

PROPOSTA E ANALISE DE DESEMPENHO DE UM MÉTODO
DE ACESSO PARA O SISTEMA CDD *

SÉRGIO A.S. DE MORAES
Depto de Computação
CCT/UFSCar

e SHUSABURO MOTOYAMA
Depto de Telemática
FEE/UNICAMP

RESUMO

Neste artigo é apresentado um método de acesso híbrido (combinação da comutação de circuitos com a comutação de pacotes) para o tratamento integrado de sinais de voz e de dados no sistema de comutação digital distribuído (CDD), atualmente em fase de estudos pelo CPqD da Telebrás. Além disso, é feita a modelagem e análise teórica de desempenho do método proposto, sendo apresentados alguns resultados que demonstram a sua boa performance sob as mais diversas condições de funcionamento da rede.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem crescido enormemente a pesquisa em redes de comunicação de serviços integrados (voz, dados, imagem, etc.), na busca de soluções alternativas para os diversos tipos de rede independentes que atualmente co-existem. As pesquisas que inicialmente estavam concentradas em redes de área local (LAN's), se ampliaram rapidamente, estando hoje voltadas para redes de área metropolitana (MAN's).

A integração de voz e dados em uma mesma rede tem-se defrontado basicamente com o equacionamento dos problemas oriundos da natureza diversa de cada tipo de tráfego. Por um lado, os sinais de voz são caracterizados por redundância implícita, o

* Este trabalho foi financiado parcialmente pela Telebrás.

que não requer nenhum tipo de controle de erros; toleram um certo nível de perda sem causar nenhuma degradação à inteligibilidade da fala; são compostos por surtos alternados de voz e de silêncio; e requerem um atendimento síncrono. Por outro lado, os sinais de dados em geral são do tipo assíncrono; têm pouca ou nenhuma restrição quanto ao atraso máximo que podem sofrer; requerem tratamento de detecção e correção de erros; e não toleram nenhum nível de perda.

Em vista disso, e considerando que o tempo de acesso ao meio de transmissão se constitui em um dos componentes que mais influencia a performance de uma rede de comunicação, nosso trabalho tem como objetivo propor um método de acesso e fazer a sua análise de desempenho para o sistema de comutação digital distribuída (CDD), com tratamento integrado de voz e dados, em desenvolvimento pelo CPqD da Telebrás.

A configuração do sistema CDD é em forma de duplo anel, utilizando fibras ópticas como meio de transmissão. Entre as várias alternativas possíveis para a transmissão dos sinais, optou-se por utilizar um esquema combinado, em um mesmo quadro, das técnicas de comutação de circuitos para os sinais de voz e de comutação de pacotes para a sinalização telefônica e de dados em geral.

Este trabalho está organizado da forma como se segue. Na seção II é apresentada a arquitetura do sistema CDD e é descrito, também, o método de acesso proposto. Na seção III é feita a modelagem do sistema, bem como a sua análise de desempenho. Na seção IV são apresentadas algumas conclusões.

II DESCRIÇÃO DO SISTEMA

II.1 CONFIGURAÇÃO DA REDE

A figura 1 mostra a configuração da rede proposta. Em princípio, o anel consiste de um conjunto de interfaces ópticas

(IOP) conectadas entre si através de fibras ópticas e dotadas de mecanismos de isolamento de nós com falhas. A cada IOP está conectado um grupo remoto de terminais (GRT), ao qual estão conectados os diversos terminais (ASS).

Uma das interfaces ópticas ou nós da rede é designada como gerente. Este nó terá as funções de inicialização, manutenção e supervisão da rede. Caso a interface gerente apresente falhas, poderá ser substituída nesta função pela primeira interface que esteja em perfeito funcionamento no sentido do fluxo de informação do anel.

As IOP's têm basicamente as funções de comunicação entre os nós, de multiplexação da capacidade de transmissão das fibras ópticas e de controle de acesso ao meio.

Os GRT's são os responsáveis, a nível local, por todo o processo de comunicação que envolva algum de seus terminais, permitindo o estabelecimento ou não de novas chamadas, a continuidade de atendimento às chamadas em andamento, a finalização de chamadas e o empacotamento da sinalização. Além disso, os GRT's possuem as funções de comutação local, isto é, permite a comunicação direta entre seus terminais.

II.2 METODO DE ACESSO AO MEIO

II.2.1 ESTRUTURA DO QUADRO

A figura 2a) mostra o formato do quadro que é utilizado pela rede. O quadro é composto por dois sub-quadros, um formado pelos canais para comutação de circuitos e o outro pelos canais para comutação de pacotes. O sub-quadro de voz (V) contém K canais de 8 bits (byte) cada, figura 2b), para a transmissão dos sinais de voz, enquanto que o sub-quadro de dados (D) contém J canais de n bytes cada para a transmissão dos pacotes de sinalização.

