

TÉCNICAS DE ACELERAÇÃO DA COMUNICAÇÃO  
EM UM BARRAMENTO PARALELO CENTRALIZADO

Rosana C. de M. Grillo Gonçalves  
Claudio Kirner

Projeto Centauro de Computação Paralela  
Universidade Federal de São Carlos  
Rodovia Washington Luiz, Km 235  
Caixa Postal, 676  
13560 - São Carlos - SP  
Fone: (0162) 74-8232 FAX: (0162) 71-2081

SUMÁRIO

É apresentado um barramento paralelo e centralizado que faz parte de um subsistema de comunicação de uma rede local, com uma taxa de transferência de mensagens de 132 Mbytes/s. As técnicas utilizadas na aceleração da comunicação nesse barramento são descritas e discutidas.

ABSTRACT

A centralized parallel bus is presented as part of a local network communication subsystem with a message transfer rate of 132 Mbytes/s. The technics used for accelerating the bus communication are described and discussed.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da informatização e a necessidade crescente de integração de recursos vêm exigindo redes de computadores cada vez mais confiáveis, e com maiores taxas de transmissão. Neste contexto, este trabalho apresenta as técnicas de aceleração de comunicação, utilizadas para melhorar a taxa de transmissão de um barramento paralelo centralizado, que faz parte da segunda versão de um subsistema de comunicação não-convencional de uma rede local estrela, e que também pode ser usado num sistema multi-microcomputadores.

Este Subsistema de Comunicação (SC) foi proposto inicialmente em [1, 2] e, consiste no confinamento de um barramento e de Processadores de Comunicação (PCs) a ele ligados, formando o elemento centralizador de uma rede local estrela (figura 1) [3]. Seu uso é interessante devido a união da rapidez e confiabilidade do Subsistema de Comunicação à simplicidade de interconexão e manutenção de uma rede estrela.

A fim de melhorar o desempenho deste SC, em sua segunda versão foi alterada a arquitetura de seus Processadores de Comunicação (PCs), que passaram a usar processadores T800 [4] ("Transputers"); foi introduzida uma estrutura de comunicação secundária para os PCs, formada por uma rede em anel duplo; e a via de comunicação principal (o barramento) teve sua velocidade aumentada com o uso das técnicas que serão descritas. Vale ser ressaltado que essas melhorias pouco oneraram o custo do projeto inicial, uma vez que se utilizaram de recursos de otimização passíveis de serem implementados com componentes da família TTL-FAST.

Um protótipo simulado da versão atual deste Subsistema de Comunicação (SC) apresentou elevada taxa de comunicação (132 Mbytes/s) que viabiliza o uso deste sistema em

ambientes multimídia com integração de dados, voz e imagens. Tais resultados, aliados às técnicas determinantes e simétricas de acesso ao barramento, também encorajam seu uso na interconexão de sistemas de tempo real críticos, além do uso nas aplicações tradicionais de rede.

Uma visão geral do Subsistema de Comunicação é apresentada na parte 2. A parte 3 enfoca as técnicas para aceleração da comunicação via barramento. A conclusão e a discussão dos resultados obtidos encontram-se na parte 4.

## **2 MACRO-ELEMENTOS DO SUBSISTEMA DE COMUNICAÇÃO**

O Subsistema de Comunicação foi projetado com o objetivo de superar os principais problemas inerentes à centralização de uma rede estrela: falhas no elemento centralizador, congestionamentos na presença de tráfego intenso e restrições quanto ao crescimento incremental.

Para solucionar esses problemas, o subsistema de comunicação foi concebido de forma distribuída com componentes autônomos duplamente interligados como mostra a figura 1. As estações encontram-se interligadas através deste subsistema de comunicação, que, por sua vez, interliga os processadores de comunicação com um barramento paralelo, e com um anel duplo.

