

## ARQUITETURA DE UMA INTERFACE PARA REDE LOCAL SOB TRÁFEGO DE VOZ E DADOS

João Marques de Carvalho

José Antão Beltrão Moura

Grupo de Redes de Computadores da UFPb

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Federal da Paraíba

Caixa Postal 10032

58.100 - Campina Grande - Pb

### RESUMO

Neste trabalho, examina-se uma possível arquitetura de interface para uma rede local a fim de integrar os serviços de voz e dados. Inicialmente, a demanda potencial do tráfego de voz aos recursos da sub-rede é examinada e, em seguida discute-se como esta demanda pode ser minimizada. Como não se deseja alterar a organização original da rede local, o caminho seguido é diminuir a taxa de amostragem do sinal de voz, sem entretanto, reduzir a faixa útil recuperada na recepção.

A reconstrução da informação de voz nas interfaces da sub-rede utiliza um algoritmo de interpolação que aumenta artificialmente a taxa de amostragem, portanto, superando o problema de atenuação imposto pelos filtros. Este algoritmo utiliza as funções conhecidas como Splines Cúbicas, as quais produzem uma estrutura eficiente e de fácil implementação.

### ABSTRACT

A possible interface architecture for a local area network integrating voice and data traffic is presented. The utilization of the network's resources by voice traffic is first examined and a reduction of this utilization, by lowering the sampling frequency of the voice signal, is then proposed.

The recovery of voice information at the interfaces is accomplished by means of Cubic Spline Interpolation which increases the sampling rate artificially. The implementation of this algorithm is efficient and simple.

## 1 - INTRODUÇÃO

Redes Locais (RLs) de Computadores surgiram para possibilitar e otimizar o compartilhamento de recursos de hardware, software e informação numa "área local" (p. ex., um campus universitário, numa fábrica, escritórios, etc.). Um grande número de trabalhos de pesquisa e desenvolvimento em RLs resultou em várias organizações para essas redes. A organização básica de uma RL é mostrada na figura 1. Tal organização consiste de um número

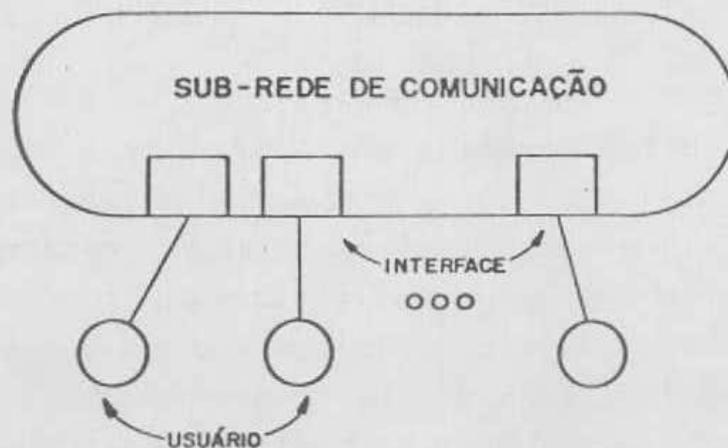


Figura 1: Organização de uma Rede Local.

de *usuários* que se ligam à *sub-rede de comunicação* via *interfaces*. A sub-rede de comunicação é composta das interfaces e de um meio de transmissão. Interesses comerciais e o desejo de padronizar a organização de RLs levaram ao padrão IEEE 802 [1].

O padrão IEEE 802 admite três possibilidades para a sub-rede de comunicação (vide figura 2): Anel com passagem de ficha (padrão IEEE 802.5), Barra com passagem de ficha (padrão IEEE 802.4) e Barra com CSMA-CD (padrão IEEE 802.3). Na primeira possibilidade, o meio de transmissão é arranjado numa topologia em anel e cada interface só pode utilizar o meio de transmissão (para transmitir pacotes) quando de posse de uma ficha (ou seja, o protocolo de acesso ao meio é por passagem de ficha - "Token Passing Protocol"). A segunda possibilidade usa o protocolo de passagem de ficha mas tem uma topologia em barra. A terceira e última alternativa tem uma topologia em barra mas as interfaces ago

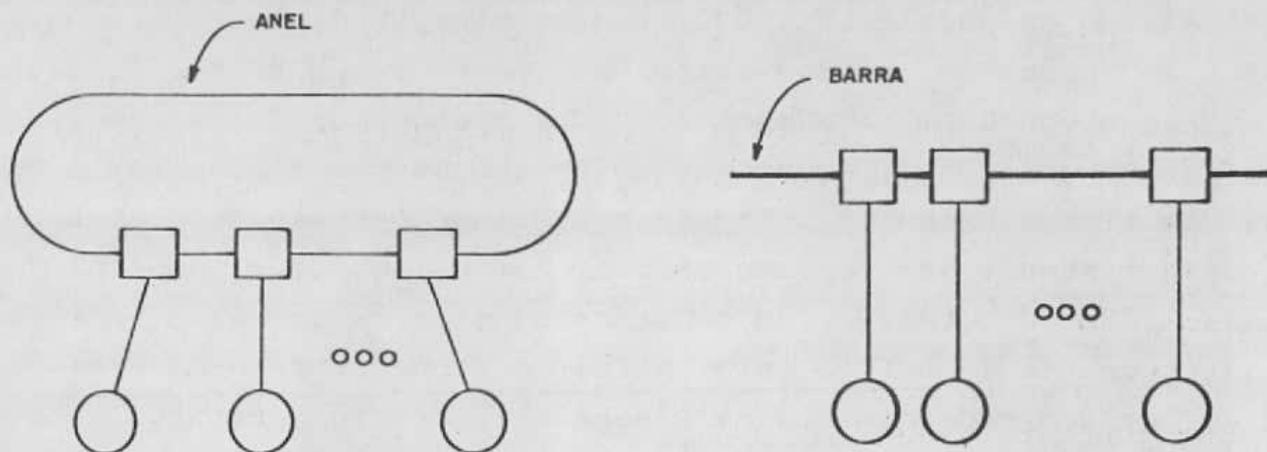


Figura 2: Topologias em Anel e em Barra.

ra implementam o protocolo CSMA-CD onde o acesso ao meio quando livre, é aleatório. Transmissões em conflito são abortadas e esca-  
 ladas para um instante aleatório no futuro.

A arquitetura das interfaces para as RLs discutidas fo-  
 ram propostas para refletir as características do protocolo de  
 acesso adotado, do protocolo de enlace de dados entre duas in-  
 terfaces (conhecido por LLC - "Logic Link Control" no jargão IEEE  
 802 - e comum a todas as três possibilidades) e para atender ti-  
 picamente, os serviços convencionais de dados. Recentemente po-  
 rêm, por questões econômicas, tem-se investigado com empenho, a  
 integração de outras classes de serviços, tais como: transmissão  
 de voz, vídeo texto, monitoração remota de processos, etc. Quan-  
 do o tráfego oriundo desses outros serviços compartilham eficaz-  
 mente os mesmos recursos de comunicação da sub-rede, a arquitetu-  
 ra da interface deve ser examinada e possivelmente alterada, afim  
 de atender às características e requisitos desses serviços.