O tamanho total do quadro é determinado em função dos

diversos parâmetros da rede.

Vamos considerar os seguintes parâmetros:

- capacidade de transmissão..... R bits/s
- comprimento do anel..... L Km
- velocidade de propagação..... a Km/s
- número de nós..... N
- latência da cada nó..... r bits

Portanto, o tempo T_b que um bit necessita para completar uma volta no anel é dado por

$$T_b = \frac{L}{a} + \frac{N * r}{R} \quad (1)$$

O número total de bits que o anel pode conter, chamado de memória do anel (M), é obtido de

$$M = T_b * R \quad (2)$$

Se cada canal contém 8 bits, então o número de canais no anel é

$$S = \{M/8\} \quad (3)$$

onde $\{x\}$ é a parte inteira de x.

Desses S canais, K são dedicados à comutação de circuitos e S-K são voltados para a comutação de pacotes. Por sua vez, esses S-K canais são agrupados de tal forma a formarem J canais iguais e comprimentos maiores ($J \ll S-K$), a fim de permitir a transmissão dos pacotes de sinalização e de dados em geral. Esse agrupamento depende do tamanho máximo do pacote a ser transmitido.

II.2.2 MECANISMO DE ACESSO AO MEIO

O método de acesso ao meio proposto para a rede em anel

é composto de dois mecanismos distintos, um para a alocação dos canais comutados por circuitos e outro para a alocação dos canais comutados por pacotes.

A cada canal está associado um campo de informação que indica se o mesmo está ocupado ou livre (bit C/V). Como as estações (uma estação é representada por um nó e seus terminais) estão acopladas ativamente ao anel, elas podem repetir ou modificar os bits em circulação pela rede, alocando ou liberando os canais.

II.2.2.1 CANAIS DE VOZ

A transmissão de sinais de voz é feita através da comutação de circuitos, utilizando os K canais de voz, cuja estrutura é mostrada na figura 2b).

A alocação dos canais reservados para a comutação de circuitos é feita aleatoriamente quando do estabelecimento da chamada, permanecendo alocado durante toda a duração da mesma, a fim de atender a restrição de continuidade de atendimento imposta pelas estações de voz. Ao final da chamada, o canal é liberado pela interface, não podendo ser reutilizado imediatamente pela mesma, a fim de evitar o monopólio da rede por um único nó. O canal alocado para uma conversação é utilizado tanto para a transmissão quanto para a recepção por ambos os terminais envolvidos.

Uma vez que o tráfego de voz varia muito lentamente comparado com a duração do quadro e provavelmente com o tempo gasto pelo mesmo para percorrer uma volta no anel, a indicação de ocupação dos canais de voz será feita de forma a minimizar o "overhead" da rede e a maximizar o número de canais disponíveis para a comutação de circuitos.

Sendo assim, o número de bits dos m canais (colocados no início do quadro) dedicados para a sinalização do estado de livre/ocupado dos canais de voz será determinado de tal forma que

em cada quadro é indicada a situação de um subconjunto (d) dos canais, sendo necessário, portanto, q quadros para que o status de todos os k canais seja informado.

A relação entre m, q, d e k é facilmente obtida e pode ser vista como um compromisso entre o comprimento total do anel óptico, a velocidade de transmissão, o número de canais de voz, a duração do quadro e o "overhead" desejável para o anel. Esta relação é representada pela seguinte fórmula:

$$q = \frac{k - m}{d} , \quad d = m * 8 \quad (4)$$

II.2.2.2 CANAIS DE DADOS

Para os serviços tratados por comutação de pacotes, o método de acesso proposto é baseado no método conhecido como "slotted ring" [1], em função de sua comprovadamente boa performance em meios de transmissão de alta velocidade.

Nesse método, os J canais iguais ficam circulando permanentemente pelo anel, com seu bit de ocupação marcado como cheio ou vazio. Se uma estação tem informações para transmitir, ela espera a passagem de um canal marcado como vazio, modifica-o para cheio e insere no mesmo as informações a serem transmitidas.

Da mesma forma que nos canais de voz, o acesso aos canais dedicados à comutação de pacotes também ocorre aleatoriamente sempre que uma estação tenha pacotes para transmitir. Porém, ao contrário do que acontece com os canais de voz que são reutilizados durante todo o tempo de uma ligação, as estações só podem utilizar estes canais uma única vez em cada ciclo, entendendo-se como ciclo o tempo que um slot, marcado como livre, leva para visitar todos os nós da rede. Isto é, uma vez tendo utilizado um canal para a transmissão de um pacote, a estação deve liberá-lo permitindo que as outras estações da rede possam

utilizá-lo. A estação só pode voltar a utilizar o mesmo canal quando este retornar novamente vazio. Esta política de acesso é adotada a fim de possibilitar igualdade de acesso a todas as estações conectadas à rede. Todavia, se uma estação tiver mais de um pacote para transmitir, ela poderá fazer uso de todos os canais que lhe chegarem livres.