Como processadores de comunicação foram usados os "transputers" (T800) [3] responsáveis pelo encaminhamento de mensagens que podem ser veiculadas alternativamente pelo anel duplo ou pelo barramento. Pelo barramento são encaminhadas mensagens de difusão e de maior prioridade, cuja transmissão, em última instância, é tarefa da interface de transmissão; analogamente, a recepção ocorre primeiramente na interface de recepção. A existência dessas interfaces inteligentes minimizam o tempo gasto pelo

processador de comunicação com o encaminhamento de mensagens via barramento.

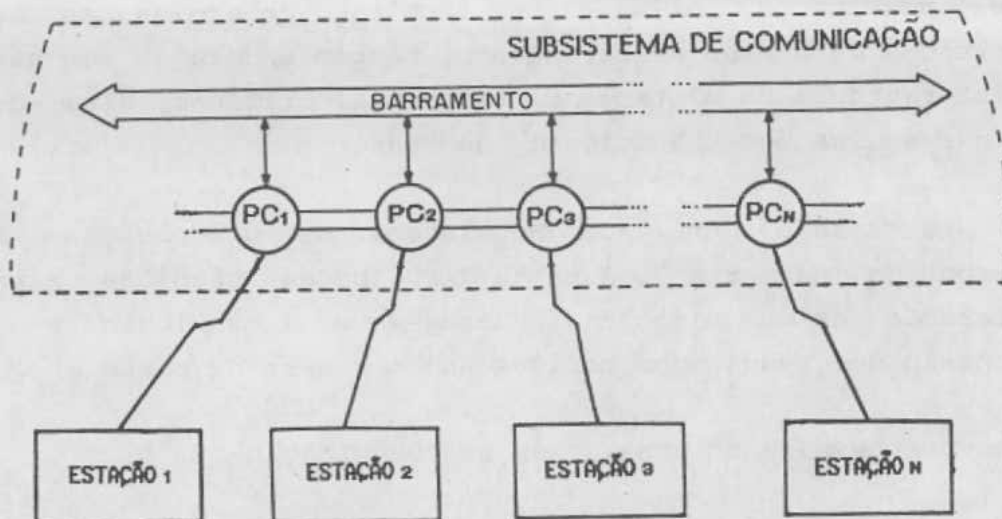


Figura 1 - Esboço da Rede Local Estrela

Pela rede em anel, veiculam mensagens menos prioritárias, ou que terão percurso reduzido no anel, decisão que pode depender do barramento estar ou não sobrecarregado. Esta via secundária de comunicação, além de diminuir congestionamentos, também aumenta a confiabilidade do sistema, servindo de rota alternativa no caso de falhas graves no barramento.

## 2.1 COMUNICAÇÃO VIA ANEL DUPLO

A rede interna ao subsistema de comunicação em anel duplo é uma via de comunicação formada pela ligação dos canais ponto a ponto bidirecionais dos "transputers" (T800). Cada canal tem taxa de transmissão de 20 Mbits/s. Se ambos os canais são usados simultaneamente, a taxa de transmissão atinge 40 Mbits/s.

A existência de duas linhas de comunicação permite, no caso de falha em uma das linhas, que as mensagens trafeguem

num processador de comunicação, a bidirecionalidade das linhas restantes possibilita a opção por rotas alternativas. Uma análise da simulação desta rede é apresentada em [5] com bons resultados na reversão automática de rota, e na isolação e reintegração automática dos elementos.

### 3 TÉCNICAS DE ACELERAÇÃO DA COMUNICAÇÃO VIA BARRAMENTO PARALELO CENTRALIZADO

O barramento, que se constitui na via principal de comunicação do sistema, é paralelo e centralizado. A função de suas 97 linhas é mostrada resumidamente na tabela 1.