A pesquisa relativa à integração dos serviços de voz e  
 dados em RLs vem recebendo ultimamente uma atenção apreciável.  
 Dentre os diversos segmentos desta linha de pesquisa, destacam-  
 se os desenvolvimentos de novas topologias e/ou protocolos de  
 acesso (vide por exemplo, as referências [2, 3, 4, 5, 6]). O pro-  
 pósito desses desenvolvimentos de novas RLs é superar as defici-  
 ências inerentes aos protocolos de acesso anteriores através do

escalonamento ordenado dos acessos ao meio de transmissão. Toda via, devido ao padrão IEEE 802, a disseminação destas RLs é duvidosa. Em acréscimo, vários trabalhos (citem-se [7, 8, 9, 10, 11]) examinam e concluem pela adequação dos protocolos do padrão IEEE 802 para atender aos requisitos do tráfego integrado de voz e dados. Em alguns casos [8], ligeiras modificações são sugeridas para melhor atender ao serviço de voz. Acreditamos que aceitar o padrão IEEE 802, talvez com pequenos ajustes, e então definir a arquitetura da interface para incluir o processamento do tráfego de voz seja o procedimento mais sensato em termos práticos. Este artigo se propõe primeiro, a estudar a demanda do tráfego de voz aos recursos da sub-rede de uma RL (padrão IEEE 802); em seguida, a discutir como esta demanda pode ser minimizada (em benefício do tráfego de dados e de um possível aumento na intensidade do próprio tráfego de voz) através do uso de um tipo de algoritmo de interpolação de amostras de voz, e finalmente, a propor uma arquitetura de interface para tráfego de voz e dados, onde a parte que trata de dados segue a arquitetura convencional e a parte que trata de voz inclui as características do algoritmo de interpolação.

O restante do artigo é organizado do seguinte modo. A seção 2 analisa aproximadamente a potencialidade da sub-rede de comunicação para suportar tráfego de voz. Nenhuma sub-rede em particular é assumida, nem a análise é rigorosa. Pretende-se apenas desenvolver um modelo matemático simples, que forneça subsídios para nossa argumentação de como minimizar o uso dos recursos da sub-rede pelos canais de voz. A seção 3 apresenta a arquitetura da interface - em termos de diagrama de blocos - que integrará os serviços de voz e dados na sub-rede. A seção 4 discute o algoritmo de interpolação que propomos para se alcançar uma redução na utilização da sub-rede pelo tráfego de voz. Finalmente, a seção 5 é dedicada a conclusões e sugestões para continuação do trabalho que aqui relatamos.

## 2 - MODELO PARA A SUB-REDE SOB TRÁFEGO DE VOZ

A nossa visão da sub-rede de comunicação de uma RL (possivelmente adotando o padrão IEEE 802) é esquematizada na figura 3.

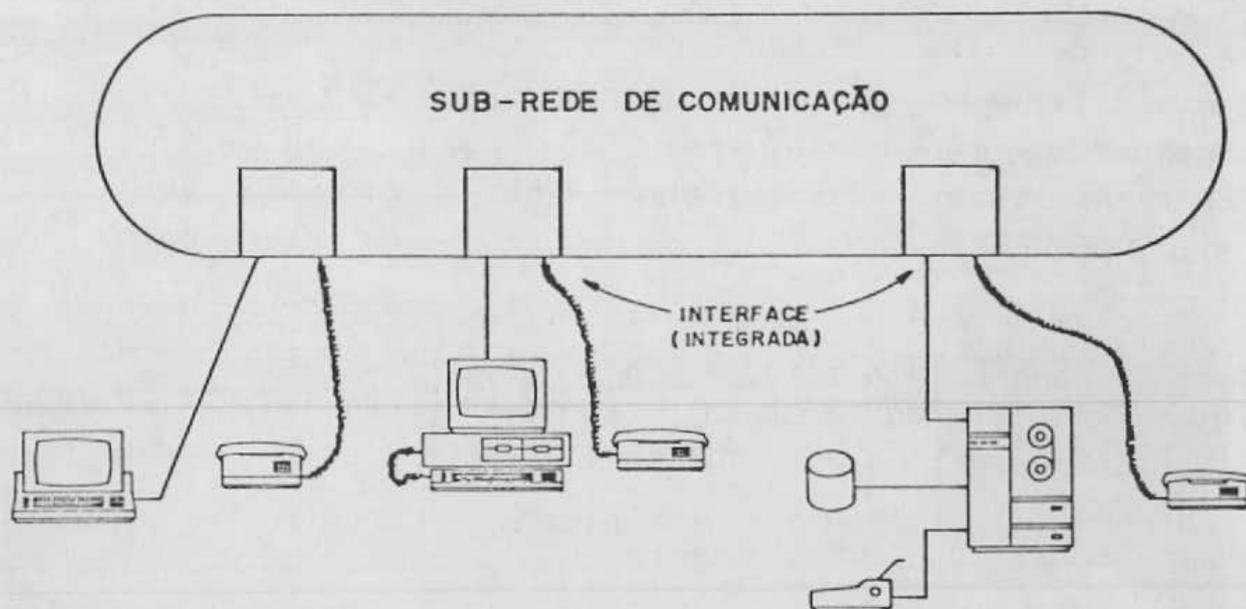


Figura 3: Rede Local com Serviços Integrados de Voz e Dados.

Como mostra essa figura, cada interface (num total de  $2N$  na sub-rede) atende aos tráfegos de dados e de voz. O tráfego de dados é oriundo de computadores, terminais, impressoras, etc. e o tráfego de voz é gerado por humanos via o equipamento terminal telefônico (o próprio "telefone"). Do ponto de vista dos humanos (usuários de voz), a sub-rede de comunicação funciona como uma "central privada de comutação telefônica" da empresa, ou seja, a sua P(A)BX. Cada interface tem um número de ramal associado (por simplicidade e sem perda de generalidade, assumimos que cada interface atende a apenas um telefone) o qual é utilizado no estabelecimento e operação de chamadas telefônicas.

O tráfego no meio de transmissão da sub-rede (com topologia em anel ou em barra) é do tipo "dados", "reconhecimento" (para os dados), "sinalização telefônica" e "voz". Devido a sua natureza interativa, supomos que os pacotes de voz não se utili

zam do mecanismo de reconhecimento, ficando a cargo do interlocutor de uma conversação telefônica, requisitar a retransmissão da informação de voz que porventura seja corrompida no trânsito pela sub-rede.

