Um Novo Protocolo Multiponto Para Comunicações Via Satélite a Altas Velocidades

Heliomar Medeiros de Lima [1]
Banco do Brasil S. A. - Supro/Sutec - RJ
R. Br. S. Francisco, 177/2° Andar
CEP 20560 - Tel: (021)575.2274 - Rio de Janeiro - RJ
Fax: (021)288.9245 - Email heliomar@coe.ufrj.br

Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte [2]
Universidade Federal do Rio de Janeiro
COPPE - Programa de Engenharia Elétrica
P.O. Box 68504 CEP 21945 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
FAX: +55 21 290.6626 Email: otto@coe.ufrj.br

Resumo

Este trabalho propõe e analisa o desempenho de um esquema de recuperação de erros adequado para comunicações de dados ponto-a-multiponto via satélite, a altas velocidades. Sua idéia chave é usar apenas retransmissão contínua, para minimizar o processamento requerido, principalmente no transmissor, e armazenar mensagens corretas recebidas após a recepção de mensagens erradas, para maximizar o rendimento. Esse armazenamento das mensagens em avanço reduz bastante a carga de processamento do transmissor, pois diminui consideravelmente, em relação a outros protocolos de retransmissão contínua, o número de retransmissões que o mesmo tem que fazer. A maior contribuição deste artigo é um protocolo relativamente fácil de implementar e que apresenta um bom rendimento em certas condições de taxa de erros e número de receptores. Os resultados numéricos mostram que o protocolo proposto supera os melhores resultados conhecidos para esquemas de retransmissão contínua ponto-a-multiponto. Para um ambiente com muitos receptores, o seu rendimento supera, para uma larga faixa de taxas de erros binários, o desempenho de um conhecido protocolo de retransmissão seletiva ponto-a-multiponto.

Abstract

This work proposes and analyses the performance of an error recovery scheme suitable for high speed satellite data communications. Its key idea is to use continuous retransmission (GB(N) retransmission) in order to reduce the required processing load, mainly in the transmitter, and, in order to improve the throughput efficiency, to store the errorless messages, among those sent in advance, received after an error detection. The main contribuition of this paper is a protocol that is relatively easy to implement and presents a good performance under a wide range of conditions. It is shown that the proposed protocol throughput efficiency is better than the best known multipoint GB(N) scheme results. In addition, in environments with a large number of receivers, it outperforms a known multipoint selective repeat protocol, under a wide range of bit error rate.

---

[1] Doutorando em Engenharia Elétrica, na COPPE/UFRJ.

[2] atualmente em pós-doutorado no Laboratoire MASI - Equipe Réseau et Performance
Université Pierre et Marie Curie, 4 Place Jussieu - 75252 Paris Cedex 05 - France
Fax: +33 1 44.27.62.86 Email: duarte@masi.ibp.fr

1 Introdução

Além de apresentar consideráveis bandas passantes, as comunicações via satélite têm a importante propriedade de poder proporcionar conexão ponto-a-multiponto envolvendo estações distribuídas geograficamente e distantes milhares de quilômetros uma das outras. Assim, uma única transmissão de uma estação emissora pode ser recebida simultaneamente por várias estações destinatárias. Entretanto, na maioria dos sistemas de comunicação, quando as mensagens são transmitidas via satélite, o enlace é tratado tipicamente como um enlace ponto-a-ponto. Parte das razões para não utilização plena da capacidade ponto-a-multiponto do ambiente de satélite deve-se ao fato de que as aplicações multiponto são relativamente pouco difundidas e à existência de poucas estratégias de controle de erros e controle de fluxo para enlaces ponto-a-multiponto.

Avanços recentes nas tecnologias de transmissão digital e VLSI, permitirão em poucos anos redes de altas velocidades com banda passante de centenas de Mbps. Uma das principais limitações do desempenho dos protocolos nas comunicações de dados a altas velocidades é o tempo envolvido no processamento de complexos mecanismos de recuperação de erros. O desenvolvimento de um protocolo fim-a-fim eficiente para esse ambiente deve levar em conta a simplicidade do seu mecanismo de correção de erros. Nas comunicações ponto a multiponto, o transmissor tem que tratar reconhecimentos de vários receptores, o que aumenta a sua carga de processamento. Assim, um protocolo para tal ambiente, deve procurar evitar o aumento de carga do transmissor.

Para resolver o problema dos tempos envolvidos no processamento das mensagens, mecanismos de sistemas operacionais dedicados [1] e integração do protocolo em VLSI [2] têm sido propostos. Outra alternativa para superar essa limitação envolve a proposição de protocolos com mecanismos simples de recuperação de erros [3].

As técnicas de recuperação de erros por retransmissão podem ser classificadas em três métodos básicos: retransmissão pára-e-espera (SW - *Stop and Wait*); retransmissão contínua (GB(N) - *Go Back-N*) e retransmissão seletiva (SR - *Selective Repeat*). A retransmissão pára-e-espera é a mais simples de implementar, mas é Bastante ineficiente, especialmente em comunicações onde o tempo de transmissão de uma mensagem é muito menor que o tempo de propagação, tal como ocorre no ambiente de satélite, a partir de médias velocidades, e em comunicações terrestres a altas velocidades. A retransmissão seletiva é a que apresenta o melhor rendimento, mas é a de maior complexidade de implementação e exige grandes recursos de memória e de processamento. Quanto maior o número de mensagens que podem ser transmitidas entre a emissão de uma mensagem e a recepção do seu reconhecimento, mais ineficiente é o pára-e-espera e maiores recursos exige a retransmissão seletiva.

