

Agregação de Pacotes em Ambientes com Enlaces de Baixa Capacidade de Transmissão

P. H. Azevêdo Filho¹, M. F. Caetano², J. L. Bordim¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
Caixa postal 4466 – 70910-900 – Brasília – DF – Brasil

²Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade de Brasília (UnB)
Caixa postal 4386 – 70910-900 – Brasília – DF – Brasil

bordim@unb.br, caetano@cic.unb.br, paulo.a.filho@aiesec.net

Abstract. *This work presents a new technique for improving the capacity of saturated wireless networks of hosting real time voice conversations, without degrading the quality provided to users. To reach this goal, a packet aggregation protocol was tailored to work in the IP layer of the networking stack, in order to reduce the number of wireless transmissions and decrease the volume of headers sent. This technique, called MAPAS, was compared to a state-of-the-art packet aggregation policy and to a non-aggregating network, and a significant improvement in supporting the traffic was noticed in the network that used MAPAS.*

Resumo. *A principal contribuição deste trabalho é propor um mecanismo de agregação de pacotes voltado para ambientes de rede sem fio onde a capacidade dos enlaces não é homogênea. O mecanismo proposto, caracteriza-se pela utilização de estimativas de tempo para realizar a entrega dos dados permitindo a agregação dos pacotes e mantendo o atraso máximo dentro dos limites da aplicação. O mecanismo proposto, denominado MAPAS (Mecanismo de Agregação de Pacotes em Ambientes Saturados), foi implementado e comparado com outras políticas de agregação de pacotes. Os resultados mostram que mecanismo proposto permite uma maior agregação de dados mantendo os requisitos de temporização e atrasos de aplicações sensíveis como o de tráfego de voz.*

1. Introdução

A popularização da Internet acelerou a corrida por novas tecnologias e impulsionou o processo de convergência de serviços com base no protocolo IP. Esta convergência fomentou o surgimento de novas tendências e serviços. Um exemplo desta tendência é a tecnologia de tráfego de Voz sobre IP (*Voice over IP - VoIP*). Ao longo dos últimos anos, o VoIP tem ganhado adeptos tanto no setor privado como no setor público. O Governo Federal, por exemplo, há algum tempo vem buscando formas de reduzir custos com telefonia nos órgãos públicos. Esta iniciativa ganhou força com o projeto VoIP4All que vem sendo executado junto à RNP [Oliveira 2007]. Dentre os principais fatores de sucesso do VoIP estão a possibilidade de integração ao sistema de telefonia pública e redução dos custos em chamadas telefônicas [Correio Popular Online 2005].

Em um contexto diferente, mas ao mesmo tempo, a utilização de tecnologias de comunicação sem fio foi impulsionada pelo avanço dos componentes eletrônicos e das comunicações pessoais sem fio. De forma a permitir a sua padronização, o IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) iniciou estudos para a elaboração de um padrão para redes sem fio locais e metropolitanas. Deste trabalho surgiu o padrão IEEE 802.11 (ou WiFi), cujo objetivo era permitir a conectividade sem fio entre equipamentos em uma área local [IEEE 2007]. Devido a sua simplicidade de instalação, configuração, baixo consumo de energia e custos atrativos, criou-se um cenário favorável para a utilização do WiFi nos mais diversos ambientes. O padrão IEEE802.11 permite dois modos de operação, com e sem infra-estrutura. No primeiro modo, a comunicação entre os dispositivos se dá através um elemento central, ou ponto de acesso. No segundo modo, também chamado modo *ad hoc*, a comunicação entre os dispositivos é viável mesmo sem a presença de uma infra-estrutura pré-existente. Atualmente, as redes *ad hoc* encontram aplicações em inúmeros cenários, desde em operações de busca e resgate até a simples troca de arquivos entre dois dispositivos adjacentes.

O baixo custo e sua ampla utilização fazem do padrão IEEE 802.11 uma alternativa natural para se agregar mobilidade às aplicações de VoIP. No entanto, as redes sem fios não oferecem o mesmo desempenho das redes cabeadas, por serem mais suscetíveis a interferências e colisões. Além disso, o tráfego de voz exige que a rede tenha uma boa capacidade de enviar pacotes de maneira contínua e com pequena variação do atraso para que se possa garantir a qualidade do serviço (*Quality of Service - QoS*).