No. de LINHAS	NOME	DESCRIÇÃO
64	dados	conteúdo da mensagem
8	cabeçalho	cabeçalho da mensagem
8	end. emissor	endereço do dispositivo que envia a mensagem
8	end. destino	endereço do dispositivo que receberá a mensagem
1	ocupado	indica se o barramento está ocupado; foi implementada com lógica de fiação "wired OR"
1	hab_end	habilita os dispositivos a reconhecerem o endereço destino presente no barramento
1	resetbus	coloca todos dispositivos no estado inicial
1	hab_saída_RCP	indica que a saída do Registrador Circulante de Prioridade pode ser consultada
1	chegou	indica que a mensagem chegou no dispositivo destino
1	dado_lido	indica que a mensagem foi lida pelo dispositivo destino
1	estouro	indica a existência de algum buffer de recepção cheio; foi implementada com lógica de fiação "wired OR"
1	hp	acesso ao barramento reservado para disp. de alta prioridade
1	sincronismo	linha de difusão de relógio

97 Linhas de Comunicação

Tabela 1 - Linhas do Barramento

### 3.1 INTERFACE DE TRANSMISSÃO

A transmissão de mensagens via barramento inicia-se quando o T800 manifesta à interface de transmissão seu desejo de transmitir uma mensagem (sinal QUER\_TRANS - figura 2). A partir deste momento, a interface monitorará a transmissão, verificando o momento em que este PC é prioritário no acesso ao barramento, colocando a mensagem no barramento, e aguardando os sinais do receptor que fizer parte do protocolo de comunicação a nível físico. Encerrada a transmissão, a interface interrompe o T800 e lhe informa o status da mesma.

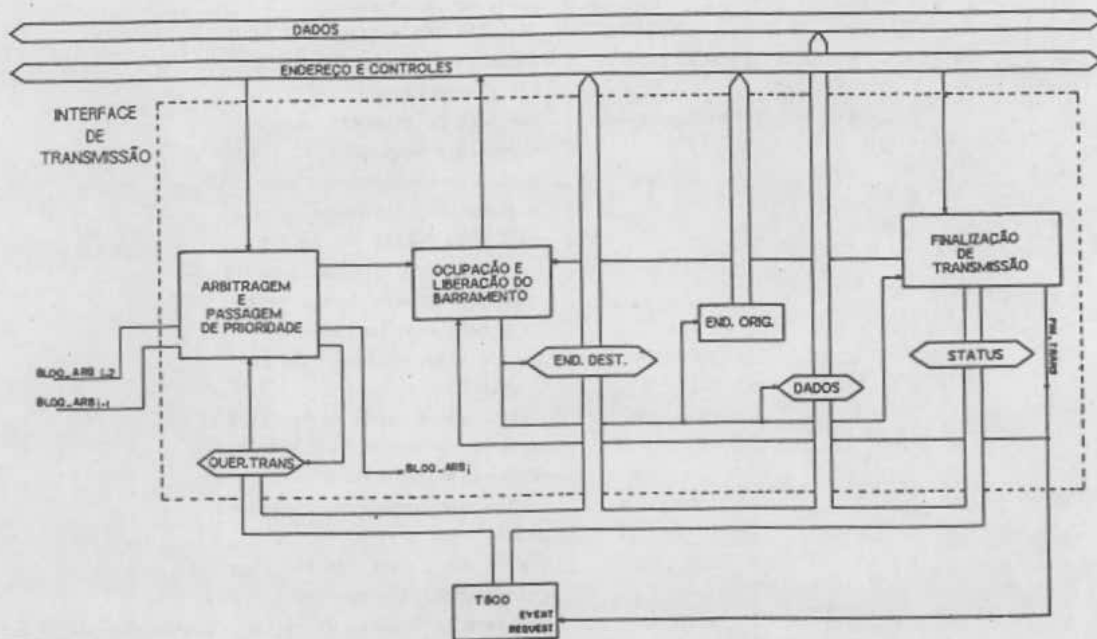


Figura 2 - Interface de Transmissão

### 3.2 INTERFACE DE RECEPÇÃO E SUAS ESTRUTURAS DE ARMAZENAMENTO DE MENSAGENS

No recebimento de mensagens, o processador de comunicação limita-se a ter acesso a um buffer de recepção e a consumir as mensagens a ele destinadas, no momento em que isso lhe interessar. Todos os demais procedimentos relativos ao recebimento de uma mensagem são atribuídos à interface de recepção (figura 3).