Na recepção dos pacotes, as estações analisam continuamente os campos de endereços de destino e de origem. Se a estação reconhece o seu endereço no campo de destino, ela recebe os bits do pacote, transfere-os para o seu GRT sem os campos de sincronismos e, ao mesmo tempo, os retransmite na rede. Porém, se ela reconhece o seu endereço no campo de origem, ela retira de circulação os bits que estão sendo recebidos e marca o canal como vazio.

II.2.3 ESTRUTURA DOS PACOTES

Os serviços a serem comutados por pacotes são a sinalização das chamadas telefônicas, mensagens de controle e dados em geral.

A figura 2c) mostra a estrutura geral dos pacotes transmitidos pela rede, na qual são mostrados os principais campos de um pacote.

O conteúdo e tamanho dos campos componentes de um pacote são os seguintes:

- SIN/DF - sincronismo com 8 bits (padrão 01111110)
- C/V - campo de utilização do pacote com 1 bit
- DEST - endereço do nó destinatário com 8 bits
- ORIG - endereço do nó de origem com 8 bits
- TIPO - tipo de pacote com 7 bits
- INF - campo de informação com 96 bits
- FCS - campo de controle de erro com 16 bits

A estrutura do campo INF é variável para cada tipo de

pacote.

III ESTUDO ANALITICO DO METODO DE ACESSO

III.1 PROBABILIDADE DE BLOQUEIO DOS CANAIS DE VOZ

Para a determinação da probabilidade de bloqueio dos canais de voz é necessário que se faça algumas considerações do processo de chegada e atendimento do sistema CDD.

- processo de chegada é do tipo poissoniano com taxa global de chegada de λ mensagens (chamadas) por segundo;

- o comprimento das mensagens (chamadas) é do tipo exponencial negativa com média $1/u$.

Dessa forma, o esquema de atendimento de chamadas telefônicas (sub-quadro de voz) pode ser visto como um modelo M/M/B/B, no qual os processos de chegada e atendimento são do tipo markoviano, existem $B = K - m$ servidores (canais) e o sistema só tem condições de atender no máximo $B = K - m$ mensagens (chamadas) simultaneamente.

Com isto, é possível usar-se a fórmula de Erlang para o cálculo da probabilidade de bloqueio (P_B):

$$P_B = \frac{A^{k-m}}{(k-m)! \sum_{i=0}^{k-m} A \frac{i^i}{i!}} \quad (5)$$

onde,

$$A = \lambda/u, \text{ e}$$

$k-m$ representa o número de canais dedicados à comutação dos sinais de voz.

III.2 MODELAGEM DO METODO DE ACESSO PROPOSTO

Para efeito de análise, no que diz respeito à comutação

de pacotes, o método de acesso proposto pode ser visto como um sistema de múltiplas filas e múltiplos servidores cíclicos com disciplina de atendimento limitada e processo de chegada do tipo poisson em lote, isto é, uma mensagem de sinalização (LLC-SDU) é subdividida, a nível da camada MAC, em vários pacotes (MAC-SDU) para serem transmitidos um a um.

De acordo com a literatura pesquisada dois são basicamente os modelos analíticos que podem ser utilizados para a modelagem do protocolo proposto. Um é o modelo de multi-filas e multi-servidores cíclicos desenvolvido por Morris e Wang [2] e o outro é o modelo de servidor único e cíclico desenvolvido por Takagi [3] e adaptado para protocolos tipo Anel de Cambridge por Zafirovic-Vukotic [4].

Entretanto, devido ao fato de o modelo de Morris e Wang apresentar somente resultados aproximados e o modelo de Takagi apresentar solução teórica exata, a análise do método proposto será estudada somente sob a ótica deste segundo modelo.

III.2.1 MEDIDAS DE DESEMPENHO

A avaliação de desempenho abrangerá o atraso médio de transferência de mensagem (T_{Mi}), o tempo médio de espera de uma mensagem (W_{Mi}), o tempo médio de espera de pacote (W_{Pi}) e a sensibilidade desses elementos às variações dos diversos parâmetros da rede (números de nós, taxa de transmissão, etc.).

O atraso médio de transferência de mensagem (T_{Mi}) é definido como o tempo de duração média de serviço a nível da sub-camada MAC, ou seja, é a média dos atrasos observados desde a chegada da mensagem na estação E_i até a sua entrega corretamente na estação destinatária.