O uso de longos cabeçalhos na camada física e os mecanismos de contenção de acesso ao meio fazem com que as redes sem fio tenham maior dificuldade para suportar aplicações VoIP. Para minimizar estes problemas, a comunidade científica vem buscando alternativas de forma a atender os requisitos destas aplicações. Entre as técnicas exploradas, a agregação de pacotes tem apresentado resultados interessantes, em especial para o tráfego de voz [Petrović et al. 2003, Katti et al. 2006, Castro et al. 2007, Raghavendra et al. 2006]. A Figura 1 mostra um exemplo onde há o envio de diversos pacotes de voz unidos em um único pacote. Esta técnica permite que os pacotes de vários emissores sejam agregados em um ponto comum, o que permite uma diluição no *overhead* imposto pelos protocolos de comunicação sem fio utilizados. Estas e outras questões serão abordadas com maior nível de detalhe nas próximas sub-seções. Para prover tal comportamento, mecanismos de multiplexação e demultiplexação dos pacotes de voz precisam ser bem definidos para que esta técnica produza os benefícios desejados.

1.1. Trabalhos Relacionados

Em [Petrović et al. 2003] é apresentada uma proposta de um algoritmo de roteamento, compressão e agregação de pacotes para redes de sensores. Os resultados mostram ganhos significativos em termos de redução de custo de roteamento. No entanto, esta abordagem não atende aos requisitos de QoS para tráfego de voz. Em [Katti et al. 2006], os autores propõem uma combinação linear entre os dados estão sendo transmitidos, considerando para isso, que os dispositivos da rede possuem vários pacotes armazenados. Este método exige mudanças profundas na pilha TCP/IP. A proposta denominada IPAC [Raghavendra et al. 2006] define mecanismos para reter os dados na origem de forma a agregá-los em um pacote maior e então transmiti-los. Os resultados mostram que em certos cenários é possível obter ganhos significativos. No entanto, o uso dessa técnica

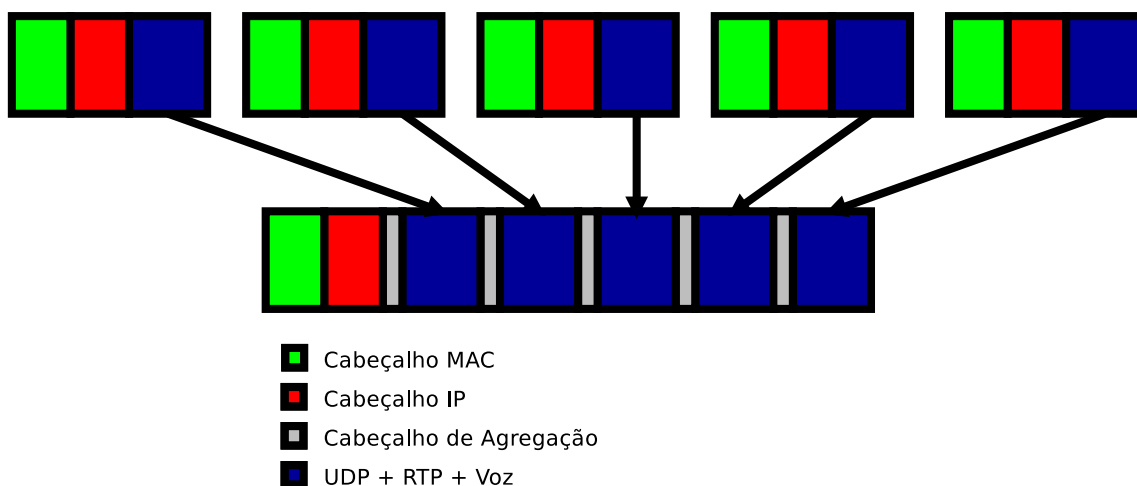


Figura 1. Representação de vários pacotes sendo agregados em um só, com a adição de cabeçalhos extras para controlar o início dos pacotes.

pode desperdiçar oportunidades de agregação em outros pontos da rede. Outro problema é a dificuldade de estimar o volume de dados que podem ser retidos na origem sem degradar o serviço. Uma evolução desta proposta é apresentada em [Castro et al. 2007], onde os autores propõem que pacotes sejam agregados ao longo do caminho. No entanto, as estimativas de tempo de agregação são determinadas de forma fixa, o que pode gerar atrasos excessivos e descarte de pacotes, especialmente, em ambientes onde os enlaces possuem diferenças de capacidade, ou desperdiçar oportunidades de agregação, quando as condições do canal forem boas.