O sinal de voz, ao ser gerado pelo usuário, é digitalizado pela interface: primeiro, o sinal é amostrado e em seguida, cada amostra é quantificada, passando a ser representada por um dos  $M$  níveis de quantificação disponíveis. As amostras de voz assim quantificadas são então acondicionadas em quadros e eventualmente transmitidas. Nada assumimos sobre o protocolo de acesso ao meio, podendo ser qualquer um dos existentes atualmente.

Se  $f_m$  for a componente de maior frequência do sinal de voz a ser preservada, então a taxa de amostragem mínima será  $2 f_m$ , a qual corresponde à taxa de Nyquist. A taxa mínima de digitalização do sinal de voz,  $T_d(\min)$ , em bits/s, será então

$$T_d(\min) = 2f_m \log_2 M \quad \text{bits/s} \quad (1)$$

Defina agora,  $C$  como sendo a capacidade (bits/s) da sub-rede de comunicação. Se  $H$  e  $V$  representarem a quantidade de bits de "overhead" (cabeçalho, CRC, etc.) e de informação (amostras de voz) num quadro de voz respectivamente, o número efetivo máximo de conversações telefônicas,  $N^*(\max)$ , que poderá ser suportado pela sub-rede é

$$N^*(\max) = \left\lfloor \left( \frac{V}{H+V} \right) \frac{C}{T_d(\min)} \right\rfloor \quad (2)$$

onde  $\lfloor X \rfloor$  fornece o maior inteiro  $\leq X$  e  $T_d(\min)$  é dado pela Eq. (1). Observe que a determinação da Eq. (2) negligencia todo e qualquer desperdício na utilização do meio de transmissão pelo protocolo de acesso (p. ex., colisões e espera por retransmissões no protocolo CSMA-CD, ou passagem de ficha no protocolo com este nome).

É importante notar que o número máximo em potencial, de conversações telefônicas simultâneas é  $N$ .  $N^*(\max)$  é o "máximo" que a rede suporta (negligenciando-se o desperdício mencionado). Por exemplo, para uma RL onde  $2N = 200$   $C = 5$  Mbit/s,  $H = 100$  bits,  $V = 1000$  e  $T_p(\min) = 64$  Kbit/s ( $f_m = 4$  KHz e  $M = 256$  níveis),

$N^*(\text{max})$  corresponde a apenas 71 conversações simultâneas. Em acrêscimo, se  $N^*(\text{max})$  conversações de voz forem estabelecidas, nenhuma fração do tráfego de dados e nenhuma outra conversação de voz poderá ser atendida sob pena de degradar o desempenho dos canais de voz. Acontece que a alocação dos recursos de comunicação da sub-rede de uma RL é dinâmica - ao invés de estática, como ocorre numa P(A)BX - no sentido de que não há bloqueio de uma interface com quadros a transmitir: eventualmente ela terá sua chance de usar o meio de transmissão. É de interesse que a sub-rede de comunicação tenha capacidade de absorver graciosamente o tráfego que for sendo gerado (de dados ou de voz) pelas interfaces. O termo "graciosamente" é usado no sentido de que a perturbação no nível de desempenho da sub-rede visto pelas interfaces, seja a menor possível.

Partindo-se da premissa de que pretendemos alterar pouco a organização da RL como concebida originalmente, a alternativa que nos resta para "aumentar" a capacidade de absorção de tráfego da sub-rede é mexermos no tratamento de sinais de voz. Para tanto, a "demanda" de recursos de comunicação da sub-rede pelo tráfego de voz deve ser reduzida, i.e., devemos reduzir  $T_d(\text{min})$ .

Neste ponto, devemos chamar a atenção do leitor para algumas observações. Primeiro, o valor de  $T_d(\text{min}) = 64 \text{ Kbit/s}$ , correspondendo à codificação pela técnica PCM, foi utilizado para efeito de ilustração apenas. Segundo, outras técnicas, tais como ADM ("Adaptive Delta Modulation") e ADPCM ("Adaptive Differential PCM") reduzem  $T_d(\text{min})$  para cerca de 32 Kbit/s. Outras técnicas reduzem  $T_d(\text{min})$  ainda mais (vide a referência [12] para maiores detalhes). Todas essas técnicas porém, apresentam maior complexidade na decodificação que PCM. Terceiro e último, vemos da Eq. (1) que temos duas possibilidades para reduzir  $T_d(\text{min})$ : diminuir  $M$  ou baixar a taxa de amostragem.

No presente artigo, supomos que o número de níveis usado já é o menor possível; reduzi-lo além disso tornaria a qualidade da voz inaceitável - devido ao ruído de quantização - ou comprometeria a simplicidade de recuperação da voz no receptor (vide observações acima). Nosso interesse portanto, é examinar a segunda possibilidade, ou seja, baixar a taxa de amostragem.

Deixando de lado os efeitos do ruído de quantização, o uso de uma frequência de amostragem de 8 kHz é teoricamente suficiente para recuperar integralmente um sinal com uma faixa de passagem de 4 kHz. Essa recuperação é possível através do uso de um Filtro Passa-Baixa (FPB) ideal com uma frequência de corte de 4 kHz, atuando na saída de um conversor Digital-Analógico (D/A). Na prática porém, tal filtro não é realizável e conseqüentemente, a faixa útil recuperável será inferior a 4 kHz, digamos 3,1 kHz.

Uma maneira de minimizar este problema (e portanto aumentar a faixa recuperável) é através do uso de um interpolador que atue na saída do conversor D/A, aumentando artificialmente a taxa de amostragem do sinal. Deste modo, a taxa de amostragem pode ser aumentada para, digamos, cinco vezes a taxa de Nyquist (40 kHz) o que simplifica a tarefa do FPB, permitindo um aumento da faixa recuperável.

Contudo, como uma faixa de 3,1 kHz é aceitável na recuperação de sinais de voz [12], pode-se imaginar que o esquema descrito acima deve permitir o uso de uma frequência original de amostragem inferior a 8 kHz. Idealmente, uma frequência de 6,2 kHz é suficiente para recuperar um sinal com faixa de 3,1 kHz. Na prática, a frequência utilizada poderia ser um pouco maior que 6,2 kHz e, com o uso de interpolação, uma faixa efetiva de 3,1 kHz ainda seria recuperada. Caso os sinais de voz sejam tratados por um desses interpoladores então a demanda dos recursos da rede local pelo tráfego de voz seria reduzida. Realmente, refazendo-se os cálculos anteriores mas com uma frequência de amostragem de 6,2 kHz,  $N^*(\max)$  seria 91, ou seja, 20 conversações a mais, ou um aumento de 28%. O interpolador a ser discutido adiante tem a vantagem adicional de implicar numa implementação relativamente simples. Uma arquitetura de interface que inclui tal interpolador é apresentada a seguir.

