



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Codificação de fala PCM & ADPCM

Felipe Gabriel de Mello Elias

GRR20041450

Curitiba, novembro de 2006

Técnicas de Codificação de Voz (PCM e ADPCM)

Introdução

Qualquer tipo de informação que necessite ser armazenada em um sistema computacional ou transmitida em um canal de transmissão, necessita passar por um tratamento de sinal, ou seja um processo chamado de *codificação de fonte*. A grande vantagem da utilização de um sistema assim é a redução de entropia do sinal.

A codificação digital de voz utiliza a amostragem e a quantização do sinal para conseguir a menor taxa de codificação possível e a melhor qualidade do sinal sintetizado.

Dentre as técnicas de codificação de voz mais utilizadas podemos citar: PCM e ADPCM.

Pulse Code Modulation (PCM)

O PCM é um tipo de codificador de forma de onda, que procura reproduzir o sinal amostra por amostra.

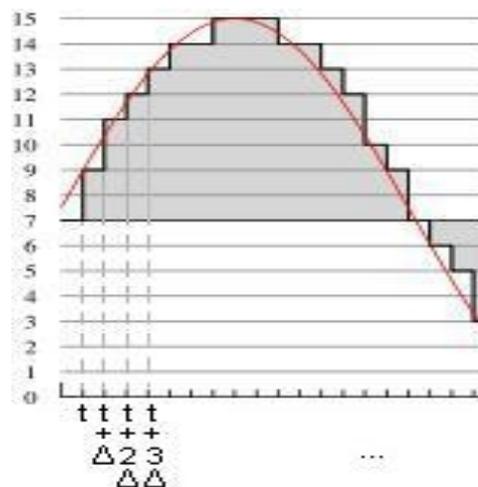


Figura 1 - Exemplo de amostragem com intervalos de Δ e exemplo de quantização com 15 níveis de intervalo.

A modulação PCM de um sinal analógico acontece de forma simples: o sinal é amostrado em intervalos de tempo iguais, o sinal é quantizado em alguns níveis finitos de amplitude, finalmente o sinal é codificado. O método de

codificação da forma de onda PCM está definido nas especificações internacionais CCITT G.711, e AT&T 43801.

A amostragem deve respeitar a frequência de Nyquist, $f_a = 2 \cdot f_m$. Primeiramente adota-se um intervalo fixo de tempo entre uma amostra e outra. Tanto o modulador quanto o demodulador tem os passos de amostragem já definidos pelo sistema, no caso do PCM de telefonia o equipamento “enxerga” uma banda de 4000Hz que corresponde aproximadamente a banda que o sinal de voz ocupa. A frequência de amostragem é de 8000Hz (8000 amostras por segundo ou ainda uma amostra a cada 125us), respeitando a frequência de Nyquist.

No sistema telefônico o intervalo entre uma amostra e outra de um canal é utilizado para agregar outras amostras de outros canais diferentes.

O processo de quantização pode ser visto como o mapeamento do sinal, a partir do domínio contínuo para um número finito de níveis de saída. Como o sinal analógico pode ter uma amplitude teoricamente infinita, mas na realidade com um valor máximo de amplitude, divide-se este intervalo de valores possíveis em alguns níveis de amplitude de saída.

No PCM temos 256 níveis de quantização, como o PCM utiliza a codificação binária, cada palavra-código contém 8 bits ($2^8 = 256$). Temos 8 bits para representar cada amostra.

Por causa da limitação da representação do sinal existirá sempre a presença de um *ruído de quantização*, no sinal quantizado.

O quantizador uniforme tem um passo de quantização constante o intervalo entre os níveis de quantização.

A relação sinal-ruído (incluindo o ruído de quantização) é um fator que afeta a qualidade de voz na codificação uniforme. A quantização uniforme utiliza níveis iguais de quantização em todo o “range” de entrada do sinal analógico. Sinais de pequena amplitude têm baixo nível de relação sinal-ruído e sinais com alta amplitude têm uma relação sinal ruído alta. Como a maioria dos sinais de voz têm pequenas amplitudes, este processo é ineficiente e o quantizador não uniforme entra em cena.

No quantizador não uniforme, o passo de quantização não é constante, mas é função da amplitude do sinal, na verdade os níveis têm um espaçamento logarítmico entre si.

A “compansão” é um processo onde primeiro se comprime o sinal analógico na fonte e depois expandir o sinal no seu lugar de destino. O termo compansão é a junção dos termos compressão e expansão. No processo de compansão as amostras do sinal digital são comprimidas em segmentos logarítmicos. Cada segmento é então quantizado e codificado usando a

codificação uniforme. O processo de compressão é logarítmico. A compressão aumenta a medida em que as amostras do sinal aumentam. Quanto maior um a amostra é em amplitude mais esta será comprimida do que uma amostra em menor amplitude. Isto causa um ruído de quantização que cresce a medida em que a amostra do sinal também cresce. Um aumento logarítmico na quantização.

