

Um Mecanismo de Retransmissão Eficiente para Multicast

Carlos de M. Cordeiro¹, Djamel H. Sadok and Judith Kelner
Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco
Caixa Postal: 7851 - Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil
{cmc,jamel,jk1@di.ufpe.br

Resumo

Um dos mecanismos determinantes para a eficiência de um protocolo multicast confiável é sua técnica de retransmissão. Os protocolos hoje existentes adotam um mecanismo estático de retransmissão (unicast ou multicast) resultando, quase sempre, num baixo desempenho e numa má utilização dos recursos da rede. Neste artigo será feita uma análise das duas principais formas de retransmissão empregadas nos principais protocolos multicast propostos até o momento, levando-se em consideração a topologia da rede, a quantidade de usuários e o tipo de usuário (fixo ou móvel). A partir disso, chegaremos a resultados precisos quanto a melhor forma de se retransmitir um pacote frente às características dinâmicas de um grupo multicast; esta retransmissão levará em consideração tanto a carga na rede quanto a carga de pacotes duplicados. Por fim, este mecanismo foi implementado num protocolo multicast confiável projetado tanto para ambientes fixos quanto para móveis, chamado de Reliable Mobile Multicast (RM2), e seu desempenho será aqui analisado.

Abstract

An important efficiency factor for reliable multicast protocols is the way they handle retransmissions. Furthermore, packet retransmission overload requires careful continuous monitoring and control specially when considering the limited bandwidth resources wireless interfaces currently offer. Existing multicast protocols adopt a static packet retransmission scheme (unicast or multicast) often leading to performance loss due to wasting bandwidth resources. This paper looks at solutions to the retransmission problem while taking into consideration network topology and the number of fixed and mobile users. Precise conditions and rules for packet retransmission are set taking into account the dynamics of the network state. Finally, this algorithm has been incorporated into a reliable multicast protocol with support to mobile users, known as the reliable mobile multicast protocol (RM2) for performance analysis.

1. Introdução

Multicast é um mecanismo eficiente de se disseminar informação de um usuário para um grupo de receptores. Neste modo de comunicação, o transmissor envia um **datagrama** e a rede é responsável por entregar o mesmo aos múltiplos destinos. Diversas aplicações podem ser implementadas com o uso de multicast, como, por exemplo, a descoberta de serviços, a atualização de banco de dados distribuídos, divulgação de informações sobre o tempo e

¹ Aluno de pós-graduação em Ciência da Computação

quando o receptor é móvel. Na maioria dos casos houve uma sobrecarga de mais de 100%, o que é inaceitável para hosts móveis. Por outro lado, o mecanismo dinâmico de retransmissão do RM2 apresentou uma sobrecarga de, no máximo, 20%, ao mesmo tempo que manteve a carga na rede e no enlace sem fio sob patamares aceitáveis.

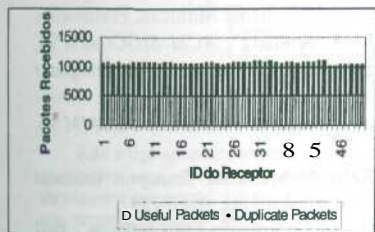


Figura 11 - Quantidade de pacotes duplicados no SRM

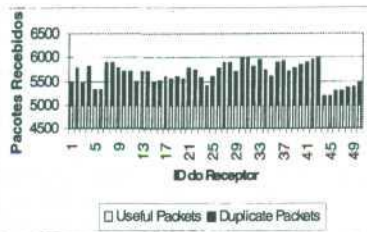


Figura 12 - Quantidade de pacotes duplicados no RM2

A utilização do mecanismo de *subcasting* implementada no RM2 juntamente com o mecanismo dinâmico de retransmissão faz com que tenhamos certos subgrupos onde as retransmissões são feitas por unicast e outros por multicast. Estas diferenças explicam porque temos certos grupos de usuários recebendo mais pacotes duplicados enquanto outros recebem poucos ou nenhum.

Em vista dos fatos mostrados, vemos que o mecanismo de adaptação se mostrou altamente eficiente, respeitando sempre a capacidade do enlace sem fio, de tal forma que receptores móveis não tenham seus recursos de acesso à rede esgotados por retransmissões.

8. Conclusões

A adoção de uma só política de retransmissão, prática adotada pela grande maioria dos protocolos multicast confiáveis, se mostra bastante ineficiente quanto ao uso dos recursos da rede, bem como quanto ao desempenho de um protocolo. Este artigo mostrou, através de um modelo analítico e sua posterior validação por simulação, que é possível especificar restrições as quais os mecanismos de retransmissões devem respeitar. Baseado nisso, obtém-se um melhor compromisso entre custo e desempenho.

Como estudo de caso do modelo de retransmissão, destacamos o RM2. O RM2 é um protocolo multicast confiável que suporta tanto usuários fixos quanto móveis. Inicialmente, validamos o modelo analítico através de simulação. Em seguida, foi efetuada uma comparação entre o RM2 e o SRM a qual confirmou o alto desempenho do primeiro em relação ao segundo. Foi realizado ainda uma análise que mostra o comportamento do RM2 frente às restrições impostas (R1 e R2), tornando possível, assim, configurar o protocolo uma vez que sabemos sobre seu comportamento futuro.

Entendemos que os protocolos multicast confiáveis atuais necessitam se concentrar no projeto de mecanismos de retransmissão que levem em consideração requisitos como custo na rede e desempenho. Estes devem ser expressos através de modelos e posteriormente validados. O mecanismo desenvolvido neste artigo vem a preencher esta lacuna e servir como base para outras pesquisas na área.

7.3.1 Utilização do Enlace Sem Fio

Um principal requisito para um protocolo projetado para um meio de comunicação sem fio, é que o mesmo não esgote toda a largura de banda do enlace, deixando, assim, o dispositivo móvel sem quaisquer possibilidades de outro tipo de comunicação com a rede fixa. A partir disso, vamos analisar qual foi a taxa de utilização média de todos os enlaces sem fio, tanto no **SRM**, quanto no **RM2**. A figura 10 ilustra a utilização dos enlaces durante o tempo de simulação.