Na retransmissão contínua convencional, o receptor ao detectar uma mensagem errada pede a retransmissão dessa mensagem e descarta todas as mensagens que aparecem fora de sequência, transmitidas em antecipação ao reconhecimento da mensagem que foi recebida com erro. O transmissor, por sua vez, ao receber o pedido de retransmissão reenvia a mensagem solicitada e todas aquelas enviadas em avanço. A necessidade de uso de mecanismos simples de recuperação de erros aponta para o uso de retransmissão contínua [4].

Diversas extensões do esquema de retransmissão contínua ponto-a-ponto foram propostas e avaliadas para o ambiente ponto-a-multiponto [5, 6, 7, 8, 9]

Este artigo apresenta e analisa o desempenho de um protocolo para comunicações de dados ponto-a-multiponto via satélite a altas velocidades, de simples implementação e baixa carga de processamento. A estratégia proposta, uma extensão do protocolo ponto-a-ponto REJ Estendido

[10], evita transbordos de memória e reduz o efeito do número de mensagens enviadas em avanço, S, tornando-o adequado para quaisquer sistemas onde o tempo de propagação do canal é longo em relação ao tempo de transmissão de uma mensagem. O esquema requer uma memória para $S+1$ mensagens no transmissor e nos receptores.

Inicialmente, descreve-se o modelo matemático, baseado em processos semi-Markovianos de parâmetro discreto, utilizado para analisar o desempenho da da estratégia proposta. Uma descrição do protocolo proposto é apresentada na seção 3. Em seguida, é analisado o seu desempenho. Os resultados numéricos, apresentados e discutidos na seção 4 a seguir, mostram um melhor desempenho da estratégia proposta em relacão aos melhores resultados conhecidos para esquemas de retransmissão contínua ponto-a-multiponto, para qualquer taxa de erro e qualquer número de receptores e, para situações com muitos receptores e uma larga faixa de taxa de erros, um melhor rendimento do que o esquema de retransmissão seletiva de Towsley e Mithal [11], quando este usa uma cópia nas retransmissões e memória para $2.S+1$ mensagens no transmissor e para $S+1$ nos receptores. Por último, as principais conclusões deste trabalho são apresentadas.

2 Modelo Matemático

Uma mensagem é dita transferida para um receptor quando ela é recebida corretamente e pode ser imediatamente liberada para o usuário. Isto é, quando ela e as anteriores tiverem sido recebidas corretamente. Uma mensagem é dita transferida para o conjunto de receptores, ou simplesmente transferida, quando tiver sido transferida para todos os receptores

O rendimento é a relação entre o número de mensagens transferidas para conjunto de receptores e o número total de mensagens transmitidas e retransmitidas.

Para calcular o rendimento da estratégia proposta, definem-se estados para o conjunto de receptores, de acordo com a existência de procedimento de recuperação de erros em pelo menos um deles, e calcula-se a probabilidade desse conjunto estar em cada estado, bem como o rendimento do protocolo em cada um dos estados.

O rendimento do protocolo será obtido pela média ponderada dos rendimentos em cada estado, onde os pesos são as probabilidades do conjunto de receptores estar no respectivo estado. Por sua vez, essas probabilidades dependem das probabilidades condicionais de transição de um estado para outro e dos tempos de espera nesses estados.

Para calcular as probabilidades do conjunto de receptores se encontrar em cada estado, modela-se seu comportamento por um processo semi-Markoviano de parâmetro discreto [12], cuja sequência de de estados é representada por

$$X(0), X(1), X(2), X(3), \ldots, X(n), X(n+1), \ldots$$

onde $X(n), n = 0, 1, 2, \ldots$, é uma variável aleatória que indica o estado do conjunto de receptores após a recepção da n-ésima mensagem.

Ao longo deste artigo considera-se um ambiente no qual um emissor transmite mensagens em um canal ponto-a-multiponto para M receptores. Os dados são transmitidos em forma de mensagens de informação. Cada mensagem contém:

- um código de redundância cíclica que permite a cada receptor detectar erros de transmissão;

- um número de sequência que identifica unicamente a mensagem e sua posição na sequência de mensagens sendo transmitidas.

Através de canal de retorno separado os receptores enviam reconhecimentos para o transmissor. Se a mensagem de número N(R) é recebida com erro, o receptor envia um pedido de retransmissão (REJ N(R) *reject*) solicitando a retransmissão dessa mensagem e de todas as outras enviadas em avanço. Esta mensagem de controle REJ N(R) reconhece positivamente as mensagens de informação com número de sequência menor do que N(R). Através do reconhecimento positivo (RR N(R) *receiver ready*), os receptores informam que as mensagens de informação com número de sequência menor do que N(R) foram recebidas corretamente.