Duas leis de compressão do sinal são definidas nas especificações internacionais ITU-T são chamadas **lei μ** e **lei A** . A compressão (realizada no transmissor) é necessária para elevar os níveis mais fracos do sinal em comparação com os níveis mais elevados e tornar o codificador mais robusto, a expansão é realizada no receptor como função inversa da compressão.

A lei **μ** limita os valores de amostras para treze bits de magnitude e a lei **A** limita as amostras para 12 bits.

A fórmula matemática para a lei **μ** se encontra abaixo na equação (1) e a fórmula matemática para a lei **A** se encontra na equação (2).

$$y[n] = X_{\max} \frac{\log \left[1 + \mu \frac{|x[n]|}{X_{\max}} \right]}{\log[1 + \mu]} \text{sign}\{x[n]\} \quad (1)$$

$$y[n] = X_{\max} \frac{1 + \log \left[\frac{A|x[n]|}{X_{\max}} \right]}{1 + \log A} \text{sign}\{x[n]\} \quad (2)$$

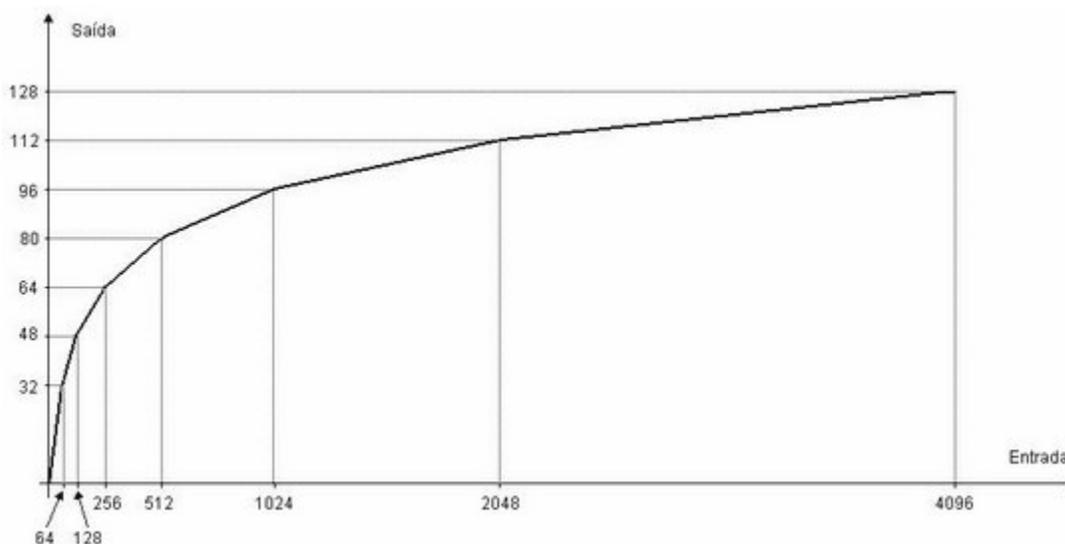


Figura 2- Compressão de sinal digital, entrada com 12 bits e 7 bits de saída.

A compensação do sinal é o processo de compressão e expansão realizado em um processador digital de sinais, (*digital signal processor - DSP*), ou em um computador. Por isso a curva de compressão ou expansão é aproximada por segmentos lineares e programada no DSP.

Basicamente os parâmetros u e A definem as curvas de compressão; se eles forem muito altos, a não-linearidade aumenta muito e o sinal fica distorcido. Os valores de referência utilizados para um bom desempenho do sistema são $u = 255$ e $A = 87,6$.

A taxa de bits/s do PCM é definida internacionalmente como 64kbits/s (8000amostras/s * 8bits por amostra).

Atualmente o PCM é utilizado em diversas aplicações do nosso cotidiano: do sistema telefônico, ao vídeo digital passando por diversos formatos de áudio digital usado em computadores. No sistema de DVD, por exemplo, utiliza algumas variantes compactadas do PCM, pois o PCM em tem uma elevada taxa de bits.

Differential Pulse Code Modulation (DPCM)

Para entendermos a técnica de modulação ADPCM, primeiro analisaremos o DPCM ou *Differential Pulse Code Modulation*.

Como as amostras consecutivas PCM são muito parecidas, as diferenças entre os sinais de entrada são mínimas. A técnica DPCM tira toda a

redundância do sinal PCM. Nesta técnica temos uma amostragem da diferença entre amostras consecutivas, e como as diferenças são pequenas comparada com um sinal completo temos uma taxa de bits menor que um sinal PCM.

A primeira parte de um sistema DPCM trabalha igual ao amostrador e quantizador PCM, entretanto todas as amostras passam por uma memória chamada preditor, depois a amostra é enviada a um diferenciador.