O tempo médio de espera de mensagem (W_{Mi}) é definido como o tempo médio que a mensagem permanece em fila até começar a ser atendida, ou seja, é o tempo decorrido desde o momento de

chegada da mensagem na estação E_i até o início do atendimento do seu primeiro pacote.

O tempo médio de espera de pacote (W_{Pi}) é definido como o tempo médio que o pacote permanece em fila até que comece a ser atendido, ou seja, é o tempo decorrido desde o momento que o pacote chega na estação E_i até o início de sua transmissão.

Para obter a relação existente entre T_{Mi} , W_{Mi} e W_{Pi} é necessário considerar que o sistema apresenta as seguintes características:

- Processo poissoniano de chegada de mensagens na estação E_i com taxa λ_i ;
- Cada mensagem é segmentada em G_i pacotes, o que caracteriza a chegada de pacotes em lotes;
- O comprimento das mensagens, em bits, tem distribuição exponencial com média $1/U_i$;
- O comprimento dos pacotes é constante e igual ao comprimento dos canais;
- O número de pacotes por mensagem (H_i), que chega à estação E_i , tem distribuição geométrica (em decorrência das duas características anteriores) e é dado por

$$P \{H_i = k\} = O_i^{(k-1)} * (1-O_i), \quad k = 1, 2, \dots \quad (6)$$

onde

$$O_i = P\{(\text{comp. mens em } E_i) > (\text{comp. de pacote})\} = e^{-U_i T_c} \quad (7)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, N$ ($N = \text{nr. de estações}$)

$T_c = \text{duração do campo de informação de um canal};$

- H_i tem como média

$$G_i = 1 / (1 - O_i) \quad (8)$$

Nas referências [5] e [6] Halfin e Whitt estudaram, respectivamente, o modelo $M^B/G/1$ considerando distribuição geométrica para o comprimento das mensagens e chegadas do tipo lote. Zafirovic-Vukotic [4] adaptou os resultados apresentados em [5]

para o caso de multi-servidores, obtendo

$$W_{Mi} = W_{Pi} - (G_i - 1) t_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

onde

t_i = tempo médio entre o início de serviço de dois pacotes consecutivos de uma mesma mensagem na estação.

W_{Mi} também representa o tempo médio de espera em fila do primeiro pacote de uma mensagem.

Para a determinação de T_{Mi} é necessário considerar que o mesmo é constituído pelos seguintes componentes:

- tempo médio de espera da mensagem em fila (W_{Mi});
- tempo médio de serviço de todos os pacotes de uma mensagem, com exceção do último $(G_i - 1)t_i$;
- tempo de transmissão do último pacote (T_u);
- tempo médio de propagação do último pacote da mensagem da estação E_i até o seu destino (T_p); e
- tempo médio de espera de passagem dos canais de voz (T_v), o qual corresponde à metade do tempo de duração do subquadro de voz em função da chegada tipicamente aleatória dos pacotes ($T_v = 8K/2R$).

Portanto,

$$T_{Mi} = W_{Mi} + (G_i - 1)t_i + T_u + T_p + T_v \quad (10)$$

de (4) e (5) obtemos

$$T_{Mi} = W_{Pi} + T_u + T_p + T_v, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

III.2.2 MODELO DE SERVIDOR ÚNICO E CICLICO

Este modelo apresenta solução analítica exata. É baseado na existência de um único servidor (canal) que fica circulando pelo anel, fazendo visitas periódicas às estações. Cada estação,

após fazer uso uma vez do servidor, libera-o para a estação seguinte. A estação pode fazer uso ou não do servidor. A figura 3 mostra esquematicamente o modelo de servidor único e cíclico.

A adaptação a ser feita neste modelo para representar o método proposto é bastante simples. Basta considerar que um anel com J canais ($J > 1$) funcione como se possuísse um único servidor com velocidade J vezes maior.

Para a utilização dos resultados obtidos por Takagi [3] na solução exata do modelo é preciso observar algumas condições de funcionamento da rede:

- taxa de chegada de mensagens e número de pacotes iguais em todas as estações

$$\lambda_i = \lambda \text{ e } G_i = G, \quad i = 1, 2, 3 \dots N \quad (12)$$

- as estações estão equidistantemente distribuídas pelo anel, resultando em tempos de transferência de canal, da estação E_i para a estação E_{i+1} , iguais a

$$T_{i,i+1} = T/N, \quad i = 1, 2, \dots N \quad (13)$$

onde,

T = tempo de circulação do canal.

De acordo com os resultados obtidos por Takagi, o tempo de espera em fila de pacote em qualquer estação da rede é dado por

$$WP = \left\{ \frac{\lambda GT_u(N + 1) + 2G(N + 1) - 1}{2[1 - \lambda GT_u(N + 1)]} \right\} T_u \quad (14)$$

Onde o índice i foi suprimido devido às condições de simetria da rede.