Na avaliação de desempenho são adotadas as seguintes premissas:

- os reconhecimentos são recebidos sem erros;
- todas as mensagens de informação têm o mesmo comprimento L;
- há sempre uma nova mensagem para ser transmitida no transmissor;
- o número de mensagens enviadas em avanço é constante e igual a S, para todos os receptores ($\frac{R.T}{L} \leq S \leq \frac{R.T}{L} + 1$, onde R é a taxa de transmissão e T, o tempo de propagação (ida e volta));
- a ocorrência de erros nos diversos bites são eventos estatisticamente independentes. Assim, a probabilidade de uma mensagem ser recebida com erro por um dado receptor, denotada por P_{be}, é independente de mensagem para mensagem. Adicionalmente, essa probabilidade é independente de receptor para receptor. A probabilidade de uma mensagem ser recebida corretamente por um receptor é denotada por P_{bc};
- tanto o transmissor e quanto os receptores tem uma memória-tampão para $S+1$ mensagens;

3 O Protocolo

A estratégia proposta é baseada no protocolo ponto-a-ponto REJ Estendido [10] e destinada ao uso em um sistema que assegura que as mensagens deixam cada receptor na mesma ordem que chegam ao transmissor. Sua idéia chave é usar apenas retransmissão contínua, para minimizar o processamento requerido, e armazenar as mensagens recebidas corretamente após o envio de pedido de retransmissão, eliminando assim a necessidade de retransmissão correta dessas mensagens, para maximizar a eficiência do uso do canal. O esquema proposto, ao reduzir bastante o número de retransmissões, diminui consideravelmente a carga de processamento do transmissor.

Ao enviar uma mensagem, o transmissor a mantém em sua memória em uma fila de retransmissão até que ela seja reconhecida positivamente por todos os receptores. Para garantir que toda mensagem é recebida corretamente por todos os receptores, o transmissor mantém uma variável $V_i(R)$ para cada receptor, indicando o número da última mensagem reconhecida positivamente por esse receptor. Assim, $V_i(R) = x$ indica que o receptor i recebeu corretamente as mensagens com número de sequência menor do que x.

Além dessas variáveis, o transmissor mantém duas variáveis globais $VG(S)$ que indica o número da próxima mensagem a ser transmitida e $VG(R)$, que indica a última mensagem transferida para o conjunto de receptores. $VG(R) = \min_i\{V_i(R)\}$. Logo, $VG(R) = y$ indica que as mensagens com número de sequência menor do que y foram transferidas para o conjunto de receptores e que, portanto, podem ser descartadas da fila de retransmissão do transmissor.

Cada receptor ao detectar uma mensagem errada inicia um procedimento de recuperação de erro enviando um REJ N(R), guarda um espaço na sua memória e continua a processar as mensagens enviadas em avanço, armazenando aquelas recebidas corretamente, para liberação posterior. A cada mensagem recebida com erro, entre aquelas enviadas em avanço é deixado um espaço na memória do receptor.

As mensagens correspondentes aos espaços deixados na memória dos receptores são chamadas mensagens $B_{e_i}, 0 \leq i \leq S$. A numeração das mensagens B_{e_i} é feita considerando-se o conjunto de receptores. Isto é, a mensagem B_{e_1} pode corresponder a um espaço deixado na memória do receptor j enquanto que a mensagem B_{e_2} pode corresponder a um espaço deixado na memória do receptor k. Portanto, após o envio do primeiro REJ N(R), que corresponde ao pedido de retransmissão da mensagem B_{e_0}, a primeira mensagem entre aquelas enviadas em avanço recebida com erro por pelo menos um receptor é chamada mensagem B_{e_1}. A segunda recebida com erro é chamada de mensagem B_{e_2}, independentemente do receptor que não a recebeu corretamente. E assim sucessivamente.

Ao receber um REJ N(R) e realizar uma retransmissão contínua, o transmissor ignorará outros pedidos de retransmissão recebidos antes da retransmissão de todas as mensagens enviadas em avanço (em relação à mensagem B_{e_0}). Entretanto, o N(R) contido no REJ N(R) é usado para atualizar a variável $V_i(R)$.

4 A Análise de Desempenho

A estratégia proposta define dois estados para o conjunto de receptores: o estado normal e o estado excepcional.

No estado normal não existe nenhum procedimento de recuperação de erros em andamento (as eventuais mensagens anteriormente recebidas com erro já foram recuperadas) e não existe mensagens armazenadas na memória-tampão de nenhum receptor.

No estado excepcional ou existe um pedido de recuperação em andamento ou existe alguma mensagem armazenada na memória de algum receptor dependendo da recuperação de uma mensagem anterior para poder ser liberada para o usuário.

O conjunto de receptores passa do estado normal para o excepcional quando pelo menos um dos receptores recebe uma mensagem com erro, a mensagem B_{e_0}. Define-se que a transição ocorre no início da recepção dessa mensagem. Adicionalmente, define-se que o estado excepcional tem um ciclo de transmissão e um ou mais ciclos de retransmissão. O ciclo de transmissão corresponde às $S+1$ mensagens recebidas, corretamente ou não, após a transição do estado normal. A cada retransmissão contínua executada em resposta a um REJ B_{e_i} corresponde um ciclo de retransmissão. Cada ciclo de retransmissão termina após a recepção da retransmissão da mensagem de número $B_{e_0} + S$.