O diferenciador analisa a amostra atual e a anterior do preditor e envia esta diferença para o quantizador e codificador PCM, podendo passar por uma quantização uniforme. Depois de quantizado e codificado a diferença é transmitida para o destino final e todo o processo é revertido.

Primeiro a diferença é desquantizada, depois a diferença é adicionada em um sinal amostrado armazenado no preditor e depois passa por um filtro passa baixa que reconstrói o sinal de entrada original.

O DPCM reduz a taxa de bit da transmissão de voz de 64 kbps (PCM) para 48 kbps.

O DPCM é uma ótima técnica de se reduzir taxa de bits para a transmissão de voz, entretanto existe o problema que ele insere erros que diminuem a qualidade da voz.

Ele quantiza a diferença entre as amostra usando a quantização uniforme. Como visto a quantização uniforme gera uma relação sinal-ruído pequena para sinais amostrados de pequena amplitude e grande para sinais. Como a voz gerada pelo ser humano tem sinais de amplitude pequena existe uma ineficiência neste processo que acarretou na criação do ADPCM.

Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)

No quantizador adaptativo APCM, o passo de quantização varia com o tempo, de modo a acompanhar as variações de amplitude do sinal. Essa adaptação é baseada nas amostras passadas do sinal. O objetivo das técnicas adaptativas é a redução na faixa dinâmica do sinal para obter uma redução na taxa final de transmissão.

O sinal de voz apresenta correlação significativa entre as amostras sucessivas, visto que a amplitude do sinal não varia muito de uma amostra para outra. Isto implica em uma redundância do sinal de voz. Isso é obtido quantizando a diferença de amplitude entre amostras adjacentes.

Ou seja, o modelo ADPCM analisa as diferenças (DPCM): se a diferença entre sinais é pequena o ADPCM aumenta o tamanho dos níveis de quantização e se a diferença é grande o ADPCM diminui os níveis de quantização.

Portanto o ADPCM adapta os níveis de quantização para o tamanho de diferença dos sinais. Isto gera uma relação sinal-ruído que é uniforme para todas as amplitudes do sinal.

O ADPCM diminui a taxa de bits da voz para 32kbps, metade da modulação PCM.

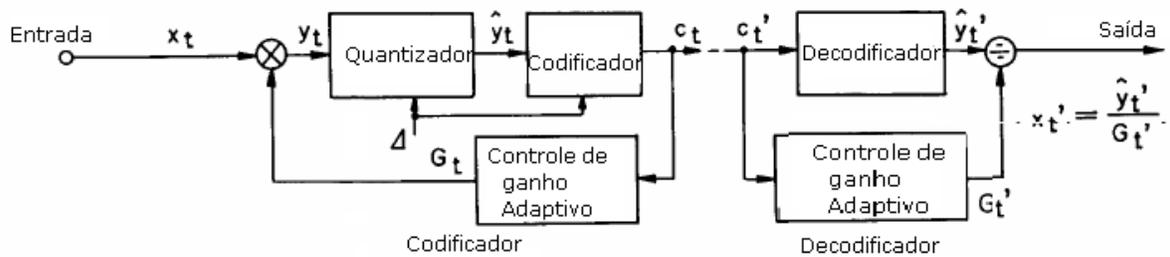


Figura 3- ADPCM

Conclusão

Podemos analisar o funcionamento das técnicas PCM, DPCM e ADPCM. Vimos que o algoritmo desta técnica é muito fácil de ser implementada e por isto ela é amplamente utilizada e difundida nas mais diversas tecnologias.

Apesar de estar bem definida, muitos estudos têm sido feitos para aprimorar algoritmos de criação de codificadores e decodificadores PCM. Existem muitos trabalhos sendo feitos e muitos a serem realizados com o PCM.

A tecnologia ADPCM foi uma aprimorou muito a tecnologia PCM. Sua baixa taxa de transmissão, em torno de 32kbps é metade da tecnologia PCM ainda mantendo a mesma qualidade de voz (inteligibilidade).

O PCM e suas variantes são utilizados em aplicações de mídia digital: CDs e DVDs, aplicações em telefonia e aplicações em áudio digital e Internet.

Referências Bibliográficas

CISCO SYSTEMS, **Waveform Coding Techniques (Pulse Code Modulation, Differential Pulse Code Modulation and Adaptive DPCM)**. 2007, www.cisco.com, <acessado em 3 de novembro de 2007>

POHLMANN, Ken C. **Advanced Digital Audio**. 1ª ed. SAMS, Carmel, EUA. 1991.

CATTERMOLE, Kenneth W. **Principles of pulse code modulation**. American Elsevier Pub, EUA, 1989.

ALENCAR, Marcelo Sampaio. **Telefonia Digital**. Ed Érica, São Paulo, 1998.