### 3 - ARQUITETURA DA INTERFACE

Para que a interface consiga lidar com o tráfego de voz, será necessário a definição de dois novos tipos de quadros a circular na sub-rede: quadros de voz e quadros de sinalização. Estes se somam aos quadros de dados e controle já utilizados para o tráfego padrão da rede. Os quadros de voz transportam as amostras quantificadas e codificadas do sinal de voz produzido pelos interlocutores. Os quadros de sinalização são utilizados no "hand-shake" inicial que permitirá ou não o estabelecimento da conexão (lógica) telefônica.

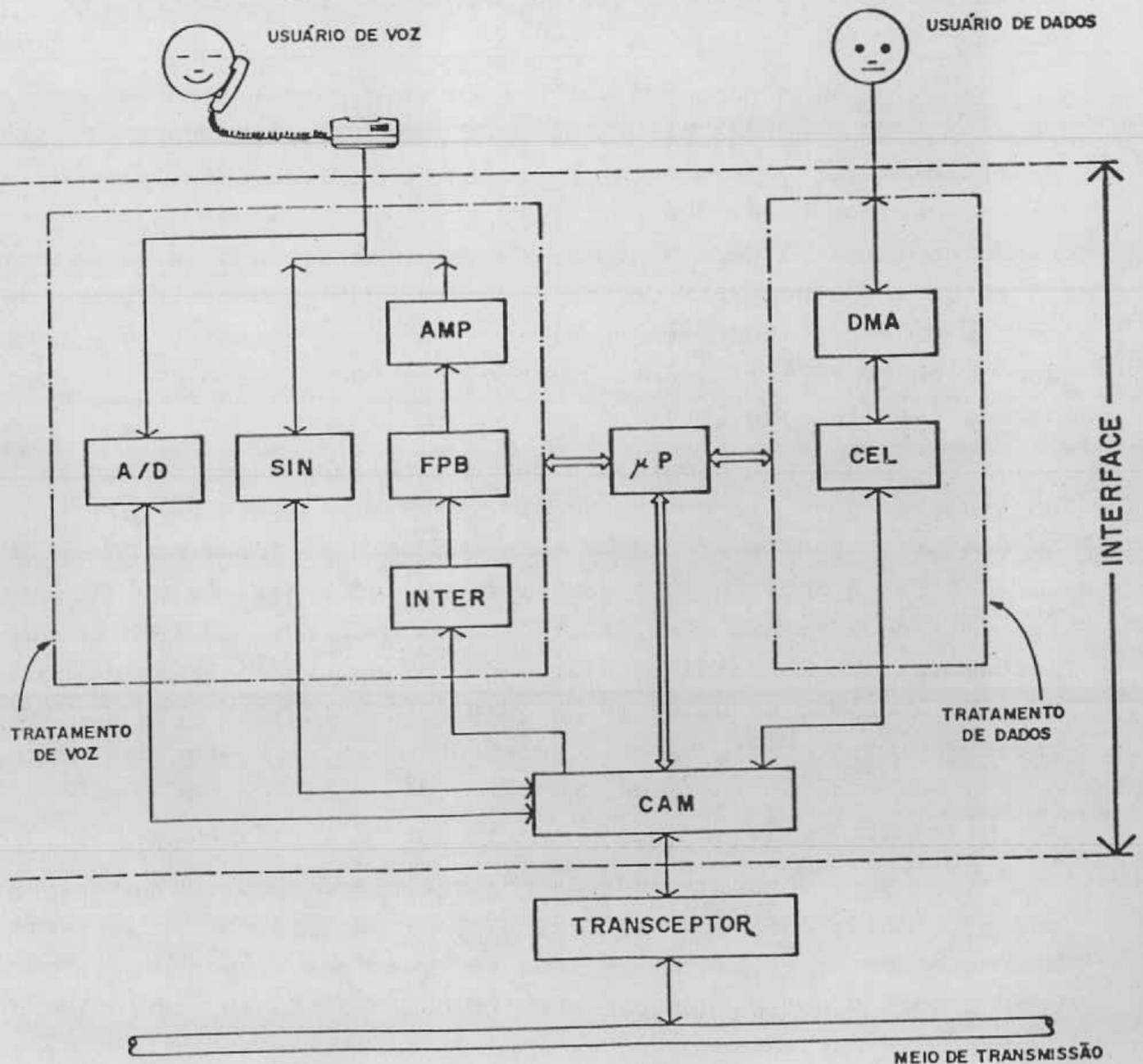


Figura 4: Diagrama da Interface.

A arquitetura da interface para uso sob tráfego integrado é mostrada na figura 4. Duas partes podem ser distinguidas: uma encarregada de estabelecer e manter a conversação telefônica, e a outra encarregada do tráfego de dados entre os demais usuários da rede (terminais, computadores e periféricos). Como a parte de dados desta interface é semelhante àquela de uma RL normal, somente a parte associada ao tráfego de voz será descrita aqui.

Existe ainda uma terceira parte da interface que é comum aos dois tipos de tráfego. Esta seção é representada pelo bloco CAM (Controle de Acesso ao Meio) e pelos transceptores, como mostrado na figura.

O bloco CAM pode ser considerado como a área de interseção das duas outras partes da interface. Ele tem como função a implementação do protocolo de acesso ao meio de transmissão, a formatação dos quadros a serem transmitidos, bem como a discriminação do tipo e a determinação da validade ou não dos quadros recebidos. O bloco TRANSCEPTOR é encarregado da monitoração do meio e do condicionamento do sinal recebido e transmitido. Este condicionamento inclui detecção de clock, codificação e decodificação, amplificação, etc.

O bloco A/D consiste de um conversor Analógico-Digital, de uma área de armazenamento (buffers) das amostras de voz, e de um registro aonde é mantido o endereço do interlocutor. O conversor A/D faz a amostragem e quantificação do sinal de voz a ser transmitido e armazena estas amostras nos buffers da área de armazenamento. A capacidade da área de armazenamento é ditada pelo tamanho do campo de dados de um quadro. Quando esta área estiver cheia as amostras de voz correspondentes são transferidas para o CAM, aonde serão inseridas no campo de dados de um quadro a ser transmitido.

No lado originador da chamada o endereço do interlocutor é recebido do aparelho telefônico, ao ser feita a discagem, e armazenado no registro. No lado receptor da chamada este endereço é obtido dos pacotes de sinalização que chegam, durante o processo de estabelecimento da conexão telefônica.

O bloco de sinalização (SIN) é responsável pelo estabelecimento da conexão lógica entre os dois interlocutores. Ao ser ativado pelo telefone originador este bloco avisa CAM para enviar um quadro de chamada para o telefone receptor, cujo endereço se encontra no registro do bloco A/D. Ao chegar no lado receptor, este quadro é identificado por CAM, que por sua vez avisa SIN. SIN detecta o estado do telefone chamado e toma as providências necessárias para o estabelecimento (ou não) da ligação. Caso o telefone esteja livre ele é ativado (sinal de chamada) por SIN, o endereço do originador é armazenado no registro do bloco A/D e CAM é avisado para enviar um quadro de sinalização de volta para a origem da chamada (avisando que a linha está livre e que o telefone no outro extremo está chamando). Caso o telefone destinatário esteja ocupado um outro quadro de sinalização é enviado, informando o originador deste estado. Em ambos os casos SIN sinaliza adequadamente o telefone originador. Um procedimento alternativo seria, em um dos casos acima, não enviar nada de volta para o originador. A simples falta de resposta seria então indicativa do estado do outro lado da linha. Tal procedimento tem a vantagem de diminuir o tráfego na sub-rede, portanto melhorando o desempenho da mesma. Ele é diferente, entretanto, da convenção de sinalização amplamente empregada.