Durante o estado excepcional, o conjunto de receptores só armazena as mensagens correspondentes ao ciclo de transmissão. Isto é, as mensagens com número de sequência entre B_{e_0} e

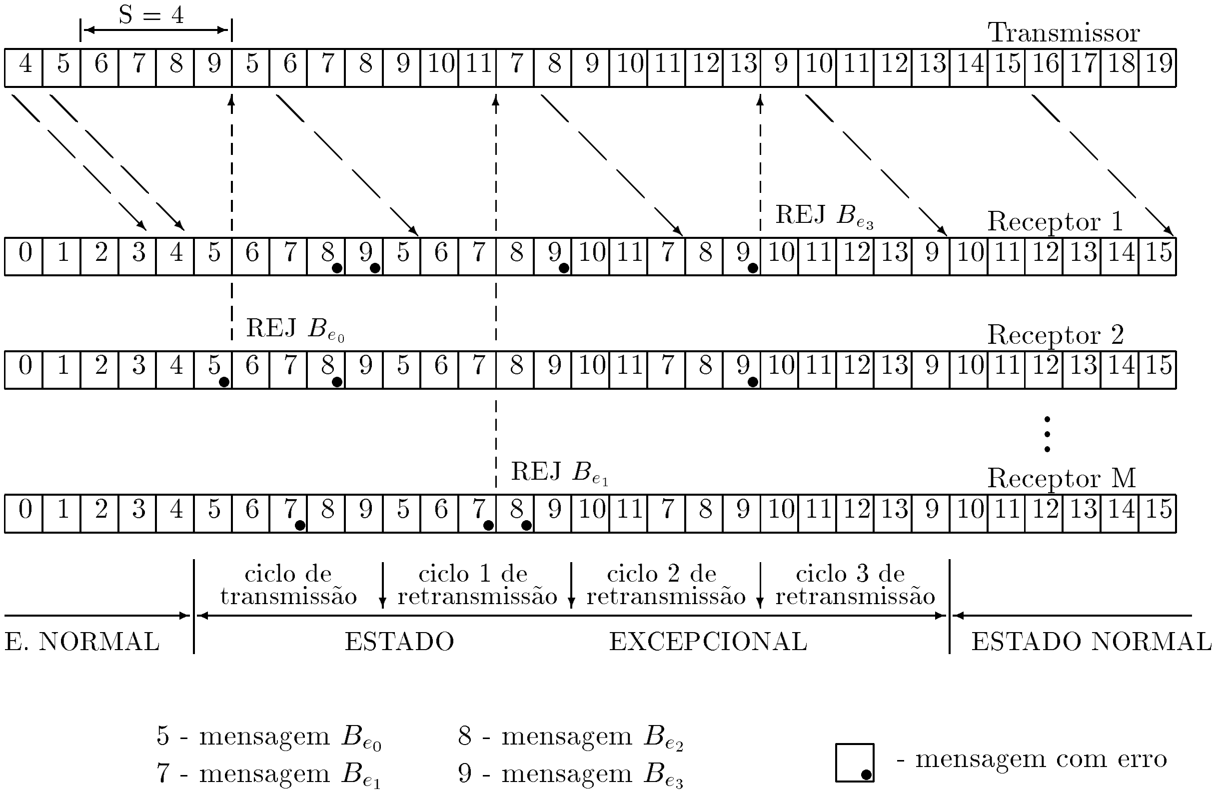


Figura 1 - A estratégia proposta.

$B_{e_0} + S$. Somente após voltar ao estado normal é que os receptores podem armazenar as mensagens de número $B_{e_0} + S + 1$, $B_{e_0} + S + 2, \ldots$. Assim, durante o estado excepcional, são sempre transferidas $S + 1$ mensagens para o conjunto de receptores, as mensagens correspondentes ao primeiro ciclo do estado excepcional, o ciclo de transmissão.

Ao passar para o estado excepcional, o conjunto de receptores permanence neste estado até que todas as mensagens correspondentes ao ciclo de transmissão sejam transferidas para o conjunto de receptores. Isto é, só sai após recuperar todas as mensagens $B_{e_i}, 0 \leq i \leq S$. Se quando a mensagem B_{e_0} for recuperada por todos os receptores a mensagem B_{e_1} não tiver sido recebida corretamente por pelo menos um receptor, estes receptores enviarão pedidos de retransmissão REJ B_{e_1}. O mesmo ocorre com a mensagem B_{e_i} quando as mensagens $B_{e_j}, j < i$, tiverem sido recebidas corretamente por todos os receptores.

A transição do estado excepcional para o normal ocorre após a recepção da retransmissão da mensagem de número $B_{e_0} + S$, no último ciclo de retransmissão. Este último ciclo de retransmissão é aquele no qual é completada a recuperação das mensagens $B_{e_i}, 0 \leq i \leq S$, por todos os receptores.

A Figura 1 ilustra o funcionamento do esquema proposto.

O rendimento da estratégia é dado por:

$$R_e = P(N).R_e(N) + P(E).R_e(E) \tag{1}$$

onde $P(N)$ e $P(E)$ são as probabilidades do conjunto de receptores estar nos estados normal e excepcional e $R_e(N)$ e $R_e(E)$ os rendimentos nos respectivos estados. Como foi definido que a transição para o estado excepcional ocorre imediatamente antes da recepção da mensagem errada, o rendimento do protocolo no estado normal é 1 (1OO %).

Como durante o estado excepcional são transferidas $S+1$ mensagens, tem-se,

$$R_e(E) = \frac{S+1}{E[t_E]} \tag{2}$$

onde $E[t_E]$ é o tempo médio de espera no estado excepcional.