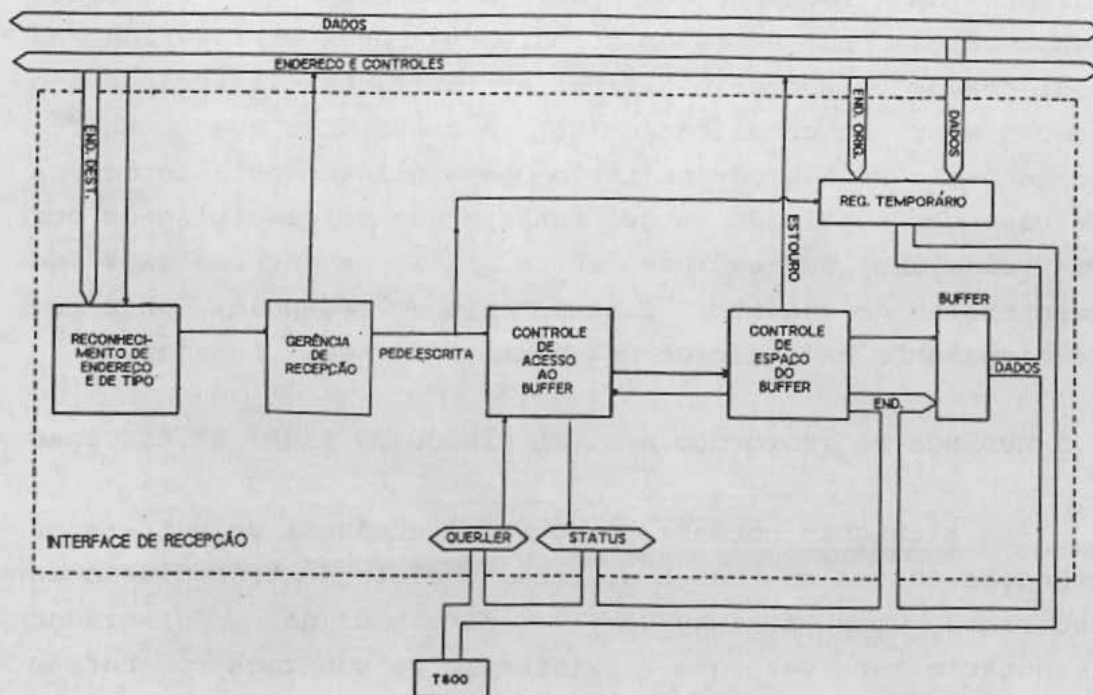


Figura 3 - Interface de Recepção

A interface de recepção possui duas estruturas de armazenamento de mensagens: o registrador temporário de recepção, e o buffer de recepção. O primeiro assimila rapidamente a mensagem recebida. Posteriormente, esta mensagem é colocada no buffer de recepção que conserva as mensagens que serão, em tempo conveniente, consumidas pelo processador de comunicação.

Esta estratégia tem vários objetivos. Um deles é liberar o T800 da obrigatoriedade de interromper suas atividades para ler uma mensagem no instante de sua chegada, através do armazenamento da mesma no buffer de recepção. O T800 somente lerá as mensagens quando delas precisar ou periodicamente, devendo para isso, disputar o acesso ao buffer de recepção com os circuitos da interface responsáveis por escrever no buffer a mensagem inserida no registrador temporário. Para atribuir tal liberdade ao processador de comunicação (PC), é necessário que o buffer de recepção seja um depósito compartilhado pela interface de recepção e pelo PC, e que tenha o acesso disciplinado por um mecanismo de exclusão mútua, daí, a necessidade da existência do registrador temporário de recepção, para um armazenamento mais rápido das mensagens recém-chegadas.