O atraso médio de mensagens é determinado a partir das equações (11) e (14):

$$T_M = T_u \left(\frac{\lambda G T_u (N + 1) + 2G(N + 1) - 1}{2[1 - \lambda G T_u (N + 1)]} + 1 \right) + T_p + T_v \quad (15)$$

III.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO

Para a análise de desempenho do método de acesso proposto, no que se refere às mensagens de sinalização, serão utilizados os resultados obtidos no modelo de servidor único e cíclico. Para isto, considerou-se uma rede que operasse sob as seguintes condições:

- taxa de transmissão = 34 Mbps
- comprimento do anel = 5 Km
- número de estações = 30
- estações equidistantemente distribuídas pela rede
- comp. do campo de informação do canal = 96 bits
- comp. do "overhead" do canal = 32 bits
- comp. médio de mensagens = 1100 bits
- carregamento simétrico nas estações
- padrão de tráfego uniforme entre as estações

O modelo de servidor único e cíclico tem solução exata para o anel modelado com somente um canal (servidor) circulando. No caso do uso deste modelo para a análise de um sistema de multi-filas e multi-servidores cíclicos seria natural considerar uma certa imprecisão nos resultados. No entanto, Morris e Wang [2], na análise do modelo de multi-filas e multi-servidores, observaram que os canais vazios (servidores) tendem a se aglomerarem no atendimento de uma determinada fila ou de um grupo vizinho de filas, comportando-se como se fossem um único servidor, com velocidade de atendimento maior e igual a velocidade de um canal multiplicada pelo número de canais livres que chegam a fila.

A figura 4 apresenta a curva de atraso médio de mensagens (T_M) versus o tráfego relativo oferecido. A sensibili-

dade do tempo médio de espera de pacote (W_{Pi}) versus o número de estações da rede (N) pode ser vista na figura 5. O comportamento observado é explicado pelo fato de que a estação E_i pode alocar todos os canais que chegarem vazios e que se fizerem necessários por quadro.

A figura 6 mostra a relação existente entre o atraso médio de mensagens (T_{Mi}) versus a taxa de transmissão no anel. Note que o T_{Mi} tende a decrescer com o aumento da taxa de transmissão do anel. Esta propriedade é explicada pelo fato de que o aumento da taxa de transmissão do anel significa um aumento na velocidade de circulação do canal (servidor), reduzindo o tempo de serviço, ou o aumento do número de servidores (canais) a disposição do mesmo número de usuários (fregueses).

IV CONCLUSÃO

Em redes de área local/metropolitana o fator de maior contribuição para o atraso total ponto-a-ponto é o tempo de acesso ao meio de transmissão. O método por nós proposto não se objetiva minimizar esse tempo de atraso, mas também tornar a rede bastante flexível para futuras expansões, tais como o aumento do número de nós ou o aumento da taxa de transmissão do meio, sem que haja necessidade de mudanças mais profundas na estrutura da rede.

Conforme ficou demonstrado pelos dados obtidos na análise teórica, o método de acesso proposto apresenta bons resultados nas mais diversas condições de funcionamento da rede. Dessa forma, fica claro que o seu uso pelo sistema CDD parece ser bastante vantajoso.