Como podemos ver através da figura 10, devido ao fato de ser projetado para o meio fixo e de sempre **retransmitir** os pacotes perdidos por multicast, o **SRM** possui uma alta utilização dos enlaces sem fio, o que vem a trazer prejuízos ao host móvel, visto que o mesmo ficará impossibilitado de estabelecer novas conexões com a rede fixa. Em determinados pontos, como podemos observar, o **SRM** utiliza quase 80% da capacidade do enlace sem fio.



Figura 10 - Utilização do enlace sem fio no SRM e no RM2

Em contrapartida, o **RM2**, baseado nas restrições 1 (R1) e 2 (R2), tem um comportamento muito mais adequado frente a utilização do meio sem fio. Quando a ocupação do enlace ultrapassa 20%, valor configurado para o parâmetro p , o **RM2** dispara ações (vide seção 5) com o objetivo de conter o crescimento desta utilização. Assim, o **RM2** possibilita que o host móvel estabeleça novas conexões com a rede fixa, mesmo durante uma comunicação multicast, o que seria difícil com o **SRM**.

A partir dos dados de simulação, observamos que a ocupação média dos enlaces sem fio no **SRM** foi de 50%, e no **RM2** foi de, apenas, 16%. Vemos assim que o **RM2** tem um alto poder de adaptação e de parametrização, fazendo com que se possa definir como o protocolo deverá se comportar frente à utilização dos enlaces que, neste caso, foram sem fio, mas que também poderiam ser com fio. Isto se torna possível graças ao sofisticado esquema de retransmissão implementado no **RM2**.

7.3.2 Pacotes Duplicados

4

A figura 11 mostra, no caso do **SRM**, a quantidade de réplicas recebidas por cada receptor para a simulação em questão. A figura 12 apresenta o mesmo gráfico, só que usando o **RM2**.

Para cada receptor, as figuras em questão ilustram as quantidades de pacotes úteis e de réplicas. Em ambos os casos, todos os pacotes enviados pelo transmissor foram recebidos pelos receptores, contudo houve uma grande diferença na quantidade de réplicas recebidas. Uma vez que o **SRM** sempre usa o multicast como mecanismo de retransmissão, os receptores observam um alto número de pacotes duplicados, o que vem a se transformar num alto custo

Neste primeiro cenário (figura 8), vamos deixar o número de usuários móveis constante ($N_M = 10$) e variar apenas o número de usuários fixos.



Figura 8 - O impacto dos hosts fixos

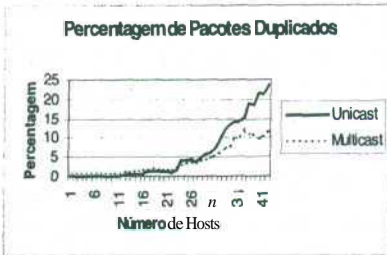


Figura 9 - O impacto dos hosts móveis

Como podemos ver (figura 8), a carga de duplicados unicast, que inicialmente é menor que a do multicast, sofre um aumento com o acréscimo na quantidade de usuários fixos da rede, ultrapassando assim a carga do multicast. O comportamento da carga, neste caso, possui a mesma tendência e a mesma ordem de grandeza daquele mostrado na figura 3. Vemos que a partir de aproximadamente 3% de sobrecarga, o mecanismo de retransmissão poderia eventualmente mudar de política, caso as restrições - R1 e R2 - fossem respeitadas. Os resultados obtidos acima servem para constatar a validade do nosso modelo analítico.

Dando seqüência à validação do modelo analítico, passemos agora ao estudo de uma questão fundamental para o modelo de retransmissão, qual seja: o impacto que os hosts móveis possuem na sobrecarga da rede. Para isso, fixamos a quantidade de usuários fixos na rede em 10 ($N_F = 10$) e variamos a quantidade de usuários móveis. A figura 9 ilustra o resultado deste estudo.

Comparando com a figura 8, vemos que a influência dos hosts móveis na carga de duplicados é bem maior que a dos hosts fixos. Quando temos 50 usuários fixos no grupo o percentual de carga extra quando em modo unicast é de, aproximadamente, 5%, em contrapartida aos 25%, quando todos os 50 usuários são móveis. É importante notar que, quando em modo de retransmissão multicast, a carga extra, para estes mesmos 50 usuários, fica em torno de 3% para fixos e 12% para móveis, mostrando assim a importância de uma mudança de política assim que se torne vantajoso o uso de multicast.

Ao lado disso, contrastando a figura 9 com a figura 4 vemos que os resultados obtidos por simulação possuem os mesmos comportamento e tendência dos obtidos analiticamente, o que serve para validar nosso modelo.

7.3 Comparação com o SRM

Neste seção, faremos algumas comparações entre o RM2 e o protocolo SRM, descrito na seção sobre o estado da arte, dando ênfase ao estudo da influência do mecanismo de retransmissão. A escolha pelo SRM se deve a dois motivos principais. Primeiro: o SRM já está implementado no ns-2 e; segundo: o SRM é um protocolo amplamente conhecido e citado na literatura sobre multicast confiável.

A partir deste ponto, as simulações foram conduzidas utilizando-se o mecanismo de retransmissão o qual validamos anteriormente. Para isso, foi escolhido o valor $p = 20\%$ como limite da restrição 1 (R1), que por sua vez limita a sobrecarga imposta ao enlace sem fio. A partir disso, vamos analisar a influência deste mecanismo sobre algumas medidas de alta importância para multicast.

através de um link de rádio de 14 Kbps e um atraso de 50ms. Estes valores são típicos tanto de uma rede fixa, como de uma móvel. O transmissor do multicast (TR) está ligado a um roteador multicast como indicado na figura 6. Ainda nesta figura, os RSs estão ligados a roteadores em diferentes ramos da árvore, fazendo com que tenhamos subgrupos com endereços de **retransmissão** (*subcasting address*) próprios. É importante notar que mesmo com o uso de qualquer outra topologia, os resultados de simulação serão similares aos apresentados aqui, visto que as **retransmissões** estão sempre confinadas a subgrupos criados dinamicamente e sob a responsabilidade dos RSs.