Uma vez estabelecida a conexão lógica (receptor respondeu à chamada) inicia-se a troca de quadros de voz entre as interfaces. Como mencionado antes, os quadros a serem transmitidos são formatados no CAM com as informações fornecidas pelo A/D (endereço de destino e amostras de voz). Um quadro de voz recebido é identificado pelo CAM, que passa a informação binária contida no campo de dados do mesmo para o interpolador.

No interpolador, o sinal de voz, representado por suas amostras, é processado e tem sua taxa de amostragem aumentada artificialmente para um valor bem acima da taxa de Nyquist, como será descrito na próxima seção. O sinal resultante é então filtrado pelo filtro passa-baixa (FPB), amplificado e jogado no receptor telefônico. Como consequência da interpolação, a perda de banda útil, devida à filtragem, é minimizada.

Uma das funções do CAM é determinar a validade ou não dos quadros recebidos. Um quadro pode ser declarado inválido devido a problemas de formatação ou a erros introduzidos na transmissão. Para isto é feito um teste de redundância cíclica que utiliza o campo chamado FCS (Frame Check Sequence). No caso de um quadro de dados, quando um erro é detectado, o quadro é descartado e a informação de erro é passada ao bloco CEL (Controle de Enlace Lógico), o qual então toma as providências para que haja uma retransmissão do quadro invalidado.

No caso de um quadro de voz, o teste para detecção de erro é desnecessário. A informação contida no campo de dados pode ser passada diretamente ao interlocutor que decidirá sobre a validade ou não do que escutou e, se necessário, solicitará que a mesma seja repetida.

A operação da interface é supervisionada pelo microprocessador, também mostrado na figura. Além das tarefas normais referentes ao controle da parte de dados, o microprocessador também tem a função de garantir o fluxo da informação de voz através da interface. Para isso ele dá preferência ao tráfego de voz, sempre que um conflito entre voz e dados ocorre a nível do CAM.

#### 4 - INTERPOLAÇÃO COM SPLINES CÚBICAS

Schaffer e Rannier demonstraram que o processo de interpolação de sinais digitais é equivalente a uma operação de filtragem [13], e portanto pode ser implementado com filtros digitais, FIR ou IIR, sendo os do tipo FIR (Finite Impulse Response) preferidos tradicionalmente. A vantagem deste tipo de filtros sobre os IIR é que eles podem ser projetados para ter uma fase exatamente linear, como é requerido de um interpolador ideal [14]. A desvantagem é o custo.

Muita atenção tem sido dada ao desenvolvimento de filtros FIR para interpolação. Algumas características do problema permitem consideráveis simplificações do projeto, contudo a estrutura resultante ainda é cara e complexa [15].

Como o algoritmo a ser apresentado nesta seção, o problema de interpolação é abordado de uma maneira distinta. Para tal são utilizadas as funções interpoladoras conhecidas como Splines Cúbicas [16, 17, 18]. Uma Spline Cúbica é definida sobre um conjunto de  $N$  pontos de amostra e, na sua forma mais básica, consiste de  $N-1$  polinômios cúbicos, um para cada intervalo de amostragem. Estes polinômios se unem "suavemente" nos pontos de amostra, significando que a função Spline bem como sua primeira e segunda derivadas, são contínuas sobre todo o intervalo de definição.

O uso de splines cúbicas para interpolação em tempo real de sinais digitais é examinado em detalhes em [19]. O interpolador recebe na entrada uma seqüência de amostras de voz  $y_n$  de período  $T$  e produz na saída uma seqüência interpolada  $S(m)$  de período  $T_1 = T/L$ , onde  $L$  é o fator de interpolação. Esta situação é ilustrada na figura 5 para  $L = 4$ .

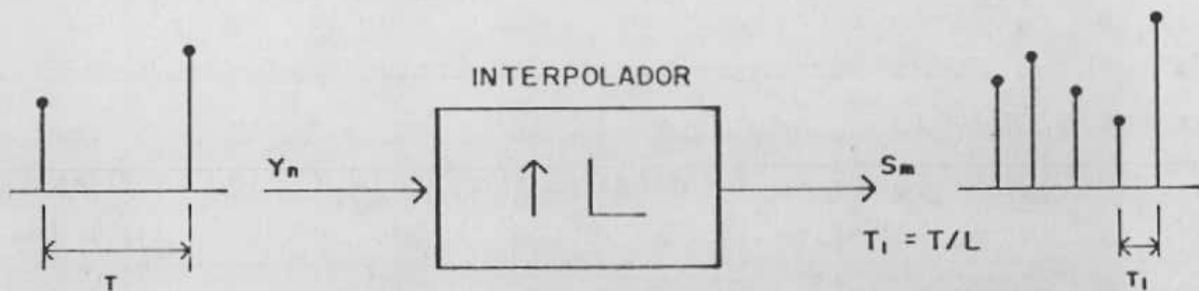


Figura 5: Interpolador com  $L = 4$ .

O algoritmo desenvolvido em [19] com base na função Spline Cúbica trabalha com as  $N = 4$  amostras de voz mais recentes recebidas pelo sistema e interpola entre a 2a. e a 3a. destas quatro amostras, isto é, no intervalo do meio. Os pontos interpolados são calculados como uma combinação linear das amostras de entrada, ou seja:

$$S(m) = \sum_{j=0}^3 y_{n-1+j} P_{j,m} \quad (3)$$

onde os coeficientes  $P_{j,m}$  são periódicos em  $m$  com período  $L$ :

$$P_{j,m} = P_{j,m+b} \quad , \quad b \text{ inteiro}$$

A periodicidade de  $P_{j,m}$  implica que somente  $L$  conjuntos de quatro coeficientes são utilizados nos cálculos. Na prática a amostra (interpolada)  $S(nL)$  é gerada pelo mesmo conjunto de coeficientes  $\{P_{j,0}; j = 0, 1, 2, 3\}$  que as amostras  $S[(n+k)L]$ , para qualquer  $k$  inteiro. Da mesma forma as amostras  $S(nL+1)$  e  $S[(n+k)L+1]$  são geradas pelo conjunto  $\{P_{j,1}\}$ , e assim por diante. Generalizando, todas as amostras da forma  $S[(n+k)L+r]$  para  $k$  inteiro e  $r = 0, 1, \dots, L-1$ , são gerados pelo conjunto  $\{P_{j,r}; j = 0, 1, 2, 3\}$ .