Além disso, o trabalho de análise desse método de acesso prossegue, buscando através de simulação da rede comprovar que os resultados até aqui obtidos são válidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] - HAMMOND, J. L. & O'REILLY, P. J. P. **Performance analysis of local computer networks.** Massachusetts, Ed. Addison-Wesley Pub. Co., 1986, 411 p.
- [02] - MORRIS, R.J.T. & WANG, Y.T. Some results for multi-queue systems with multiple cyclic servers, **Performance of Computer Communication Systems**, H. Rudin and W. Bux (ed.), Elsevier Sc. Pub., p. 245-258, 1984.
- [03] - TAKAGI, H. Analysis of polling systems, **The MIT Press**, Cambridge, Massachusetts, 1986.
- [04] - ZAFIROVIC-VUKOTIC, M. & NIEMEGEREERS, I.G. Performance modelling of a HSLAN slotted ring protocol, **ACM Sigmetrics '88**, Santa Fe, New Mexico, maio de 1988.
- [05] - HALFIN, S. Batch delays versus customers delays, **Bell System Techn.**, vol 62, p. 2011-2015, set. de 1983.
- [06] - WHITT, W. Comparing batch delays and customer delays, **Bell System Techn.**, vol 62, p. 2001-2009, set. 1983.
- [07] - BRADY, P. T. A Statistical Analysis of On-Off patterns in 16 Conversations, **Bell Syst. Tech.**, 1(47): p. 73-91, Jan. 1968.
- [08] - WAEL, H. & MING, T. L. Local Area Networks supporting Speech Traffic, **Computer Networks**, 8(4): p. 325-337, ago. 1984.
- [09] - GOPALAKRISHNAN, M. & PATNAIK L. M. Medium access control schemes for local area networks with multiple priority function, **The Computer Journal**, 31(3): p. 209-219, jun. 1988.
- [10] - CORVELO, G. J. Comparative discussion of circuited vs. packed-switched voice, **IEEE Transactions on Communications**, 27(8): p. 1153-1159, Ago. 1979.
- [11] - ROSS, M. J.; TABBOT, A. C. & WAITE, J. A. Design approaches and performance criteria for integrated voice/data switching. In: **STALLINGS, W. Tutorial in integrated services digital networks.** Washington, IEEE Computer Society Press, 1985. P. 289-301.
- [12] - LIMB, J. O. & Albanese, A. Passive unidirectional bus networks using optical communications, **GLOBECOM'85**, New Orleans, Dez. 1985. **Anais do GLOBECOM'85**, New Orleans, 1985, p. 1190-1195.
- [13] - HORPER, A. The Cambridge ring - a local networks. HANNA, F. K. In: **Advanced techniques for microprocessors system**, Inglaterra, Ed. Stevenage, 1980. P. 67-71.
- [14] - LIMB, J. O. A distributed local area network packet protocol for combined voice and data transmission, **IEEE Journal On Selected Areas In Communication**, SAC-1(5): p. 926-934, Nov. 1983.

- [15] - GUARDIEIRO, P. R. Fibras ópticas e sua aplicação em redes locais de computadores, Relatório Técnico do Dpto. de Telemática da FEE-UNICAMP, Campinas, 1987.
- [16] - GUARDIEIRO, P. R. & MOTOYAMA, S. - Rede local de computadores com integração de voz e dados em duplo anel de fibras ópticas, Relatório Técnico do Dpto. de Telemática da FEE-UNICAMP, Campinas, 1988.
- [17] - PATTAVINA, A. & PACIFICI, G. Performance evaluation of ring networks Supporting a packet voice 15(1): p. 31-45, 1988.

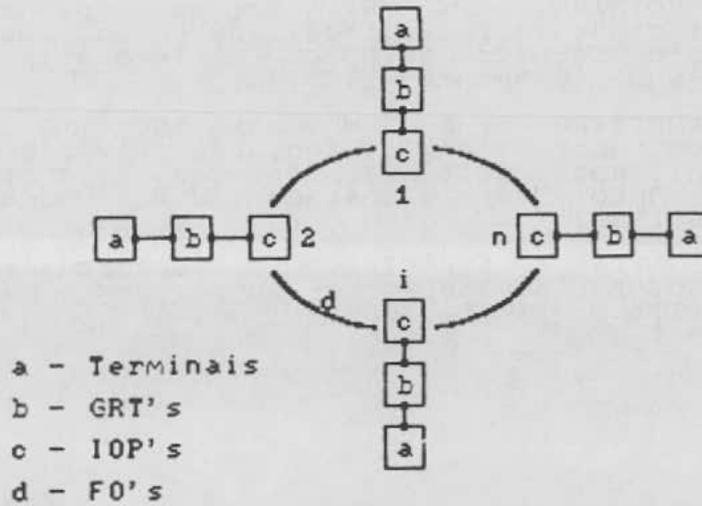


Fig. 1 - Configuracao da rede

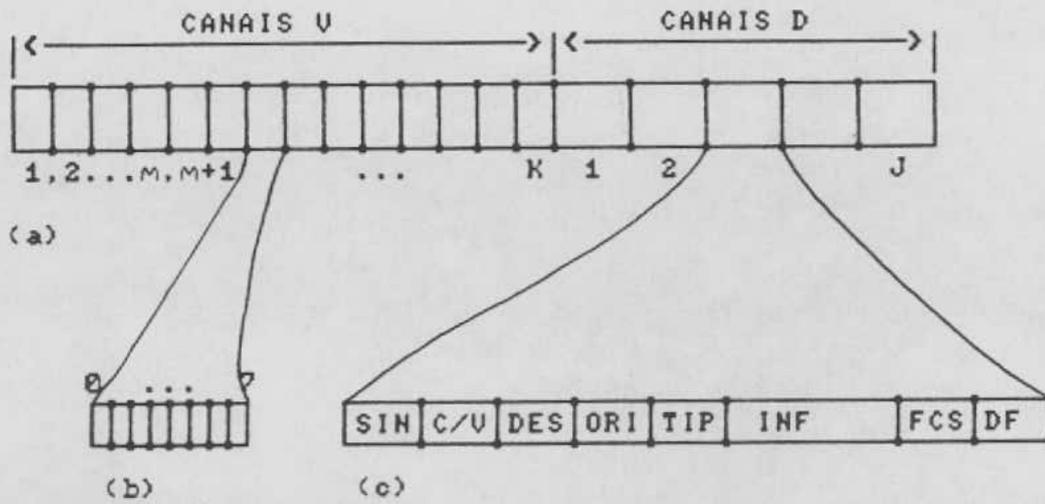


Fig. 2 - Estruturas do quadro (a), do canal de voz (b) e do pacote de sinalizacao (c).