### **3.3 MUDANÇA DE PROTOCOLO A NÍVEL FÍSICO EM TEMPO DE EXECUÇÃO**

Em situações normais, isto é, na ausência de buffers de recepção cheios em todo o sistema, o ciclo de transmissão se encerrará com a inserção da mensagem no registrador temporário (uma vez, que a existência de sua vaga no buffer de recepção é garantida). Neste caso, o receptor será responsável pela liberação do barramento; quando esta atitude for percebida pelo transmissor, a comunicação ter-se-á encerrado, sem necessidade da emissão de sinais adicionais de confirmação. Esta simplicidade na confirmação de recebimento torna o protocolo rápido e aumenta as taxas de comunicação.



Para o tratamento das situações críticas, que ocorrem quando algum buffer de recepção do subsistema de comunicação está totalmente preenchido, existe uma linha no barramento (denominada ESTOURO - tabela 1) que estando ativa impõe o uso de um protocolo de comunicação mais demorado com uso de linhas do barramento para indicarem a chegada da mensagem ao seu destino (linhas CHEGOU e DADO\_LIDO - tabela 1). Uma das linhas indica que a mensagem chegou no registrador temporário de seu destino, e a outra indica se foi ou não inserida no buffer de recepção do destino, que, tem a possibilidade, de ser o buffer de recepção que encontra-se preenchido. Esta capacidade de mudança do protocolo de comunicação a nível físico em tempo de execução também contribui para o aumento da taxa de comunicação do sistema.

Na elaboração dos protocolos de comunicação houve ainda a necessidade de dar tratamento a outra exceção: trata-se da transmissão em rajada de todos os processadores de comunicação para um único processador destino, o que faz com que o registrador temporário esteja ocupado na chegada de uma nova mensagem. O tratamento dessa exceção ocorre com o receptor mantendo o barramento ocupado, até que seu registrador temporário possa conter a nova mensagem. Detalhes deste procedimento podem ser vistos em [6].

As medidas feitas no protótipo simulado neste sistema apontaram uma taxa de transmissão de 132 Mbytes/s, alcançada estando o sistema em funcionamento estável, isto é, na ausência das exceções já discutidas.

#### **3.4 MECANISMO DE ARBITRAGEM**

Sendo o barramento um recurso compartilhado, é necessário um mecanismo de arbitragem que, no caso de vários elementos desejarem usá-lo, selecione apenas um ganhador, e que garanta que nenhum dispositivo, ou grupo de dispositivos monopolize o seu uso.

No caso de a rede operar num ambiente com restrições de tempo, é necessário que o mecanismo de arbitragem seja determinístico [7]. Tal propriedade garante que o mecanismo de arbitragem não se degenera com o aumento de sobrecarga do sistema, nem realiza ciclos inúteis de disputa (não há colisões).

Além desses requisitos, na interligação de diferentes estações autônomas, a garantia de que nenhum elemento será privilegiado (simetria) [8] é essencial ao desempenho global do sistema.

Com o objetivo de elevar-se as taxas de transmissão do subsistema de comunicação, é importante que a implementação do mecanismo de arbitragem seja eficiente e não onere os ciclos de transmissão.

Tais considerações deram origem à opção por uma implementação eficiente de um esquema de passagem de permissão ("token-pass"). Nela o direito de ocupação do barramento é concedido através de um sinal de prioridade que circula num registrador de deslocamento. Este registrador, denominado Registrador Circulante de Prioridade (RCP), desloca um bit com nível lógico 1. Quando este sinal encontra-se na saída do RCP correspondente ao *i*-ésimo processador de comunicação (linha PRIOR<sub>*i*</sub> - figura 4), este se torna prioritário.

A idéia explorada é aproveitar as taxas elevadas de circulação de um sinal, obtidas com um registrador de deslocamento, para minimizar o tempo gasto com a arbitragem.

O uso do deslocamento rápido da permissão introduziu problemas, como o da perda de "token" e o de anulação de efeito que exigiram soluções inéditas. Algumas serão discutidas a seguir, outras podem ser vistas em [5].

Para garantir que é o único ganhador, o PC requisitante, assim que obtém a prioridade, deve barrar a sua circulação. Posteriormente, após ocupar o barramento, ele libera a circulação do "token". Um PC barra a circulação do "token" inibindo a saída do RCP (linha HAB\_SAÍDA\_RCP - figura 4); e posteriormente, antes de liberar a circulação do "token", deve reprogramar o RCP com uma máscara que atribua a prioridade ao elemento  $i+1$ .