Destas observações podemos concluir que o interpolador é um sistema linear, variável no tempo. Um modelo para implementação desse sistema pode ser obtido assumindo que os pontos interpolados pertencem não a uma única seqüência  $S(m)$  de período  $T_1$ , mas sim a  $L$  seqüências distintas de período  $T$ . Estas seqüências, chamadas  $S_r(n)$ ,  $r = 0, 1, 2, \dots, L-1$ , estão igualmente espaçadas no tempo em intervalos  $T_1$ , como ilustrado na figura 6, e são geradas pelos conjuntos de coeficientes  $\{P_{j,r}; j = 0, 1, 2, 3\}$ , respectivamente.

Cada conjunto de coeficientes  $\{P_{j,r}\}$  pode ser associado a um filtro FIR linear e estacionário de comprimento 4 com resposta ao impulso  $h_r(j)$  dada por

$$h_r(j) = P_{j,r} \tag{4}$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \quad r = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

A nossa seqüência de pontos interpolados pode agora ser expressa como:

$$S(m) = S_r(n) = \sum_{j=0}^3 y_{n-1+j} h_r(j) \tag{5}$$

o que significa que cada ponto na saída do sistema é produzido por um filtro FIR de comprimento 4. Depois de  $L$  pontos terem sido interpolados, os filtros são reutilizados, na mesma seqüência, para o cálculo dos próximos  $L$  pontos e assim por diante.

$$s(m) = s_r(n)$$

$$r = m \oplus L$$

$$n = \left\lfloor \frac{m}{L} \right\rfloor$$

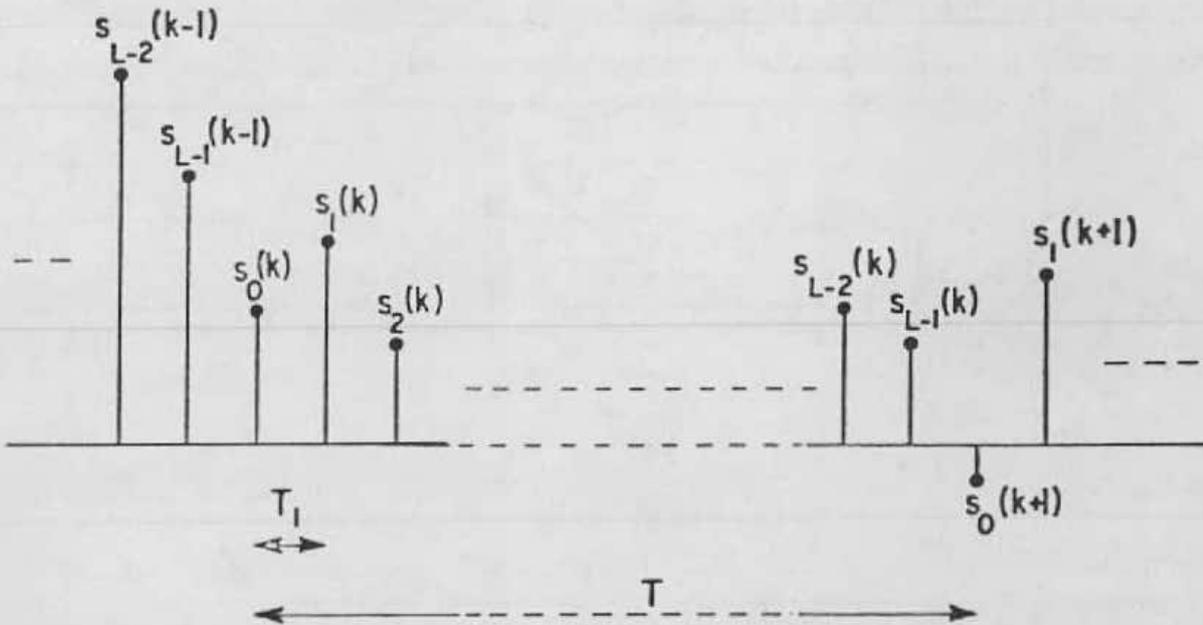


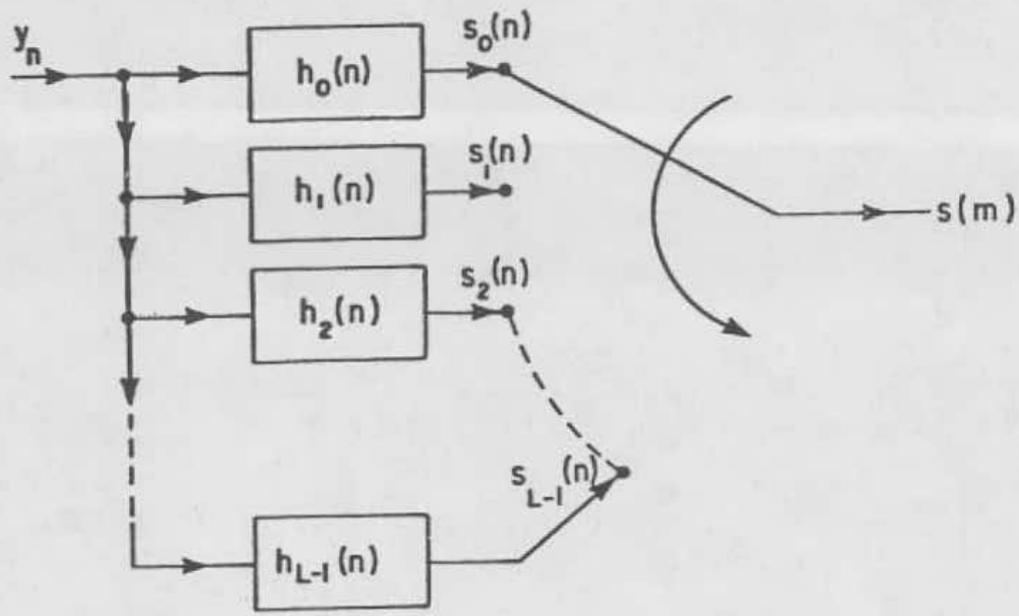
Figura 6: Sequência na Saída do Interpolador.