Todos os links possuem, ainda, uma fila em cada direção, capazes de armazenar até 50 pacotes, que é o valor default do ns-2. A política de fila utilizada é **FIFO**. As tabelas de **roteamento** foram calculadas usando-se o algoritmo **DVMRP** (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*), que já está implementado no ns-2. Quanto ao protocolo de gerencia de grupos e de endereçamento IP, foi utilizado o suporte do **IGMP** e do IP Móvel, que também se encontram implementados no ns-2.

Para todas as iterações da simulação, utilizamos pacotes de 1 KB e simulamos a transferência de um arquivo de tamanho 5000 KB (5000 pacotes) por uma fonte de tráfego CBR, que transmite a uma taxa de 64 Kbps. A simulação é executada por um total de 30 unidades de simulação. Achamos que esta configuração é suficiente para tirarmos conclusões adequadas sobre o mecanismo de retransmissão.

7. Resultados da Simulação

7.1 Carga na Rede

A figura 7 destaca a carga na rede obtida por simulação. O gráfico mostra, juntamente com o volume de transmissão, o comportamento da carga à medida que se aumenta a quantidade de pedidos por retransmissão. A figura 2 (vide retro) mostra a carga do ponto de vista analítico. Observe que os resultados obtidos via simulação possuem a mesma tendência dos obtidos analiticamente, validando assim o modelo.



Figura 7 - Carga na rede obtida via simulação

7.2 Analisando a Carga de Pacotes Duplicados

Seguindo a mesma metodologia definida no modelo analítico, estudaremos, nesta seção, o impacto dos hosts fixos e móveis na carga extra de pacotes duplicados existentes na rede. Esta carga extra existe devido aos diversos pedidos por retransmissão pelos diversos usuários do grupo, e tende a aumentar quanto maior for a quantidade de usuários móveis no grupo.

Uma vez que foi constatado pela restrição R1 que o modo de retransmissão será por multicast, devemos agora verificar a sobrecarga na rede gerada por este multicast. Este fato é ilustrado pela equação (xiii). Caso (xiii) seja avaliada para verdadeiro, nenhuma ação adicional será tomada pelo RM2. Por outro lado, caso (xiii) seja avaliada para falso, implica que estamos com uma situação delicada tanto com respeito a R1 quanto a R2. O protocolo RM2 especifica que, frente a esta situação, uma mensagem REDUCE_FLOW deve ser enviada ao transmissor, sinalizando para que o mesmo diminua a taxa de transmissão. Isto é feito com vistas a diminuir a carga na rede e assim fazer com que haja menos pedidos por retransmissão, satisfazendo R1 e/ou R2.

6. Simulação do RM2

6.1 Ambiente de Simulação

O RM2 está implementado (o código fonte está disponível em <http://www.di.ufpe.br/~cmc/research/rm2/rm2-source.zip>) no simulador ns-2 [17]. O ns-2 é um simulador orientado a eventos, desenvolvido pela U.C. Berkeley/LBNL.

6.2 Configuração do Ambiente

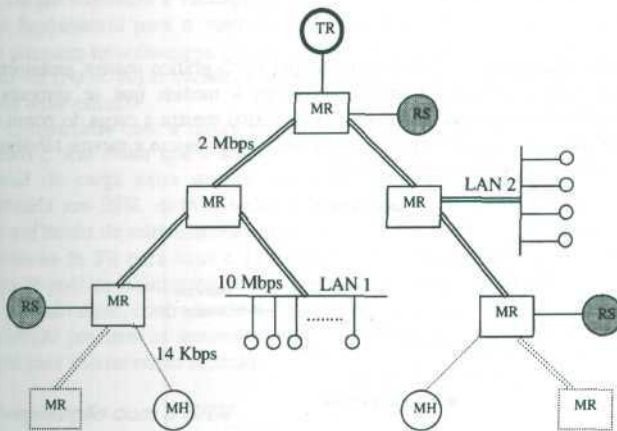


Figura 6 • A Topologia básica da rede

A primeira topologia básica usada para simular o RM2 é ilustrada na figura 6 e utiliza os mesmos parâmetros de configuração definidos na tabela 1. Esta topologia se compõe, inicialmente, de sete roteadores multicasta interligados por links de 2 Mbps com um atraso de 10ms. O grupo possui, no máximo, 50 usuários, entre fixos e móveis. Os usuários vão entrando no grupo em diferentes níveis da hierarquia, fazendo com que os roteadores de cada nível entrem na árvore multicasta. Os usuários fixos estão ligados à rede através de redes locais de 10 Mbps com um atraso de 5ms. Como uma rede local é um meio broadcast, isto não causará problemas às nossas premissas. Já os usuários móveis (MHs) se conectam à rede

móvel não fique congestionado devido à execução do protocolo. R1 é responsável ainda por determinar o modo de retransmissão a ser utilizado para um dado pacote.

A fim de modelar matematicamente R1, devemos garantir que a sobrecarga de retransmissão submetida a um enlace sem fio não ultrapasse um percentual definido dinamicamente de $p\%$. Para isso, vamos usar a equação (x). Assim, temos que:

$$\alpha \cdot E(CR_U) \leq p \quad (\text{xii})$$

Baseado na premissa P.3 que, em outras palavras, expressa o fato que os usuários estão uniformemente distribuídos na rede, a equação (xii) considera apenas a parcela a da carga extra destinada a um enlace móvel. Desta forma, baseando-se em NF e NM, temos que:

$$\alpha = \frac{1}{N_M} \frac{N_M P(E_M)}{N_M P(E_M) + N_F P(E_F)} = \frac{P(E_M)}{N_M P(E_M) + N_F P(E_F)}$$

Ou seja, a parcela a da carga varia de acordo com o número de usuários e com a taxa de erro do meio. Caso tenhamos uma alta taxa de erros no meio sem fio implica que a maioria da carga extra será destinada a usuários móveis e, portanto, teremos um maior fator a . Por outro lado, o fator que envolve a parte fixa da rede tem uma baixa influência em a . A figura 5 mostra o comportamento da equação (xii) quando se tem a quantidade de usuários fixos e móveis variando com o tempo.