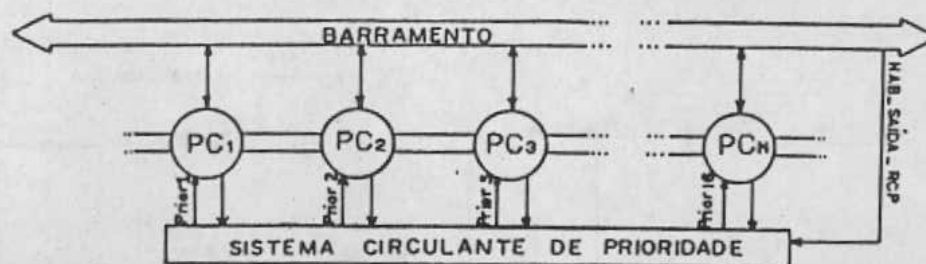


Figura 4 - Conexões entre o Sistema Circulante de Prioridade e os Processadores de Comunicação (PCs)

Devido à alta velocidade de propagação da prioridade (7,5 ns) e ao bloqueio de sua circulação ser comparativamente mais lento, acontecerá que, antes do bloqueio tornar-se efetivo, a prioridade deslocar-se-á para dois PCs que são subsequentes ao PC prioritário.

Na resolução deste problema, típico de ambientes onde sinais são propagados a alta velocidade, foi usada a técnica de anulação de efeito. Ela estabelece que, ao invés de

evitar-se a causa (o que usualmente implica na introdução de atrasos na propagação dos sinais), anula-se o efeito da propagação indevida de alguns sinais. Isto foi implementado da seguinte maneira: após conseguir o token, o PC, se não for desativado por um sinal inibidor precedente, se estabelece como o mais prioritário gerando o sinal inibidor aos dois PCs que lhe são subsequentes no anel virtual de passagem de "token" (figura 5).