O diagrama de blocos de um sistema que implementa o algoritmo descrito é mostrado na figura 7.a. Os filtros  $h_r(j)$  são conhecidos como filtros polifásicos e a estrutura completa é chamada de rede polifásica [20]. Esta denominação deve-se ao fato de que estes filtros aproximam uma característica passa-tudo e a cada um deles é associado um deslocamento de fase distinto, correspondendo a um atraso de  $r/L$  pontos. Idealmente, portanto, teríamos, no domínio da frequência:

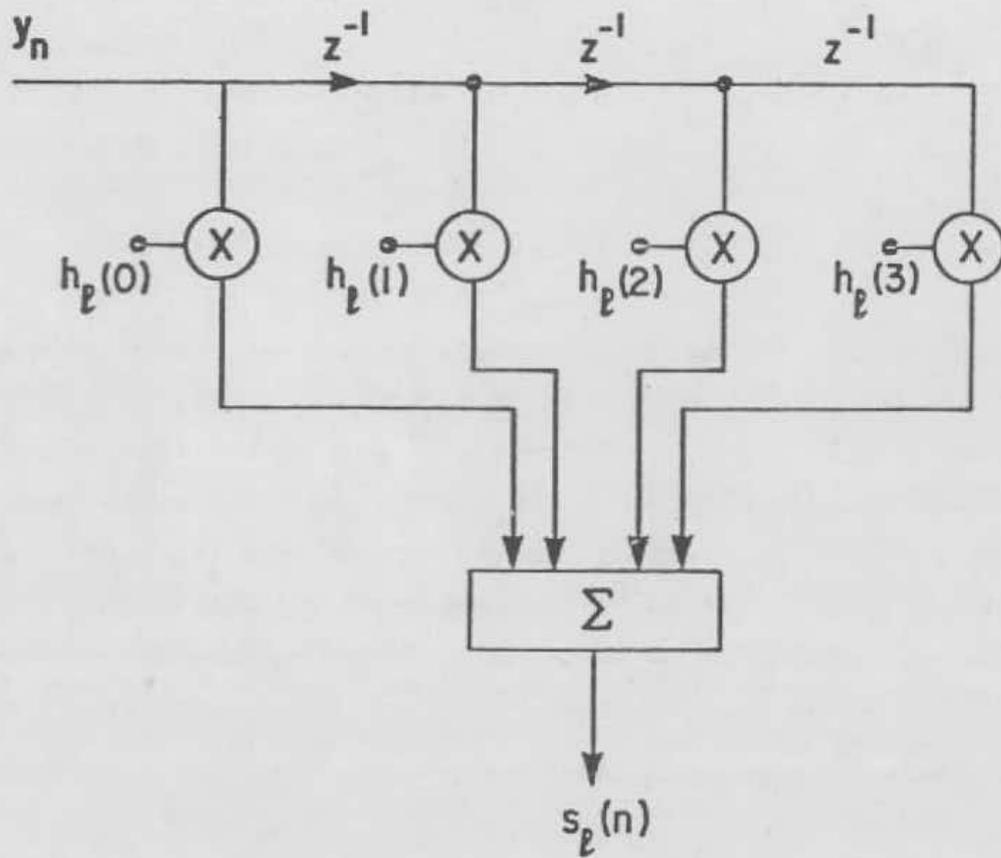
$$H_r[\exp(jw)] = \exp(jwr/L) \quad (6)$$

$$r = 0, 1, 2, \dots, L-1.$$

A rede polifásica mostrada na figura 7.a é uma estrutura eficiente, no sentido que as operações de filtragem são realizadas ainda na baixa taxa de amostragem da entrada. A cada  $T_1$  se



(a)



(b)

Figura 7: a) Modelo para Rede Polifásica.  
b) Filtro Polifásico.

gundos o comutador da figura muda de um filtro para o seguinte, levando T segundos para completar uma varredura completa. O diagrama de blocos de um dos filtros é mostrado na figura 7.b.

O número de amostras de voz (isto é,  $N = 4$ ) usado nos cálculos visa minimizar a complexidade computacional do algoritmo e, portanto maximizar a velocidade de operação. Na prática este número pode ser tão grande quanto se queira. A expressão básica de uma spline cúbica é dada por um polinômio de terceira ordem distinto em cada um dos intervalos de interpolação. Quatro amostras é o número mínimo que se pode usar para o cálculo destes polinômios de modo a obter uma saída estável. Adicionalmente, a minimização do número de amostras possui a vantagem de tornar a interpolação um processo local. Com isto se quer dizer que perturbações indesejadas no sinal de voz sendo reconstruído não afetam o sinal de saída fora da região aonde elas ocorrem.

O fato da interpolação ser feita entre a 2a. e 3a. amostras (intervalo do meio) também não é acidental. Para o cálculo de uma spline cúbica, é necessário que se conheça as derivadas do sinal nos pontos extremos do intervalo de definição da função. Na prática estas derivadas são desconhecidas e necessitam ser estimadas. Para se obter o algoritmo na forma dada pela equação (3) esta estimativa é feita como uma combinação linear das amostras  $y_n$  na entrada do sistema. A escolha do intervalo do meio para interpolação visa isolar o mais possível o sinal de saída dos efeitos desta estimativa. Em [19] é mostrado que o número de amostras usado nos cálculos pode ser aumentado de modo a que a saída do sistema não seja efetuada pela técnica usada para estimar as derivadas.

Os coeficientes  $\{p_{j,r}\}$  são calculados como uma função do número de amostras usado,  $N$ , do fator de interpolação  $L$ , das propriedades das funções Splines, e do método usado para estimar as derivadas nos pontos extremos. A única restrição imposta, para que o algoritmo possa ser implementado como uma rede polifásica, é que o método de estimativa expresse as derivadas como combinações lineares das amostras  $y_n$  na entrada do sistema. Testes realizados mostram que mesmo quando esta estimativa se reduz a atribuir valor zero às duas derivadas, um bom desempenho ainda

pode ser conseguido do sistema.

A configuração do algoritmo para splines cúbicas descrita nesta seção é ótima no sentido de reduzir a complexidade computacional e maximizar a velocidade de operação. Todo o cálculo de coeficientes é realizado a priori e os valores obtidos são armazenados para uso durante a operação. Desta maneira somente quatro operações de multiplicação são requeridas para produzir cada um dos pontos da seqüência de saída.

Detalhes sobre o desenvolvimento do algoritmo podem ser encontrados em [19], onde também são discutidas as considerações envolvendo a escolha de técnica de estimativa, das derivadas nos pontos extremos e como esta escolha afeta o desempenho do sistema.

O algoritmo descrito nesta seção foi implementado com componentes discretos, resultando numa estrutura que ocupa aproximadamente um cartão de circuitos integrados. Um diagrama de blocos desta implementação é mostrado na figura 8. Atualmente encontra-se em fase de desenvolvimento a implementação desta estrutura em um circuito integrado, que permitirá a substituição do cartão por uma única pastilha.