Vemos que, à medida que os usuários entram no grupo, especialmente usuários móveis, aumenta o percentual de utilização da banda do enlace sem fio com retransmissões. A atitude do RM2 é estabelecer um limite p , o qual, quando atingido, faz com que haja uma mudança de política de retransmissão, neste caso para multicast, a fim de reduzir a carga extra introduzida ao enlace móvel. Com isso, viabiliza-se uma utilização ótima da rede, em detrimento ao recebimento de pacotes duplicados por parte dos receptores.

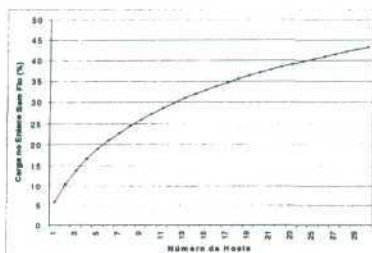


Figura 5 - Comportamento da restrição 1

5.1.2 Obedecendo R2

R2 se refere à carga da rede. R2 tenta garantir que, na medida do possível, a rede sempre esteja com a menor carga possível. Sabemos que apenas a carga de retransmissão vai influenciar na mudança de política, uma vez que as transmissões são sempre por multicast. Para isso, o RM2 se utiliza das equações (x) e (xi), como também do resultado da avaliação da restrição R1, a fim de determinar se alguma ação adicional deve ser tomada.

Caso R1 seja avaliada para verdadeiro e, portanto, o modo de retransmissão seja unicast, não há necessidade de R2 ser avaliada. O RM2 se baseia no fato de que é preferível sobrecarregar a rede fixa a sobrecarregar o enlace sem fio.

Por outro lado, caso R1 seja avaliada para falso, a seguinte comparação é efetuada:

$$E(CR_M) \leq E(CR_U) \quad (\text{xiii})$$

5. Implementação do Mecanismo de Retransmissão no RM2

O mecanismo de retransmissão apresentado através do modelo apresentado anteriormente, foi implementado no protocolo **RM2** (*Reliable Mobile Multicast*) [18]. Tal protocolo prove a entrega em seqüência e sem perdas de pacotes para usuários móveis usando o já existente protocolo **IGMP** [15] (*Internet Group Management Protocol*) como base para o gerenciamento de grupos, e o IP Móvel [16] como protocolo da rede, sem no entanto usar *tunnels* quando o MH (*Mobile Host*) exerce o papel de receptor de multicast pois os mesmos implicam em *escalabilidade* limitada e roteamento ineficiente. O **RM2** usa ainda uma abordagem hierárquica para o multicast e, para isso, se vale dos RSs (*RetransmissionServers*) que têm como finalidade evitar o problema de implosão de **NACKs** [2, 12, 13], otimizar a utilização dos recursos da rede e ainda tornar o protocolo escalável. Cada RS possui um endereço de retransmissão, de escopo local, para *subcasting* que é compartilhado por todos os membros que se encontram na sua região. É importante notar que, no **RM2**, um *subcasting* pode ser analisado como um *multicasting* com um escopo bem definido, muito embora o *subcasting* implementado pelo **RM2** ofereça uma maior eficiência tanto em termos de utilização dos recursos da rede como de desempenho.

5.1 Modelando a Adaptação

A partir deste estudo preliminar, podemos agora modelar com mais fidelidade o mecanismo de adaptação do **RM2**. A fim de modelar a adaptação, duas restrições básicas foram implementadas no mecanismo de retransmissão do **RM2**. Em ordem de prioridade, são elas:

- Restrição 1 (**R1**): A capacidade do enlace sem fio determina o compromisso entre a carga na rede e o percentual de pacotes nela duplicados. Ou seja, a capacidade do enlace sem fio não pode ser superada pela soma das taxas de transmissão e retransmissão vindas da parte fixa da rede;
- Restrição 2 (**R2**): O mecanismo de retransmissão deve ser desenvolvido de forma a gerar a menor carga possível da rede.

Estas restrições servem de base para o mecanismo de retransmissão. **R1** tem uma prioridade maior que **R2** o que significa que o **RM2** vai sempre tentar minimizar a sobrecarga no enlace sem fio. Esta atitude é correta, uma vez que a capacidade do enlace fixo é algumas ordens de magnitude maior que a do enlace sem fio.

Como **R1** possui uma maior *prioridade*, os RSs sempre iniciam seu funcionamento no modo de retransmissão unicast. Este modo é o mais adequado do ponto de vista de usuários móveis, uma vez que evita que os computadores móveis recebam pacotes duplicados e assim gastem a já limitada energia disponível para processamento. O modo de retransmissão unicast é, portanto, ideal para obedecer a restrição **R1**. Quando neste modo, a tendência de aumento da carga na rede (vide figura 2) será tratada posteriormente por **R2** durante a execução do algoritmo. Vamos analisar agora o algoritmo que o **RM2** usa para obedecer a **R1** e **R2**.

5.1.1 Obedecendo **R1**

R1 trata da questão fundamental quando se fala em computação móvel sem fio que é a capacidade do enlace. O **RM2** tem como um dos principais objetivos garantir que o enlace

número de pedidos por retransmissão. Em contrapartida, o uso de múltiplos unicasts faz com que o enlace sem fio tenha uma melhor utilização e que receptores não recebam pacotes não requisitados. Se imaginarmos um cenário em que a maioria dos usuários sejam móveis, esta abordagem resultará numa alta sobrecarga na rede, sendo necessário uma mudança de política de retransmissão.

4.2 Analisando a Carga de Pacotes Duplicados

Com base na carga de pacotes duplicados calculado em (x) e (xi), vamos analisar o comportamento destas equações em alguns cenários com configurações distintas de hosts fixos e móveis, visto que a relação entre estes é que tende a mais influenciar a carga na rede.

Num primeiro cenário, analisemos qual o impacto dos hosts fixos na carga de pacotes duplicados da rede. Para isso, deixemos o número de usuários móveis constante ($N_M = 10$) e varremos apenas a quantidade de usuários fixos. A partir de (x) e (xi), chegamos aos resultados expressos através da figura 3.