Este trabalho apresenta um mecanismo de agregação de pacotes para suporte a aplicações VoIP sobre redes sem fio. O mecanismo proposto permite a redução do número de transmissões bem como do *overhead* dos cabeçalhos envolvidos no processo de agregação. Diferente dos demais trabalhos, nossa proposta realiza a avaliação local e dinâmica do comportamento do fluxo de dados o que permite a aplicação da solução mesmo para redes com enlaces heterogêneos. Os requisitos de tempo impostos pela aplicação são respeitados e o trabalho de agregação é realizado de forma adaptativa. Os resultados obtidos através de simulações demonstram que o mecanismo proposto permite ganhos significativos quando comparados com os de outras técnicas semelhantes propostas. Em média, foi possível reduzir em 50% o número de transmissões e manter o mesmo volume de dados transmitidos.

O restante deste documento está organizado da seguinte forma: A Seção 2 introduz conceitos relacionados com o processo de agregação de pacotes. A Seção 3 uma nova proposta de agregação de pacotes será apresentada. Na Seção 4 os experimentos realizados serão descritos e seus resultados apresentados e discutidos. Por fim, na Seção 5 serão apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

2. Agregação de Pacotes

O foco da agregação de pacotes em redes sem fio é minimizar o *overhead* introduzido pelos temporizadores e pacotes de controle que fazem parte dos protocolos de comunicação sem fio. No caso do WiFi, estes temporizadores fixos independem da carga útil do

pacote sendo transmitido [IEEE 2007]. Dentre os temporizadores fixos podemos citar o SIFS (*Short Interframe Space*), DIFS (*DCF Interframe Space*) e preâmbulo. Os pacotes RTS (*Request To Send*) e CTS (*Clear To Send*) podem ser considerados como fixos, tendo em vista que os mesmos são transmitidos a uma taxa de transmissão fixa, independente da qualidade e capacidade do canal. Por outro lado, o tempo de contenção depende de vários fatores, entre eles o número transmissores. Neste contexto, a agregação de pacotes tenta minimizar os efeitos de *overhead* descritos através da união da carga útil dos pacotes a serem transmitidos. Um melhor detalhamento sobre os diversos temporizadores, bem como, a relação entre o *overhead* e a carga útil dos pacotes, em uma rede sem fio, pode ser verificado em [Bordim et al. 2010].

Os trabalhos relacionados, apresentados na seção anterior, consideram um ambiente em que as conexões entre os nós adjacentes possuem as mesmas características em termos de capacidade de transmissão e temporização. No entanto, dada a dinâmica das redes móveis e as características do meio aéreo, as condições do canal em um nó n_i podem ser bastante diferentes daquelas observadas pelo nó n_j , mesmo no caso em que n_i e n_j sejam adjacentes (para $0 < i < j < N$, e N representa o número de nós da rede em questão). Em outras palavras, as condições do enlace entre dois nós adjacentes, n_i e n_j , em uma rede sem fio, pode variar ao longo do tempo e estão sujeitas a interferências, colisões e contenção. Esta, por exemplo, está diretamente associada ao número de vizinhos e suas respectivas ações, tais como volume de pacotes enviados, recebidos ou mesmo roteados através destes nós. Portanto, um mecanismo de agregação de pacotes deve levar em conta estas questões, de forma a prover um nível de QoS aceitável para esses ambientes. É importante ressaltar que a temporização é um fator crítico que interfere diretamente na qualidade do serviço percebido pelo usuário.

Para melhor ilustrar como a agregação de pacotes pode ser utilizada em uma rede *ad hoc*, considere o cenário ilustrado na Figura 2. Na figura, quatro nós estão representados. Suponha que os nós n_a e n_b possuam dados a serem encaminhados para o nó n_d . Assuma que ambos os nós n_a e n_b estejam transmitido seus pacotes a uma taxa constante. Considerando o *codec* iLBC, teremos 38 bytes a cada 20 ms sendo gerados, na Camada de Aplicação, pelos nós n_a e n_b [Página do Codec iLBC 2010]. Estes pacotes serão entregues ao nó n_c , que irá repassá-los ao destinatário. Como é possível perceber, existe a oportunidade para o nó n_c em combinar os pacotes recebidos de n_a e n_b antes de repassar para o destino n_d . A agregação de pacotes permite ao nó n_c reduzir o número de transmissões para o nó n_d . No entanto, para que este processo seja viável, o tempo gasto neste processo deve estar dentro dos limites aceitáveis pela aplicação. Isto é, o nó n_c deve possuir mecanismos para poder estimar o tempo gasto para o encaminhamento do pacote da origem até o nó n_c e o tempo necessário para encaminhá-lo do nó n_c até o destino final que, em nosso exemplo, é o nó n_d . Vale ressaltar que para comunicação VoIP, o tempo total para transmitir uma mensagem da origem ao destino não pode superar 150ms, de forma a ser possível garantir um nível aceitável de QoS [ITU-T 1996].