Do estado normal o conjunto de receptores sempre passa para o estado excepcional e deste para o normal (não existem transições virtuais). Portanto, as probabilidades condicionais de transição de um estado para outro são:

$$P(E \mid N) = P(N \mid E) = 1 \tag{3}$$

Usando-se as propriedades do processo semi-Markoviano obtém-se as probabilidades do receptor se encontrar no estados normal e excepcional, em regime estacionário:

$$P(N) = \frac{E[t_N]}{E[t_N] + E[t_E]}. \tag{4}$$

$$P(E) = \frac{E[t_E]}{E[t_N] + E[t_E]}. \tag{5}$$

Substituindo-se as equações 2, 4 e 5 na equação 1 acima obtém-se:

$$R_e = \frac{E[t_N] + S + 1}{E[t_N] + E[t_E]}. \tag{6}$$

O tempo médio de espera no estado normal é dado por :

$$E[t_N] = \sum_{i=0}^{\infty} i.(1 - P_{bc}^M).(P_{bc}^M)^i = \frac{P_{bc}^M}{1 - P_{bc}^M} \tag{7}$$

Substituindo-se esse tempo médio na equação 6 obtém-se:

$$R_e = \frac{P_{bc}^M + (1 - P_{bc}^M).(S+1)}{P_{bc}^M + (1 - P_{bc}^M).E[t_E]}. \tag{8}$$

O tempo médio de espera no estado excepcional é dado por:

$$E[t_E] = (1 + E[n_e]).(S+1). \tag{9}$$

onde $E[n_e]$ é o número médio de ciclos de retransmissão.

Seja p_0, a probabilidade de uma mensagem ser recebida corretamente por todos os M receptores em uma única transmissão. Então

$$p_0 = P_{bc}^M \tag{10}$$

Seja p_i, a probabilidade de uma mensagem enviada em avanço ser recebida sem erro por todos os receptores após i ciclos de retransmissão no estado excepcional. Então

$$p_i = (1 - P_{be}^{i+1})^M \tag{11}$$

Seja p_{n_i}, a probabilidade de uma mensagem enviada em avanço ser recebida sem erro por todos os receptores, após i ciclos de retransmissão no estado excepcional. Não é difícil mostrar que:

$$p_{n_i} = \frac{(1 - P_{be}^{i+1})^M - P_{bc}^M}{1 - P_{bc}^M}. \tag{12}$$

Seja n_i, o ciclo de retransmissão no qual são completadas as transferências, para o conjunto de receptores, das $S + 1$ mensagens do ciclo de transmissão. Então

$$Pr\{n_i \leq j\} = p_j^S . p_{n_j}. \tag{13}$$

A probabilidade dessas transferências serem completadas no ciclo j, dado que no ciclo $j - 1$ pelo menos uma mensagem não havia sido recebida por todos os receptores é dado por

$$Pr\{n_i = j\} = Pr\{n_i \leq j\} - Pr\{n_i \leq j - 1\}. \tag{14}$$

Não é difícil mostrar que

$$E[n_e] = \sum_{j=1}^{\infty} j.Pr\{n_i = j\} \tag{15}$$

Assim,

$$E[n_e] = \sum_{j=1}^{\infty} j. \left((1 - P_{be}^{j+1})^{M.S} . \frac{(1 - P_{be}^{j+1})^M - P_{bc}^M}{1 - P_{bc}^M} - (1 - P_{be}^{j})^{M.S} . \frac{(1 - P_{be}^{j})^M - P_{bc}^M}{1 - P_{bc}^M} \right). \tag{16}$$

5 Resultados Numéricos

A Figura 2 mostra o rendimento da nova estratégia para comunicações via satélite a 10 Mbps, $S = 1024$ e $L = 6.800$ bites, para diversos números de receptores, $M = 1, 3, 9$ e 27. Observa-se que o rendimento da nova estratégia varia relativamente pouco com o aumento do número de receptores.

A Figura 3 mostra, para comunicação via satélite a 10 Mbps, com $M = 100$, $S = 1024$ e $L = 6800$ bites, uma comparação dos rendimentos da estratégia proposta, do protocolo de retransmissão seletiva de Towsley e Mithal [11], quando este usa uma cópia nas retransmissões ($n_1 = 1$) e memória para $2.S + 1$ mensagens no transmissor e $S + 1$ nos receptores ($q = 1$),