O gráfico revela que, embora tenhamos uma crescente quantidade de usuários fixos, o percentual de pacotes duplicados na rede possui uma taxa de crescimento relativamente baixa durante todo o tempo. Isso se deve principalmente à baixa taxa de erros do enlace fixo, o que faz com que, embora tenhamos mais usuários fixos no grupo, o percentual da carga extra de pacotes duplicados fique baixo tanto em multicast, quanto em unicast.

Vamos nos servir da mesma abordagem do cenário anterior, sendo que agora fixaremos os usuários fixos ($N_F = 10$) e faremos variar apenas os móveis. Desta forma, obtemos os resultados como expressos na figura 4.

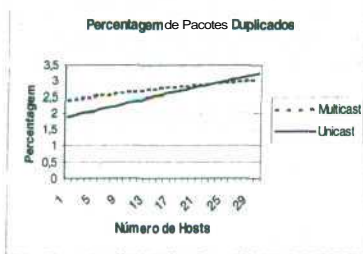


Figura 3 - Impacto dos hosts fixos na carga de pacotes duplicados



Figura 4 - Impacto dos hosts móveis na carga de pacotes duplicados

Em contrapartida aos hosts fixos, vemos que os hosts móveis possuem um grande impacto na carga de retransmissão oferecida à rede. Observe que o percentual de carga extra aumentou significativamente em relação ao caso anterior, que considerou o impacto dos usuários fixos. À medida que temos mais hosts entrando no grupo, maior fica o percentual de pacotes duplicados. Isso se deve, principalmente, à alta taxa de erros do enlace sem fio, o que faz com que tenhamos uma alta perda de pacotes.

Em ambos os casos, seria ideal que houvesse mudanças de política entre multicast e unicast, e vice-versa, de tal forma a obter-se um melhor compromisso entre carga na rede e de pacotes duplicados.

que é a carga média gerada quando retransmitimos por multicast.

4. Análise do Modelo Proposto

A partir dos resultados obtidos em (i), (ii), (x) e (xi), vamos agora analisar alguns cenários e detectar como se comporta a carga na rede nestes casos. Para isso, devemos configurar alguns parâmetros das equações de forma a obter resultados. A tabela 1 indica os valores dos parâmetros para os cenários mostrados em seguida. Alguns destes valores (como as taxas de erro do meio fixo e sem fio e o tamanho dos pacotes) são amplamente usados na literatura [14].

Neste estudo, o número de pedidos por retransmissão aumenta de acordo com o número de usuários. Ou seja, o parâmetro h , que é determinado através de (iii), muda à medida que o número de usuários varia no sistema.

Parâmetro	Valor
$P(E_F)$	10^{-8}
$P(E_M)$	10^{-3}
n (aridade)	2
PS (Packet Size)	1KB

Tabela 1 - Configuração dos Parâmetros

4.1 Analisando a Carga na Rede

A carga imposta à rede é expressa pelas equações (i) e (ii). Em (i) a carga na rede é calculada baseando-se no número de pedidos de retransmissões (que está associado ao número total de usuários), ao passo que, em (ii), a topologia é o principal fator determinante da carga. A figura 2 analisa o comportamento da carga na rede baseando-se nas premissas feitas anteriormente.

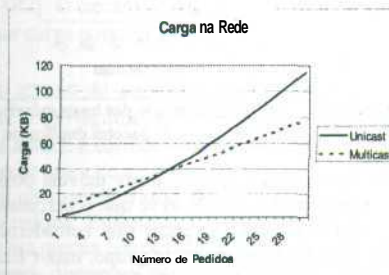


Figura 2 - A carga gerada na rede

À medida que o número de usuários aumenta, aumenta também o número de pedidos. A carga do multicast aumenta exponencialmente com o aumento na quantidade de usuários no grupo. No multicast, mesmo os receptores que não fizeram pedidos por retransmissão recebem os pacotes retransmitidos, fazendo com que o custo inicial seja bem maior que o unicast. Contudo, este modo de transmissão faz com que a rede tenha uma carga mais baixa, pois os pacotes são enviados apenas uma vez. Já no caso de unicast, a situação é a oposta. Os pacotes retransmitidos são enviados apenas para os receptores que realmente fizeram os pedidos o que resulta numa alta carga de réplicas na rede. Esta carga tende a aumentar com o

usando o resultado de (i), temos que:

$$E(CR_U) = E\left(\sum_{K_f=0}^{N_f} P_i(Y = K_f) K_f (K_f hPS)\right) + E\left(\sum_{K_m=0}^{N_M} \binom{N_M}{K_m} P(Z = K_m) K_m (K_m hPS)\right)$$

$$E(CR_U) = hPSE\left(\sum_{K_f=0}^{N_f} K_f^2 P(Y = K_f)\right) + hPSE\left(\sum_{K_m=0}^{N_M} K_m^2 P(Z = K_m)\right) \quad (vi)$$

Sabendo-se ainda que dada uma variável aleatória discreta qualquer X, temos que:

$$E(X') = \sum_{K_x} K' P(X = K)$$

que, se observarmos (vi), é exatamente o que precisamos. Ou seja, podemos simplificar (vi) para:

$$E(CR_U) = hPSE(Y^2) + hPSE(Z^2) = hPS(E(Y^2) + E(Z^2)) \quad (vii)$$

Ao lado disso, usaremos o fato de que: $V(X) = E(X^2) - (E(X))^2$ (viii)