Até o momento, as técnicas de agregação de pacotes consideram o tempo para transpor cada enlace como sendo constante, o que facilita esta estimativa. Por outro lado, esta restrição não é realista. Seguindo o exemplo da Figura 2, o enlace entre os nós n_c e n_d pode ter uma capacidade inferior à dos outros dois enlaces da rede. Isso faz com que uma estimativa global de tempo possa acarretar em desperdício de oportunidade de agregação

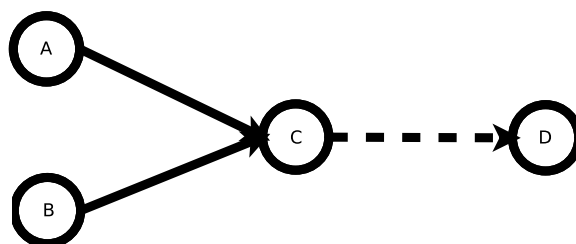


Figura 2. Topologia de rede contendo enlaces com capacidades diferenciadas.

ou, ainda, no descarte de pacotes. Na próxima seção serão apresentados os detalhes do mecanismo de agregação proposto neste trabalho. O referido mecanismo visa atender aos requisitos descritos, de forma a realizar a agregação de pacotes mesmo em cenários em que os enlaces apresentam características distintas.

3. MAPAS

Esse mecanismo tem seu foco no tráfego de dados com taxas constantes de transmissão, como o VoIP, por exemplo. O mecanismo proposto é denominado *Mecanismo de Agregação de Pacotes em Ambientes Saturados - MAPAS*. O ponto central desta proposta consiste em estimar o tempo máximo (t_{p_k}) que um dado pacote p_k pode ser retido em determinado em nó na rota até o seu destino, onde k ($0 \leq k \leq R$), representa o identificador do pacote e R o total de pacotes da rede.

3.1. Estimando o Tempo de Retenção

O princípio básico que rege o MAPAS, diferente dos demais trabalhos, em vez de esperar um valor fixo para que cheguem mais pacotes agregáveis, é o de esperar o maior tempo possível sem que haja prejuízos para a aplicação. Para tanto, é preciso que cada nó da rede possua de antemão uma estimativa do tempo necessário para o pacote chegar ao seu destino. Este tipo de informação pode ser obtida a partir da análise das informações contidas nos protocolos de comunicação atualmente disponíveis para redes *ad hoc*.

Os protocolos de roteamento para redes *ad hoc* em geral requererem que os nós guardem informações sobre o caminho para um nó específico com o qual haja comunicação. Essa informação pode ser o próximo nó pelo qual o pacote deve passar (*next hop*), como no caso dos protocolos DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector Routing*) e AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector*), ou mesmo a rota inteira, como no protocolo DSR (*Destination Source Routing*), que pode chegar a gravar várias rotas completas para um mesmo destino [Johnson et al. 2007].

Durante a fase de descoberta da rota, por exemplo no DSR, é possível estimar o tempo necessário para chegar ao destino. Definimos $T_{r,d}$ como a estimativa de tempo para chegar ao nó de destino d , a partir do nó r , onde r representa um nó no caminho entre a origem e o destino do pacote em questão. Esta estimativa pode ser realizada para cada salto ao longo da rota. Para ilustrar o funcionamento, considere a Figura 2. Suponha que o nó n_a envie um pacote de descoberta de rota para o nó n_d . Este pacote irá chegar ao nó n_c e será encaminhado ao nó n_d o qual irá responder como um pacote de confirmação de rota. Note que neste caso, os nós n_a e n_c podem estimar o tempo $T_{a,d}$ e $T_{c,d}$, respectivamente, durante o envio da solicitação de rota e o seu respectivo retorno. Esse valor de tempo servirá de base na definição de quanto tempo um pacote pode aguardar a cada salto.