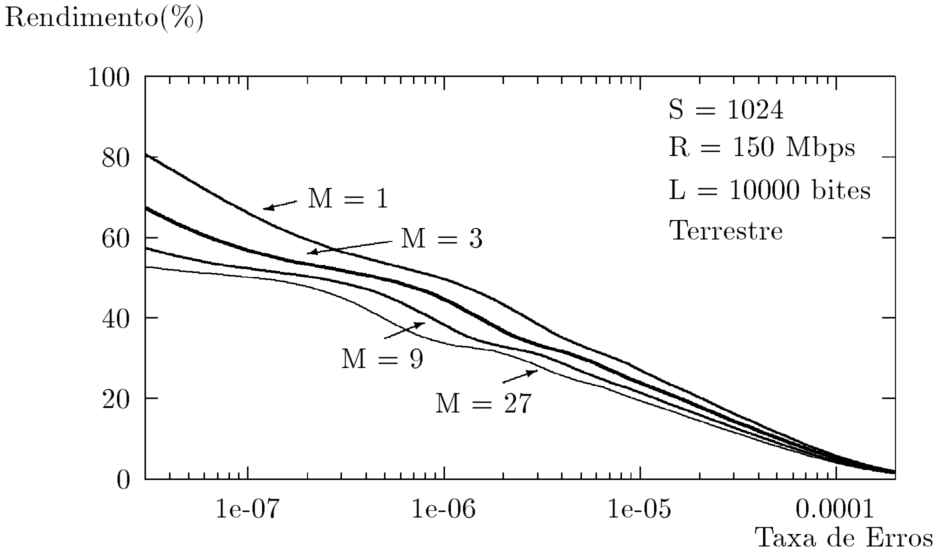


Figura 2 - Rendimento do novo esquema, para vários números de receptores

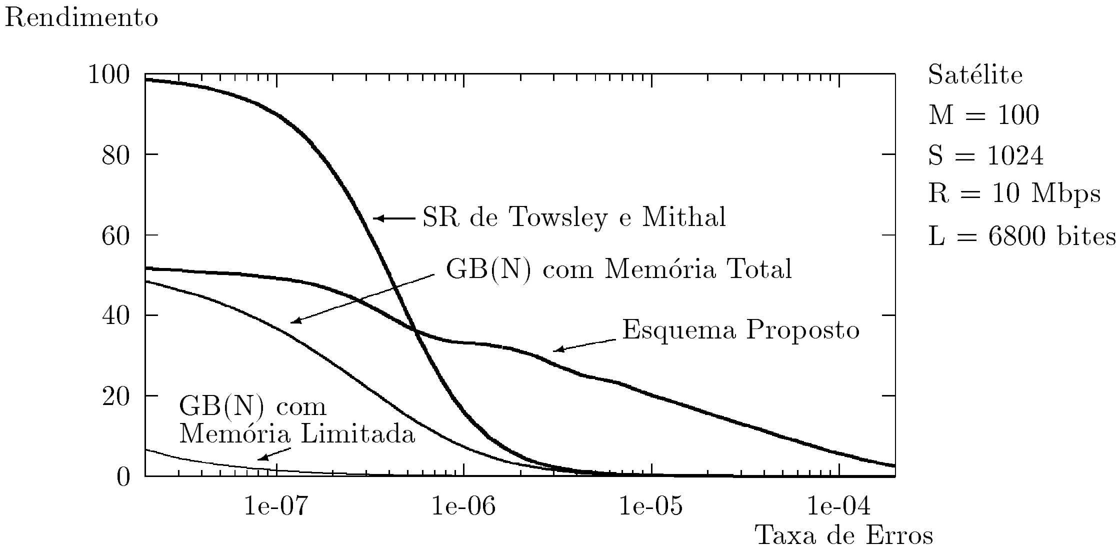
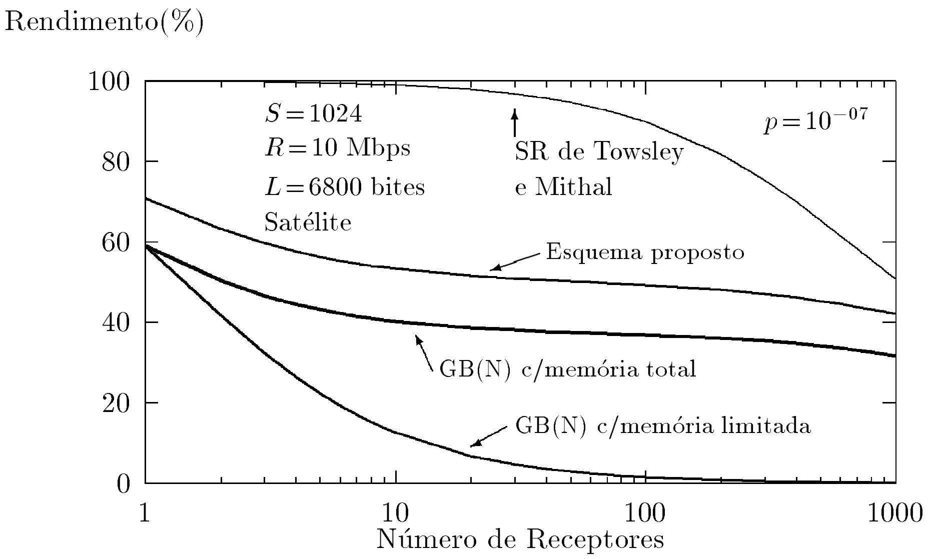


Figura 3 - Rendimento do Novo Esquema, dos GB(N) de Gopal e do SR de Towsley e Mithal



e dos esquemas de retransmissão contínua de Gopal: o GB(N) com memória limitada (*limited memory GB(N)*) e o GB(N) com memória total (*full memory GB(N)*) [5], este o melhor resultado conhecido para um esquema de retransmissão contínua ponto-a-multiponto. Verifica-se que o protocolo proposto apresenta rendimento superior aos dos outros esquemas de retransmissão contínua. Observa-se ainda que, para taxas de erros binários maiores do que $6\,\mathrm{x}10^{-7}$, a nova estratégia apresenta inclusive uma melhora de rendimento em relação ao esquema SR de Towsley e Mithal, chegando essa melhora a alcançar cerca de 26% quando a taxa de erros binários é da ordem de $2\,\mathrm{x}10^{-6}$.

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam, para comunicações via satélite a 10 Mbps com $S = 1024$ e $L = 6800$ bites, curvas de rendimento dos protocolos acima em função do número de receptores, para taxas de erros binários de 10^{-7}, 10^{-6} e 10^{-5}, respectivamente. Nas três figuras verifica-se que a estratégia proposta é a menos sensível ao aumento do número de receptores. Para taxa de erro de 10^{-6}, a Figura 5 mostra que o esquema proposto, além de superar os outros protocolos de retransmissão contínua, apresenta melhor rendimento do que o esquema SR de Towsley e Mithal ($q = 1$ e $n_1 = 1$) quando a comunicação se dá com mais de 37 receptores. A Figura 6 mostra que para taxa de erros de 10^{-5}, o protocolo proposto supera inclusive o citado esquema de retransmissão seletiva, qualquer que seja o número de receptores. Para 100 receptores, por exemplo, o seu rendimento é 20% enquanto que os outros protocolos apresentam rendimento inferior a 1%. Nestas condições, a estratégia proposta pode transmitir uma massa de dados de 300 Megaoctetos para 100 receptores em cerca de 20 minutos. Se essa mesma massa de dados fosse transmitida em ligaçoes ponto-a-ponto, mesmo usando o protocolo SR ideal não se gastaria menos de 7 horas de transmissão.