Portanto, se resolvermos (viii) para uma distribuição binomial X(n, k, p), teremos que:

$$np(1-p) = E(X^2) - (np)^2 \Rightarrow E(X^2) = np(1-p) + (np)^2 \quad (ix)$$

que é exatamente o que precisamos em (vii). Logo, substituindo o resultado de (ix) em (vii) teremos que:

$$E(CR_U) = hPS(N_F P(X_{f,i,j}) (1 - P(X_{f,i,j})) + (N_F P(X_{f,i,j}))^2) + N_M P(X_{m,i,j}) (1 - P(X_{m,i,j})) + (N_M P(X_{m,i,j}))^2 \quad (x)$$

que vem a ser a carga média gerada quando retransmitimos por unicast. Por outro lado, quando retransmitimos por multicast temos que:

$$E(CR_M) = E\left(\sum_{K_f=0}^{N_f} P_i(Y = K_f) K_f C_M(n, h, PS)\right) + \sum_{K_m=0}^{N_M} P_i(Z = K_m) K_m C_M(n, h, PS)$$

$$E(CR_M) = E\left(\sum_{K_f=0}^{N_f} P_i(Y = K_f) K_f C_M(n, h, PS)\right) + E\left(\sum_{K_m=0}^{N_M} P_i(Z = K_m) K_m C_M(n, h, PS)\right)$$

Usando os resultados de (ii), (iv) e (v), e sabendo que dada uma variável aleatória binomial X(n, k, p) temos que E(X) = np, logo:

$$E(CR_M) = E\left(\sum_{K_f=0}^{N_f} \binom{N_f}{K_f} P(X_{f,i,j})^{K_f} (1 - P(X_{f,i,j}))^{N_f - K_f} K_f n \frac{n^h - 1}{n - 1} PS\right) + E\left(\sum_{K_m=0}^{N_M} \binom{N_M}{K_m} P(X_{m,i,j})^{K_m} (1 - P(X_{m,i,j}))^{N_M - K_m} K_m n \frac{n^h - 1}{n - 1} PS\right)$$

$$E(CR_M) = \frac{n^h - 1}{n - 1} PS N_F P(X_{f,i,j}) + \frac{n^h - 1}{n - 1} PS N_M P(X_{m,i,j})$$

$$E(CR_M) = n \frac{n^h - 1}{n - 1} PS (N_F P(X_{f,i,j}) + N_M P(X_{m,i,j})) \quad (xi)$$

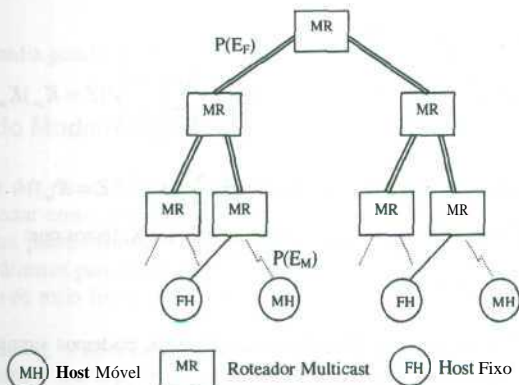


Figura 1 - Uma topologia exemplo

Para ilustrar estes fatos, considere a topologia da figura 1. Notamos através desta figura que $P(X_{fi,j})$ e $P(X_{mi,j})$ são diretamente ligados com a topologia da rede, visto que os mesmos estão diretamente relacionados à confiabilidade de cada enlace como indica a figura. Logo, podemos deduzir que:

$$P(X_{fi,j}) = 1 - (1 - P(E_F))^h$$

$$P(X_{mi,j}) = 1 - (1 - P(E_F))^{h-1} (1 - P(E_M))$$

Ou seja, a probabilidade de que um host i peça a **retransmissão** está intimamente ligada com à probabilidade de erro em cada enlace. No caso de um host fixo, levamos em consideração apenas a $P(E_F)$, mas para um host móvel o último enlace é sem fio (ver figura 1), daí o fator $(1 - P(E_M))$ na equação.

Uma vez encontrado $P(X_{fi,j})$ e $P(X_{mi,j})$, devemos achar agora $P_i(Y, Z)$. Visto que estamos tratando de um sistema em que os eventos de pedidos de retransmissão são independentes e que as probabilidades $P(X_{fi,j})$ e $P(X_{mi,j})$ permanecem praticamente constantes durante todo o experimento, podemos modelar $P_j(Y, Z)$ como uma distribuição binomial. Como os pedidos dos usuários fixos da rede são independentes dos pedidos dos usuários móveis, temos que $P_i(Y, Z) = P_i(Y)P_i(Z)$, onde $P_j(Y)$ é a distribuição de probabilidade para os hosts fixos e $P_j(Z)$ para os hosts móveis. Logo, temos que:

$$P_i(Y = K_f) = \binom{N_f}{K_f} P(X_{fi,j})^{K_f} (1 - P(X_{fi,j}))^{N_f - K_f} \quad (iv)$$

para hosts fixos, e

$$P_i(Z = K_m) = \binom{N_m}{K_m} P(X_{mi,j})^{K_m} (1 - P(X_{mi,j}))^{N_m - K_m} \quad M$$

para hosts móveis.

Ao lado disso, Seja CR_U uma variável aleatória que representa a quantidade de pacotes duplicados gerados na rede quando **retransmitimos** por unicast, e CRM também uma variável aleatória que representa a quantidade de pacotes duplicados gerados na rede quando **retransmitimos** por multicast. Dessa forma temos que, quando **retransmitimos** por unicast, a esperança de CR_U é:

$$E(CR_U) = E\left(\sum_{K_f=0}^{N_f} P_i(Y = K_f) K_f C_U(K_f, h, PS)\right) + \sum_{K_m=0}^{N_m} P_i(Z = K_m) K_m C_U(K_m, h, PS)$$

$$E(CR_U) = E\left(\sum_{K_f=0}^{N_f} P_i(Y = K_f) K_f C_U(K_f, h, PS)\right) + E\left(\sum_{K_m=0}^{N_m} P_i(Z = K_m) K_m C_U(K_m, h, PS)\right)$$

3.1 Premissas do Modelo

Inicialmente, deveremos firmar as seguintes premissas acerca da topologia da rede e da distribuição dos usuários nesta rede. São elas:

- P.1) A topologia considerada no estudo é uma árvore n -ária de altura h ;
- P.2) Todos os enlaces da rede possuem o mesmo custo;
- P.3) Os pedidos de retransmissão de pacotes são uniformemente distribuídos por toda a rede.