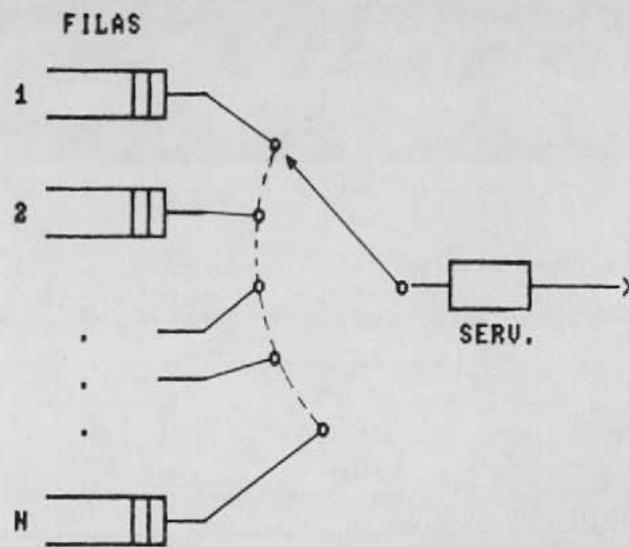


Fig. 3 - Modelo de servidor unico e ciclico

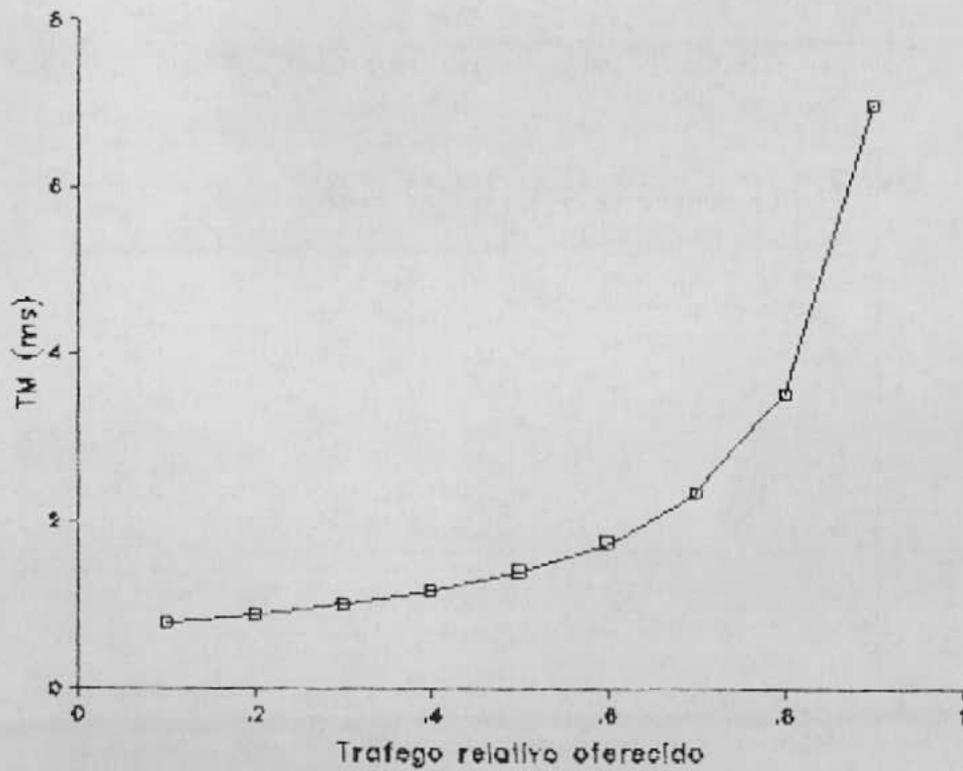


Fig. 4 - Atraso Medio de transferencia de Mensagens vs trafego relativo oferecido