A Figura 7 mostra, para comunicação via satélite a 96 Kbps, com $L = 8.000$ bites, $S = 8$ e uma taxa de erro de 10^{-6}, uma comparação dos rendimentos da estratégia proposta e de outros esquemas de retransmissão contínua, em função do número de receptores. Foi incluido também o rendimento do protocolo de retransmissão seletiva "ideal" [5], que é o máximo possível que se pode obter em uma comunicação ponto a multiponto usando-se correção por retransmissão. Constata-se que, para muitos receptores, o novo esquema apresenta desempenho bastante próximo ao do protocolo de retransmissão seletiva "ideal".

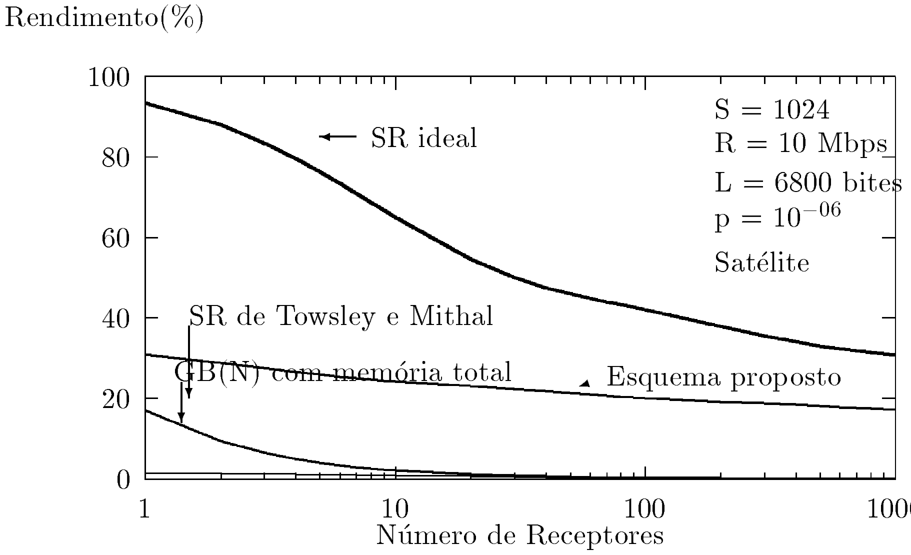


Figura 5 - Rendimento da nova estratégia, dos GB(N) de Gopal e do SR Towsley/Mithal

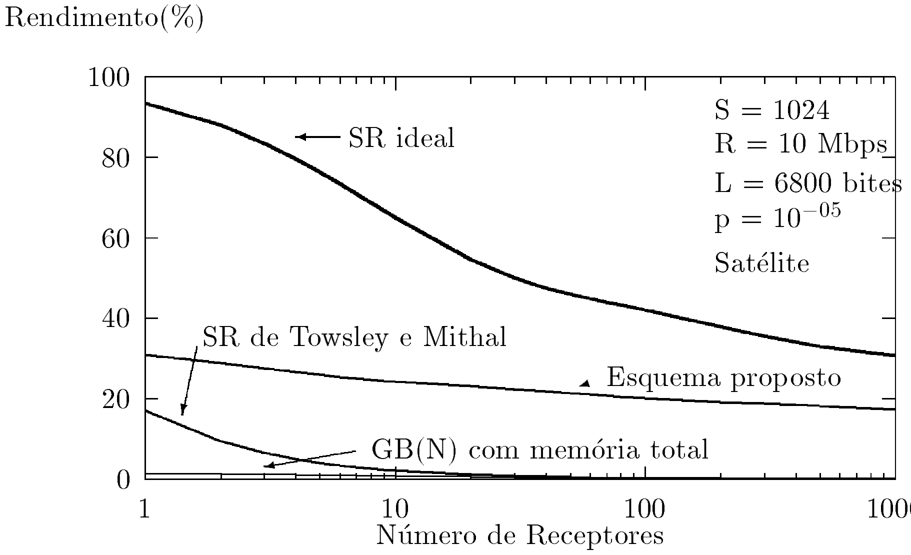


Figura 6 - Rendimento da nova estratégia, dos GB(N) de Gopal e do SR Towsley/Mithal