3.2 Modelando Carga na Rede

Seja PS (Packet Size) o tamanho do pacote de transmissão de dados. Baseado nas premissas acima, podemos deduzir que para transmitir um pacote para K receptores usando-se múltiplos unicasts, a carga na rede, isto é, o número de enlaces que precisam ser percorridos por cada pacote multiplicado pelo tamanho de um pacote, é:

$$C_U(K, h, PS) = K \times h \times PS \quad (O)$$

No caso de retransmissão, K também pode ser visto como o número de pedidos por retransmissão. Por outro lado, quando se usa *multicast*, como cada enlace é percorrido apenas uma vez, a carga na rede é igual a:

$$C_M(n, h, PS) = n \frac{n^h - 1}{n - 1} PS, n > 1 \quad (ii)$$

onde h é uma função do número total de hosts (N_T) e da aridade (n) da árvore. Assim, efetuando um simples cálculo, veremos que:

$$h(N_T, n) = \log_n \left(\frac{N_T(n-1)}{n} + 1 \right) \quad (iii)$$

De posse desta última equação, podemos determinar o comportamento das equações (i) e (ii). A partir disso, podemos estudar como se comporta a carga na rede quando transmitimos pacotes baseando-se no número de receptores, ou ainda nos pedidos por retransmissão, e na topologia da rede.

3.3 Modelando a Carga de Pacotes Duplicados

Chamemos de $P(E_F)$ a probabilidade de erro (perda) de um pacote num enlace da rede fixa, e de $P(E_M)$ a probabilidade de erro num enlace da rede móvel. Definamos ainda $P(X_{fi,j})$ como sendo a probabilidade do host fixo i pedir a retransmissão do pacote j , e $P(X_{mi,j})$ como sendo a probabilidade do host móvel i pedir a retransmissão do pacote j . Estamos interessados em estudar $P_i(Y = K_F, Z = K_M)$, onde $P_i(Y = K_F, Z = K_M)$ é a probabilidade de termos exatamente K_F pedidos de retransmissões do pacote i para usuários fixos e K_M pedidos de retransmissões para usuários móveis. Considere ainda que temos um total de N_F hosts fixos e N_M host móveis.

Por um lado, o SRM (*Scalable Reliable Multicast*) é baseado na abordagem de um *Application Level Framework*, na qual se transfere para a aplicação a responsabilidade de estruturar (ordenar) os pacotes, tirando-se, assim, este *overhead* do protocolo de transporte. O mecanismo de controle de erros no SRM é realizado fazendo-se um multicast de *NACKs* e de retransmissões para todo o grupo. Qualquer receptor que tenha o pacote requisitado em memória pode transmiti-lo. Esta *retransmissão* se dá sempre em modo multicast. Por um lado, esta abordagem reduz o tempo de recuperação de perdas de pacotes; por outro, tende a sobrecarregar a rede com pacotes que poucos precisam. Estas e algumas outras deficiências foram percebidas no SRM e estão sendo consideradas no protocolo através da adição de *hierarquia* à sua estrutura simétrica [6].

Por outro lado, o RMTP (*Reliable Multicast Transport Protocol*) é um protocolo que usa hierarquia e o *feedback* periódico dos receptores para garantir a confiabilidade. No RMTP, os receptores são organizados logicamente em "regiões", possuindo, cada uma delas, um DR (*Designated Receiver*). Periodicamente, os receptores enviam um *feedback* para os seus respectivos DRs, os quais *retransmitem* os pacotes caso os tenham em memória. Com relação a seu mecanismo de retransmissão, o RMTP não define um mecanismo deixando em aberto se usa unicast ou multicast. Em outras palavras, não existe nenhum modelo ou heurística que ajude ao RMTP determinar a melhor forma de se *retransmitir* um dado pacote, isto é feito baseando-se, apenas, na quantidade de pedidos por retransmissão.

2.2 Multicast em Ambientes Móveis

A versão atual do IP Móvel propõe duas abordagens para prover multicast não confiável para MH, a saber *bi-directional tunneling* e *remote subscription*. Além destas, outras propostas para multicast não confiável são feitas em [7, 8, 9, 10].

No que se refere à multicast confiável, em [11] é apresentado um protocolo para ambientes sem fio chamado de RMDP (*Reliable Multicast data Distribution Protocol*). O RMDP é um protocolo híbrido que se utiliza de FEC (*Forward Error Correction*) e ARQ (*Automatic Retransmission reQuest*) para prover multicast confiável para um conjunto de receptores. Neste protocolo, FEC é implementado através da codificação redundante dos dados, de forma que cada pacote transmitido contenha redundância suficiente para reconstruir outros pacotes, dentro de um limite. Caso a informação de correção de erros enviada através dos pacotes não seja suficiente para o completo recebimento dos dados, utiliza-se ARQs. Algum receptor que tenha o pacote requisitado em memória e receba o ARQ escalona a retransmissão e retransmite o pacote por multicast, acarretando, portanto, num desperdício de recursos.

3. Retransmitir com Unicast ou Multicast?

Nesta seção, iremos efetuar uma abordagem analítica ao problema de como se determinar a melhor forma de adaptação de um mecanismo de retransmissão. O objetivo desta análise é estudar um compromisso entre a carga na rede gerada quando *retransmitimos* pacotes por multicast ou unicast e a carga excedente gerada pela quantidade de pacotes duplicados observados na rede. A partir desta análise será possível chegarmos a um algoritmo eficiente que leve em consideração estas duas medidas e que faça o melhor uso possível dos recursos da rede.

aprendizado a distância. Estas aplicações - que se diferenciam quanto aos requisitos de *confiabilidade*, *tráfego* e *organização* - podem ser classificadas em dois grupos [1]: *multicast soft real-time* e *multicast fully-reliable*. O primeiro transmite dados geralmente de mídias contínuas e, portanto, não exigem tanta confiabilidade (desde que os dados cheguem a tempo), ao passo que, no último, a confiabilidade é o principal requisito, impondo que os dados devem ser recebidos da mesma maneira em todos os receptores.