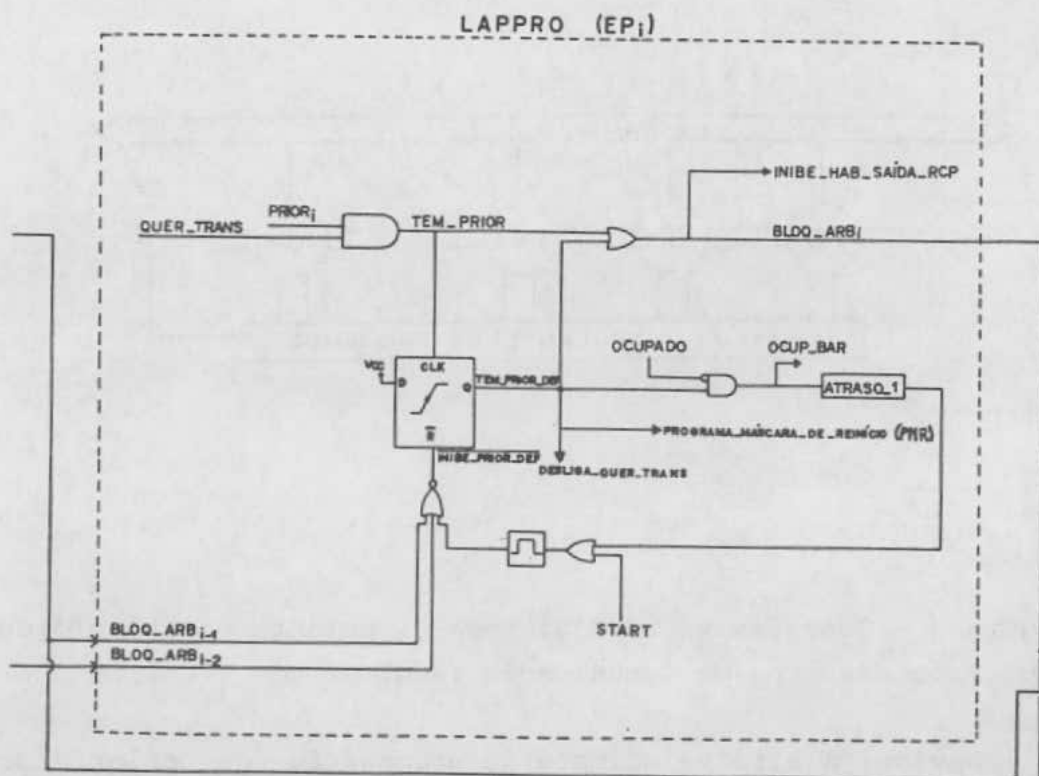


Figura 5 - Lógica de Arbitragem e Passagem de Prioridade Rotativa

Com tais características, o sistema de arbitragem proposto, além de garantir determinismo, e simetria no acesso ao barramento, e de simplificar a sobreposição dos ciclos de arbitragem aos ciclos de transmissão, também possibilitou uma arbitragem rápida. No caso médio em que o "token" encontra-se na distância de  $n/2$  PCs do Pc requisitante, o tempo gasto pela arbitragem será de aproximadamente  $(n/2) * 7,5$  ns. Outra vantagem desta abordagem é que na existência de um fluxo elevado de mensagens, todas as arbitragens serão feitas em paralelo com as transmissões, devendo ser desconsiderado o atraso relativo à arbitragem no cálculo do tempo gasto numa transmissão.

#### 4 CONCLUSÃO

Construído com o uso de componentes de tecnologia tradicional (TTL-Fast), o subsistema de comunicação proposto torna-se uma opção interessante para redes com aplicações que exigem alta velocidade. Sua taxa de comunicação via barramento foi estimada em 132 Mbytes/s, numa analogia com um barramento serial, esta taxa seria o equivalente a 1 Gbits/s.

O aumento da velocidade foi obtido por um conjunto de técnicas ressaltando-se: o paralelismo de transmissão (barramento paralelo), o uso de estruturas de armazenamento de mensagens na interface de recepção, a mudança de protocolo a nível físico em tempo de execução e a superposição da arbitragem com a transmissão.

A utilização de técnicas de aceleração da comunicação propiciaram um melhor rendimento do subsistema de comunicação com reflexos positivos no fator custo/desempenho e com a obtenção de taxas de comunicação superiores às que seriam obtidas com o uso de soluções convencionais.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KIRNER, C & MARQUES, E. - "Design of a Distributed System Support Based on a Centralized Parallel Bus". In Computer Architecture News, 14(4):15-26, Sep. 1986.
- [2] MARQUES, E. - Projeto de uma Rede Local de Computadores de Alta Velocidade. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, USP-São Carlos, Brasil, Jun. 1988.
- [3] LINDSAY, D. C. - "Local Area Networks: Bus and Ring vs. Coincident Star". In Computer Communications Review, 12(3,4):83-91, July/Oct. 1982.
- [4] INMOS Ltd. - The Transputer Databook, 72TRN20301, 2nd. ed., 582p., 1989.
- [5] KIRNER, C. & BAENA, W. C. - "Projeto de um Ambiente Tolerante a Falhas para Implementação de Sistemas Operacionais Distribuídos". In Anais do Congresso Nacional de Informática, 21, p.686-695, RJ, 1988.
- [6] GONÇALVES, R. C. M. G. - CPER-1: Um Computador Paralelo Distribuído de Alto Desempenho. Dissertação de Mestrado, 114p, Dpto. de Computação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 1991.
- [7] KUROSE, J. F.; SCHWARTZ, M. & YEMINI, Y. - "Multiple-Acess Protocols and Time-Constrained Communication". In ACM Computing Surveys, 16(1):43-70, March 1984.
- [8] GUIBALY, F. E. - "Design and Analysis of Arbitration Protocols". In IEEE Transactions on Computers 38(2), pp. 161-171, Feb. 1989.