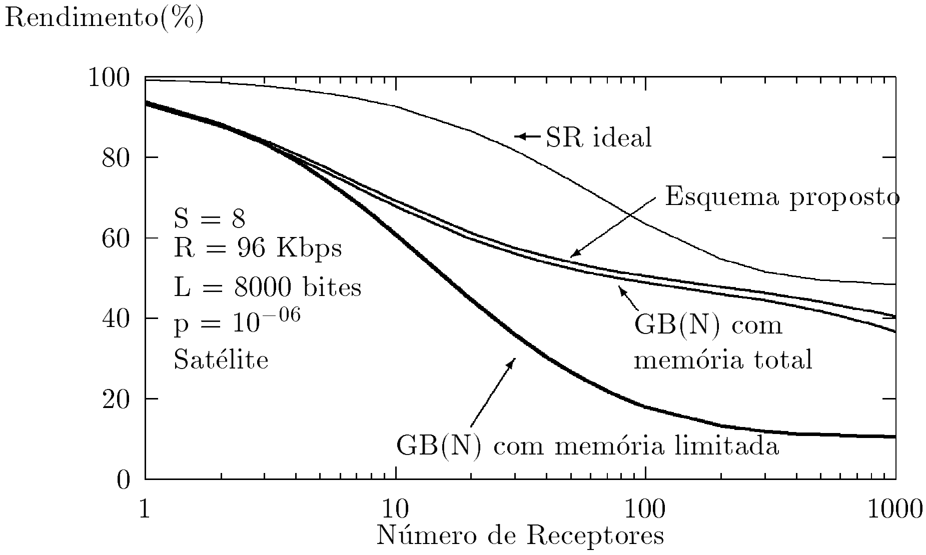


Figura 7 - Rendimento da nova estratégia, dos GB(N) de Gopal e do SR ideal

Os rendimentos das estratégias citadas acima, considerando comunicação via terrestre a 150 Mbps com $S = 1024$, $L = 10.000$ bites e taxas de erros de 10^{-7} e 10^{-6} apresentam resultados bastante semelhantes aqueles mostrados nas Figuras 4 e 5, respectivamente, para comunicações via satélite a 10 Mbps.

6 Conclusão

Neste artigo apresentou-se e analisou-se o desempenho de um novo protocolo de retransmissão contínua para uso em transmissões ponto-a-multiponto, em comunicações via satélite a partir de médias velocidades e em comunicações terrestres a altas velocidades.

Os resultados obtidos são consideravelmente superiores aos resultados conhecidos para esquemas de retransmissão contínua. Seu rendimento apresenta uma melhora de até 32% em relação ao esquema de retransmissão contínua com memória total [5].

A estratégia proposta evita transbordos de memória e reduz o efeito de grandes números de mensagens em trânsito no canal, tal como ocorre em comunicações onde o tempo de transmissão de uma mensagem é muito menor do que o tempo de ida e volta da comunicação.

Foi mostrado que para ambientes com um grande número de receptores, para uma larga faixa de taxa de erros, o rendimento do esquema proposto supera o desempenho de um conhecido protocolo de retransmissão seletiva "não ideal". Além disso, para certas taxas de erros e considerável número de receptores, alcança um rendimento próximo do máximo que é possível obter-se com correção por retransmissão.

Os resultados obtidos são incentivadores quanto ao uso desta estratégia para transmissão ponto-a-multiponto, em comunicação de dados a altas velocidades, onde o processamento dos mecanismos de retransmissão seletiva possa ser um limitante do desempenho do protocolo.

Referências

[1] L. F. Baginski e O. C. M. B. Duarte, "Um modelo de implementação de alto desempenho para sistemas abertos", in *IX Congresso da Sociedade Brasileira de Telecomunicações*, São Paulo, SP, pp. 19.3.1–19.3.5, setembro 1991.

[2] G. Chesson, "The evolution of XTP", in *Proceeding of Third IFIP WG 6.4 Conference on High Speed Networking*, Berlin, pp. 15–24, março 1991.

[3] A. N. Netravali, W. D. Roome e K. Sabnani, "Design and implementation of a high-speed transport protocol", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-38, no. 11, pp. 2010–2023, novembro 1990.

[4] W. A. Doeringer, D. Dykeman, M.Kaiserwerth, B. W. Meister, H. Rudin e R. Williamson, "A survey of light-weight transport protocol for high-speed networks", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-38, no. 11, pp. 2025–2038, novembro 1990.

[5] I. S. Gopal e J. M. Jaffe, "Point-to-multipoint link control protocols for satellites", in *IFIP TC 6 International Symposium on Satellite and Computer Communications*, Versailles, FR, pp. 325–339, abril 1983.

[6] D. Towsley, "An analysis of a point-to-multipoint channel using a go-back-n error control protocol", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-33, no. 3, pp. 282–288, março 1985.

[7] K. Mase, T. Takenaka, H. Yamamoto e M. Shinohara, "Go-Back-N ARQ schemes for point-to-multipoint satellite communications", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-31, no. 4, pp. 583–589, abril 1983.

[8] Y. D. Yao e S. X. Cheng, "An ARQ scheme for point-to-multipoint satellite communication systems", in *IEEE International Conference on Communications INFOCOM'87*, San Francisco, CA, pp. 527–532, abril 1987.

[9] K. Sabnani e M. Schwartz, "Multidestination protocols for satellite broadcast channels", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-33, no. 3, pp. 232–240, março 1985.

[10] H. M. de Lima e O. C. M. B. Duarte, "Um protocolo de retransmissão contínua para comunicação de dados a alta velocidade", in *V Simpósio Brasileiro de Microondas e X Simpósio Brasileiro de Telecomunicações TELEMO92*, Brasília, DF, pp. 439–444, julho 1992.

[11] D. Towsley e S. Mithal, "A selective repeat ARQ protocol for a point to multipoint channel", in *IEEE International Conference on Communications INFOCOM'87*, San Francisco, CA, pp. 521–526, abril 1987.

[12] R. A. Howard, *Dynamic Probabilistic Systems*. John Wiley and Sons, 1971.