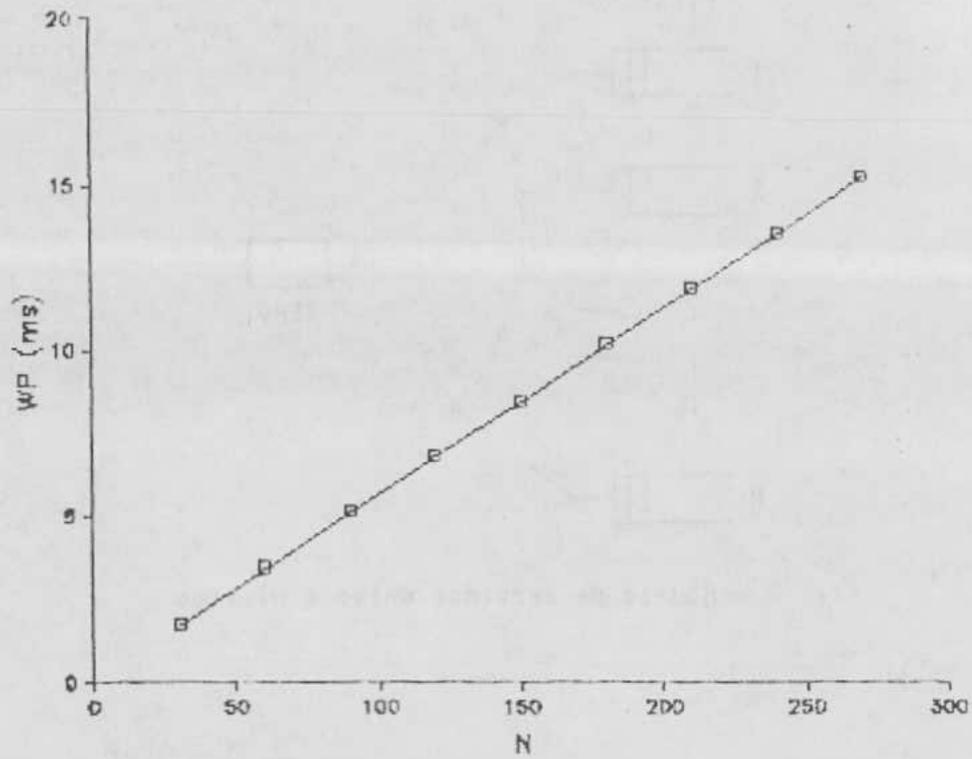


Fig. 5 - Tempo medio de espera de pacote vs numero de estações na rede.

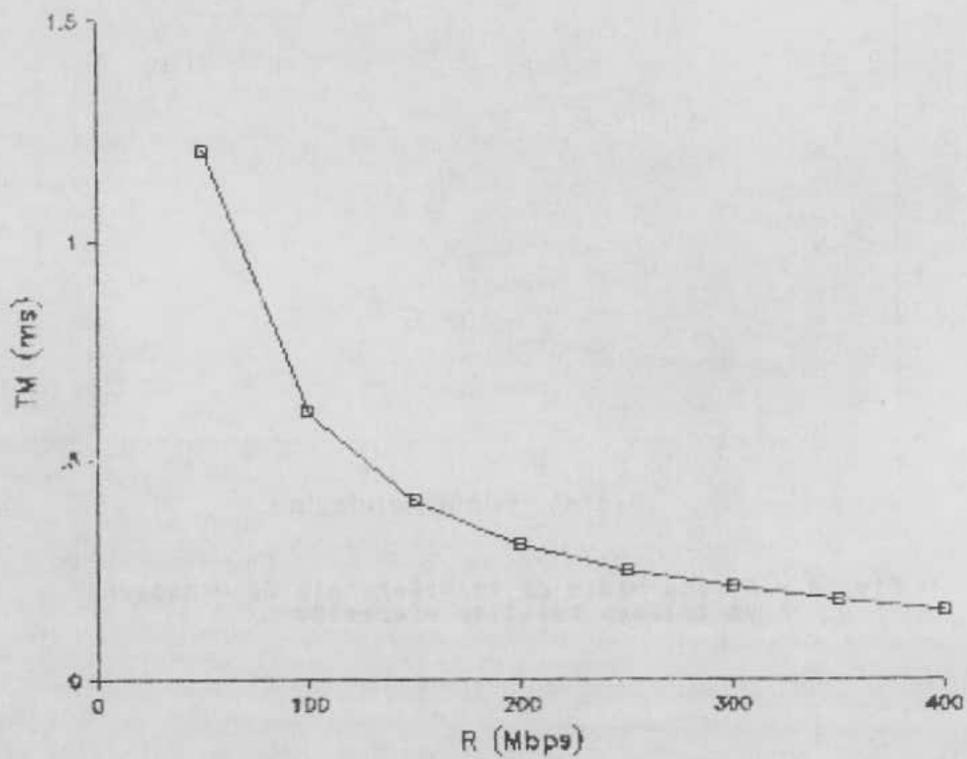


Fig. 6 - Atraso medio de mensagens vs taxa de transmissao da rede.