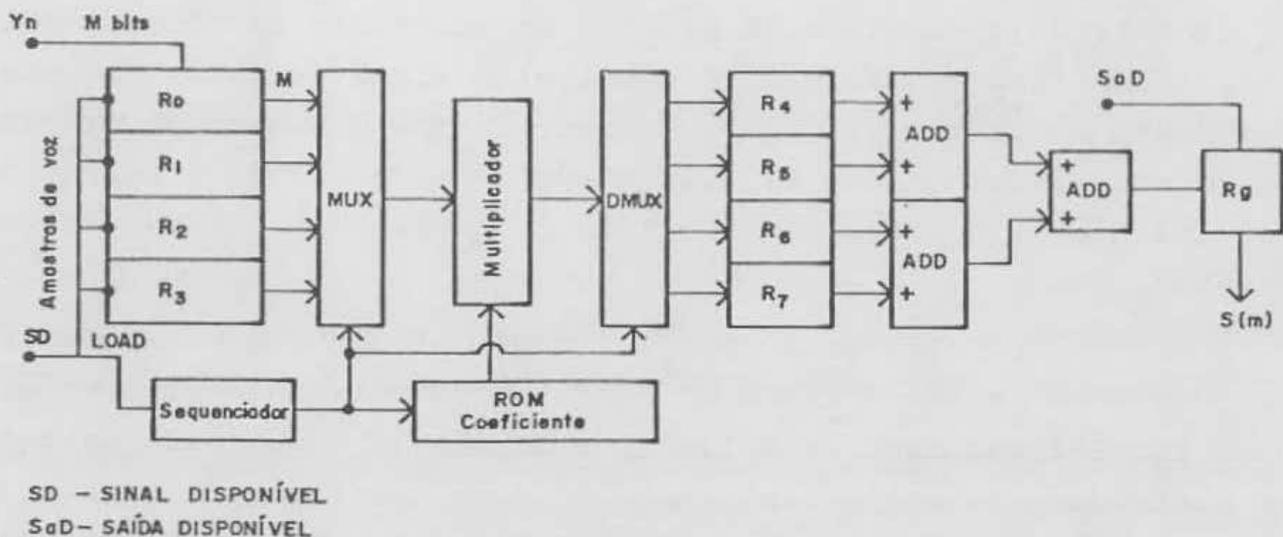


Figura 8: Diagrama do Interpolador.

## 5 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foi descrita a arquitetura de uma interface para uso em uma rede local sob tráfego integrado de voz e dados. Esta interface utiliza um interpolador para reconstrução do sinal de voz, o qual foi desenvolvido com base nas funções spline cúbicas.

A idéia por trás do uso do interpolador é a de aumentar a taxa de amostragem do sinal de voz sendo reconstruído, de modo a diminuir a atenuação na faixa de frequências útil causada pelos filtros responsáveis por essa reconstrução. Com isso é possível uma diminuição da frequência de amostragem do sinal de voz, sem, entretanto reduzir a faixa útil recuperada na recepção. Tal diminuição implica em uma redução da demanda do tráfego de voz aos recursos da sub-rede e, conseqüentemente, em uma melhoria no desempenho da mesma.

A interface proposta utiliza quadros de sinalização, através de um processo de "hand-shake", para estabelecer uma conexão telefônica. O controlador central da interface dá prioridade ao fluxo de quadros de voz, sobre os quadros de dados, de modo a garantir a integridade da conversação telefônica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. William F. Giozza pelas suas sugestões e comentários e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo suporte ao presente trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ 1 ] IEEE Project 802 Local Network Standards - Draft D - Dezembro 1982.
- [ 2 ] Mark, J.W., Todd, T.D. e Field, J.A. - "Wetnet: Architectural Design and Implementation" - Journal of Telecommunication Networks, Vol. 1, Nº 3, Fall 1981, pp. 225-237.

- [ 3 ] San-Qi Li - "Performance Analysis of a Conflict-free Multiple Access Local Network for Voice and Data" - M. A. Sc Thesis, Dept. of Elect. Eng., University of Waterloo, Canada, 1981.
- [ 4 ] Limb, J.O. e Flamm, L.E. - "A Distributed Local Area Network Packet Protocol for Combined Voice and Data Transmission" - Globecom 82 - pp. 303-308.
- [ 5 ] Mark, J.W. - "Integrated Voice/Data Services on a Dual-Ring Local Area Network" - Globecom 83 - pp. 377-381.
- [ 6 ] Tobagi, F.A., Borgonovo, F. e Frata, L. - "The EXPRESS NET: A Local Area Communication Network Integrating Voice and Data" - COMPCOM 82 - Spring - pp. 121-127.
- [ 7 ] Johnson, D.H. e O'Leary, G.C. - "A Local Access Network for Packetized Digital Voice Communication" - IEEE Trans. Comm. Vol. Com - 29 - Maio 1981 - pp. 679-688.
- [ 8 ] Nutt, G.J. e Bayer, D.L. - "Performance of CSMA/CD Networks under Combined Voice and Data Loads" - IEEE Trans. Comm. Vol. Com. - 30 - Janeiro 1982 - pp. 6-11.
- [ 9 ] Shoch, J. - "Carrying Voice Traffic Through ETHERNET" - Local Networks for Computer Communications - N. York - North Holland Publishing Co., 1981 - pp. 429-446.
- [10] De Treville, J.D. - "A Simulation - Basic Comparison of Voice Transmission on CSMA/CD Networks and on Token Buses" - AT &T B.L.T.J., Vol. 63, Nº 1 - Janeiro 1984 - pp. 33-55.
- [11] Brasileiro, M.A.G. - "Modelagem de Aplicações Críticas em Redes Locais" - RT-GRC/UFPb - Agosto 1984 - 45pp.
- [12] Crochiere, R.E. e Flanagan - "Current Perspectives in Digital Speech" - IEEE Comm. Magazine - Janeiro 1983 - pp. 32,40.

- [13] Schafer, R.W., e Rabiner, L.R., "A Digital Signal Processing Approach to Interpolation", Proceedings of the IEEE, Vol. 61, Nº 6, pp. 692-702, Junho 1973.
- [14] Oppenheim, A.V., e Schafer, R.W., "Digital Signal Processing", Prentice Hall Inc., New Jersey, 1975.
- [15] Crochiere, R.E. e Rabiner, L.R., "Optimum FIR Digital Filter Implementation for Decimation, Interpolation, and Narrow-band Filtering", IEEE Transactions on Acoust. Speech and Signal Proc., Vol. ASSP 23, Nº 5, pp. 444-456, Outubro 1975.
- [16] Ahlberg, J.H., Nilson, E.N., e Walsh, J.L., "The Theory of Splines and Their Applications", Academic Press, New York, 1961.
- [17] Greville, T.N., (Ed.), "Theory and Applications of Spline Functions", Academic Press, New York, 1967.
- [18] Greville, T.N., "Spline Functions, Interpolation, and Numerical Quadrature", Mathematical Methods for Digital Computers, Vol. 2, Ralston and Wiley (Eds.), Wiley, New York, 1967.
- [19] De Carvalho, J.M., "Cubic Splines, Polyphase Networks, and Real-Time Interpolation", Ph.D Thesis, Dept. of Elec. Eng., University of Waterloo, Waterloo, Ont., Canada, 1984.
- [20] Crochiere, R.E., and Rabiner, L.R., "Multirate Digital Signal Processing", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1983.