Portanto, para *aplicações* que são do tipo *fully-reliable* é necessário haver um mecanismo de retransmissão que trate das perdas de pacotes nos receptores. Os protocolos multicast confiáveis propostos até o momento [2, 3, 4, 5] não levam em consideração o projeto de um mecanismo de retransmissão eficiente que se adapte frente a mudanças no estado da rede, retransmitindo usando apenas um modo seja ele unicast ou multicast. Como veremos, a adoção de apenas um modo de retransmissão degrada a eficiência do protocolo bem como desperdiça a utilização dos recursos da rede. Isto ainda se agrava quando o grupo é formado por usuários fixos e móveis. O primeiro é caracterizado por um meio de alta largura de banda, baixa latência e baixa taxa de erros, enquanto o segundo está inserido num meio exatamente o oposto, ou seja, com uma baixa largura de banda, alta latência e alta taxa de erros. A partir disso, devemos adotar uma outra solução que seja adequada também para ambientes móveis. Tal solução *deve*, contudo, ser dinâmica para abranger tanto ambientes fixos quanto móveis, visto que a mesma será determinante na escolha entre se *retransmitir* pacotes via *unicast* ou *multicast* (ou ainda *subcast*).

Neste artigo analisaremos o custo de se retransmitir usando-se múltiplos unicasts versus um multicast. Para isso, levaremos em consideração duas métricas fundamentais num protocolo multicast confiável, a saber: a carga na rede e a carga de pacotes duplicados gerada quando em cada modo de retransmissão. Tomando como base a quantidade de usuários (fixos e móveis) no grupo, a taxa de erros dos enlaces (fixo e móvel) e a topologia da rede, chegaremos a resultados precisos destas duas métricas. O mecanismo resultante desta análise foi implementado num protocolo multicast confiável projetado tanto para usuários fixos quanto para móveis chamado de *RM2 (Reliable Mobile Multicast)* [18].

O resto deste artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 começa descrevendo o estado da arte em protocolos multicast, enfocando o mecanismo de retransmissão de cada um deles. Em seguida, a seção 3 apresenta a modelo analítico desenvolvido para ambos os modos de retransmissão unicast e multicast. A seguir na seção 4, é feita uma análise do modelo em termos de carga oferecida à rede. A seção 5 continua com uma breve descrição do protocolo *RM2* e sua implementação do mecanismo dinâmico de retransmissão. A seção 6 prossegue descrevendo o ambiente de simulação enquanto a seção 7 apresenta os resultados obtidos e uma breve comparação com o protocolo SRM. Por fim, a seção 8 conclui este artigo.

2. Estado da Arte em Protocolos Multicast

Nas subseções que se seguem será dado maior enfoque na técnica de retransmissão empregada por cada protocolo, uma vez que este é o objetivo principal do artigo. Leitores interessados em maiores informações acerca dos protocolos, favor refiram-se às referências.

2.1 Multicast em Ambientes Fixos

Vários protocolos confiáveis têm sido propostos para prover multicast em ambientes fixos. Notadamente, os mais destacados são: SRM [2] e o RMTP [3, 4, 5].

Referências

- [1] P. Bagnall, B. Briscoe, A. Poppitt, "Taxonomy of Communications Requirements for Large-scale Multicast Applications", November 1997, *Internet Draft*, <http://www.labs.bt.com/people/briscoe/projects/lisma/taxonomy-reqs.txt>
- [2] S. Floyd, V. Jacobson, S. McCanne, C. Liu, L. Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Light-Weight Sessions and Application Level Framing", *ACM SIGCOMM'95, Conf. on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications*, August 1995.
- [3] J. Lin, S. Paul, "RMTP: A Reliable Multicast Transport Protocol", *IEEE INFOCOMM'96*, March 1996.
- [4] S. Paul, K. Sabnani, J. Lin, S. Bhattacharya, "Reliable Multicast Transport Protocol (RMTP)", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, April 1997.
- [5] R. Buskens, M. Siddiqui, S. Paul, "Reliable Multicast of Continuous Data Streams", *Bell Labs Tech. Journal*, Spring 1997.
- [6] P. Sharma, D. Estrin, S. Floyd, L. Zhang, "Scalable Session Messages in SRM", *Technical Report*, February 1998.
- [7] A. Acharya, B. Badrinath, "Delivering Multicast Messages in Networks with Mobile Hosts", *Proc. of the 13th International Conference on Distributed Computer Systems*, May 1993.
- [8] A. Acharya, B. Badrinath, "A Framework for the Delivery of Multicast Messages in Networks with Mobile Hosts", *Wireless Networks*, 1996.
- [9] V. Chikarmane, C. Williamson, R. Bunt, W. Mackrell, "Multicast Support for Mobile Hosts Using Mobile IP: Design Issues and Proposed Architecture", *ACM/Baltzer Mobile Networking and Applications*, 1997.
- [10] T. Harrison, C. Williamson, R. Bunt, W. Mackrell, "Mobile Multicast (MoM) Protocol: Multicast Support for Mobile Hosts", *Department of Computer Science*, University of Saskatchewan, Canada.
- [11] L. Rizzo and L. Vicisano, "RMDP: an FEC-based Reliable Multicast protocol for wireless environments", *Mobile Computing and Communications Review*, Volume 2, Number 2, 1998.
- [12] S. Deering, "RFC 1112: Host extensions for IP Multicasting", August 1989.
- [13] J. Nonnenmacher, E. W. Biersack, "Optimal Multicast Feedback", *Proc. of IEEE INFOCOM'98*, S. Francisco, March 28-April 2 1998.
- [14] D. Sadok, J. Kelner, C. Cordeiro, "Disconnection Protocol Support in Mobile Access", *Journal of the Brazilian Computer Society*, Volume 5, Number 2, April 1999.
- [15] W. Fenner, "Internet Group Management Protocol, Version 2", *Internet Draft*, April 1996.
- [16] C. Perkins, D. Johnson, "Mobility support in IPv6", *Internet Draft*, IPv6 Working Group, IBM Corporation/Carnegie Mellon University, June 1995, 21p.
- [17] Network Simulator 2 (ns-2), <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>
- [18] Djamel H. Sadok, Carlos de M. Cordeiro, Judith Kelner, "A reliable subcasting protocol for wireless environments", *to Appear in the 2nd International Conference on Mobile and Communication Networks*, Paris, France, May 2000.