melhorado, conforme a sugestão de [1]. Quando o primeiro e o segundo bit de uma sequência delta são iguais, o segundo degrau de reconstrução no codificador é dobrado (passa a ter valor absoluto $2q$), enquanto o terceiro degrau também é dobrado, se tiver sinal contrário ao segundo, ou é nulo, se tiver o mesmo sinal. Na recepção, o decodificador procede da maneira normal.

A Tabela III.2 mostra o procedimento, que serve para eliminar comutações prematuras para o modo DPCM.

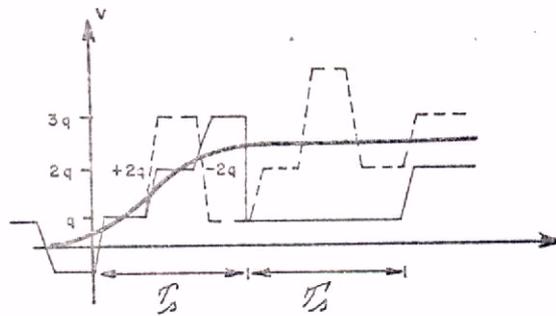


Fig. III.2 - Algoritmo otimizado que impede transições indesejáveis de modo.

TABELA III.2

CODIFICADOR DELTA ADAPTADO

CÓDIGO DELTA NO TRANSMISSOR	RECONSTRUÇÃO NO TRANSMISSOR	CÓDIGO TRANSMITIDO	RECONSTRUÇÃO NO RECEPTOR
001	$-q - 2q + 2q = -q$	0	$-q + q - q = -q$
010	$-q + q - q = -q$	0	$-q + q - q = -q$
100	$+q - q - q = -q$	0	$-q + q - q = -q$
011	$-q + q + q = +q$	1	$+q - q + q = +q$
101	$+q - q + q = +q$	1	$+q - q + q = +q$
110	$+q + 2q - 2q = +q$	1	$+q - q + q = +q$
000	$-q - 2q - 0 = -3q$	000	$-q - q - q = -3q$
111	$+q + 2q + 0 = +3q$	111	$+q + q + q = +3q$

3.7 - PREVISOR

Um previsor de primeira ordem, com níveis de reconstrução ajustáveis q , Q_1 , Q_2 , Q_3 e Q_4 , é utilizado no codificador para prever o valor da próxima amostra. A indicação do modo de operação e mais o valor lógico de X_i , no modo delta, ou de X_i , Y_i e Z_i , no modo DPCM, definem um dos cinco possíveis níveis de reconstrução, quatro deles associados ao modo DPCM (veja fig. II.2) e o outro (o nível q) associado ao modo delta.

O valor estimado para o sinal, em forma digital, é obtido através de um somador/subtrator completo, de oito bits, que soma ou subtrai o nível de reconstrução selecionado do valor da estimativa precedente. Faz-se a subtração quando o bit de sinal é $X_i=0$, e faz-se a soma quando $X_i=1$.

3.8 - CONVERSOR DIGITAL-ANALÓGICO

Na saída do previsor aparece um sinal digital de oito bits, que é aqui convertido para a forma analógica, $\hat{x}(t)$, para ser entregue ao amplificador do sinal diferença, onde é subtraído do sinal analógico de imagem.

3.9 - COMPRESSOR DE BITS DELTA

O modo delta é usado para codificar regiões de pouca atividade, onde o conteúdo de informação é relativamente pequeno. A figura II.1 mostra como os bits delta são comprimidos para transmissão e sua interpretação no receptor. Após a compressão, a taxa do modo delta, em bits por segundo, é igual a f_s . As palavras DPCM, por outro lado, não sofrem compressão, de maneira que a taxa passa a $3f_s$ durante a operação em DPCM.

3.10 - INTRODUTOR DE BITS MARCADORES

Quando ocorre uma mudança do modo DPCM para o modo delta, este fato é naturalmente transmitido ao decodificador do receptor pela ocorrência de 000111 ou 111000 na sequência de bits recebidos. No entanto, a detecção da mudança de modo de operação no sentido inverso (delta para DPCM) pelo receptor está ambígua, pelo que já ficou exposto: ao receber uma sequência de três bits idênticos, durante a operação delta, o decodificador não sabe se houve comutação para DPCM ou apenas ocorreram três bits delta comprimidos iguais. A ambiguidade é evitada, conforme sugerido em [1], pela inserção de bits marcadores, indicados entre parênteses nos exemplos abaixo. Após três bits delta comprimidos iguais, insere-se um bit marcador oposto:

010111(0)1101001000(1)11010...

Após três bits idênticos correspondentes a uma comutação para DPCM, inserem-se dois bits marcadores, o primeiro oposto e o segundo igual aos bits repetidos:

0100111(0)(1)110111110...

1101001000(1)(0)100101...

O circuito introdutor de bits marcadores, no codificador, deve, portanto, utilizar as entradas $MODO_i$ e $MODO_{i-1}$.

3.11 - GERADOR DA SEQUÊNCIA DE SINCRONISMO DE LINHA

Este circuito gera uma sequência especial de sincronismo, que será transmitida entre linhas consecutivas de uma imagem.

3.12 - CHAVE SELETORA

Esta chave permite enviar ora a sequência de sincronismo, ora os dados codificados da imagem.

3.13 - BUFFER VARIÁVEL DE 8 x 1024 BITS

O codificador delta/DPCM descrito, com compressão de bits delta, é um sistema de taxa variável, enquanto o MODEM, através do qual serão transmitidos os dados, funciona a uma taxa constante (no presente caso, a taxa é de 4800 bits/seg). Por isto é necessário inserir um "buffer" que aceite dados do codificador e os envie ao MODEM. O "buffer" é composto de oito registros de deslocamento de 1024 bits cada e pode armazenar, aproximadamente, 2,5 linhas de imagem VHRR (cada linha com cerca de 3200 pixels).

As variáveis C_1 e C_2 indicam a todo instante o estado do "buffer", como é mostrado abaixo:

- a) $C_1 = C_2 = 1$ indicam a situação normal de operação; há no "buffer" pelo menos um e não mais que seis registros completa

mente repletos de dados.

- b) $C_1 = 0$ e $C_2 = 1$ indicam que o "buffer" está quase completamente ocupado. Neste caso é necessário comutar para o modo delta, independentemente do conteúdo da imagem, para que o "buffer" tenda a se esvaziar.
- c) $C_1 = 1$ e $C_2 = 0$ indicam que o buffer está quase vazio. O codificador é forçado a operar no modo DPCM, independentemente do conteúdo da imagem, para preencher o "buffer" e evitar que o MODEM fique sem dados para transmitir.

3.14 - INTERFACE COM O MODEM

A interface permite o condicionamento elétrico (níveis de tensão), para o MODEM, dos sinais à saída do "buffer".

BIBLIOGRAFIA

- [1] Frei, A.H. et al. *An Adaptative Dual-Mode Coder/Decoder for Television Signals*. I.E.E.E. Transactions on Communication Technology, 6: 933-944, December 1971.