Ressalta-se que outros autores utilizam mecanismos semelhantes em outros contextos para estimar o tempo de travessia de uma rota [Bordim et al. 2004]. As variações nos enlaces podem ser capturadas através do envio constante pacotes de manutenção da rota. Esta técnica é de fato utilizada por vários protocolos de roteamento. Uma vez que a estimativa de tempo de retenção dos pacotes esteja disponível, a próxima tarefa é permitir a agregação dos pacotes. Esta tarefa será detalhada na seção subsequente.

3.2. Cabeçalho de Agregação

Para melhor controlar os dados transmitidos com agregação, mas sem aumentar significativamente o tamanho dos cabeçalhos, foi desenvolvido um formato de cabeçalho de agregação para a camada de rede. O cabeçalho é detalhado na Tabela 1. Como o funciona-

Tabela 1. Composição do cabeçalho do pacote de agregação proposto.

Tamanho (<i>bytes</i>)	Nome	Conteúdo
1	<i>eTime</i>	Tempo de vida do pacote, em milissegundos
2	<i>size</i>	Tamanho, em bytes, daquela parte agregada
4	<i>source</i>	Endereço IP da origem do pacote
4	<i>dest</i>	Endereço IP do destino final do pacote

mento ocorre na camada IP, para separar o conteúdo dos pacotes agregados, basta remover os cabeçalhos MAC (feito na camada inferior) e IP (feito na própria camada IP). O valor do campo *protocol* do cabeçalho IP indicará se este pacote é um pacote de agregação ou não, da mesma maneira que em [Castro et al. 2007]. Em caso afirmativo, os primeiros 11 *bytes* após o cabeçalho IP serão de um cabeçalho de agregação. O campo *eTime* indica o tempo decorrido desde a geração do pacote. Note que cada nó é responsável por atualizar este campo antes de encaminhar o pacote para o próximo nó no caminho até o destino. O campo *size* indicará o volume (em *bytes* que pertencem ao pacote agregado em questão. Após esse número de *bytes*, poderá haver outro cabeçalho de agregação, e assim sucessivamente, até o limite de *total length* do cabeçalho IP, indicando que não há mais pacotes agregados.

3.3. Funcionamento do MAPAS

Uma vez que o tempo necessário para um pacote percorrer o caminho da origem até o destino está disponível, é possível verificar se um dado pacote pode ou não aguardar por uma oportunidade de agregação com outros pacotes. Esta estimativa é obtida através dos valores contidos em *eTime* e $T_{r,d}$. A título de exemplo, considere o cenário da Figura 2, onde o nó n_c está no caminho entre os nós n_a e n_d . Quanto um pacote p_i , oriundo de n_a , é recebido por n_c , o campo *eTime* conterà o tempo gasto pelo pacote p_i para chegar ao nó n_c . O tempo $T_{c,d}$ contém a estimativa de tempo para p_i chegar até o nó n_d . Com base nestes valores, o nó n_c poderá estimar o tempo de retenção para o pacote p_i . Neste caso, o nó n_c utiliza Equação 1 para estimar o tempo de retenção t_{p_k} para o pacote p_k . Na Equação 1, A_{max} representa o atraso máximo permitido pela aplicação. No caso do VoIP, $A_{max} = 150ms$.

$$t_{p_k} = A_{max} - (eTime + T_{r,d}). \quad (1)$$

Quando maior o valor de t_{p_k} , maior será o tempo de retenção permitido para este pacote e, conseqüentemente, maior serão as oportunidades de agregação. O protocolo de agregação

proposto neste trabalho utiliza os mecanismos descritos acima para estimar o tempo em que um pacote poderá ser retido e agregado durante o seu percurso até o nó de destino. Os detalhes do MAPAS são apresentados no Protocolo 1. No Protocolo MAPAS, P denota

Algoritmo 1 Protocolo MAPAS

Entrada Pacote P

```

1:  $P_{transp} \leftarrow desencapsula(P)$ 
2:  $P \leftarrow P - P_{transp}$ 
3: se  $P_{transp} \neq \emptyset$  então
4:    $envia\_camada\_transporte(P_{transp})$ 
5: fim se
6:  $S \leftarrow separa(P)$ 
7:  $enfilera(S)$ 
8: para toda fila  $Q \neq \emptyset$  faça
9:   se  $lim\_tempo(Q) \parallel lim\_tamanho(Q)$  então
10:     $envia\_camada\_enlace(frente(Q))$ 
11:   fim se
12: fim para

```

um pacote agregador e $|P|$ representa o número total de pacotes agregados em P . Um pacote agregador P pode conter dois ou mais pacotes agregados, isto é $|P| \geq 2$; S representa subconjunto de pacotes de P (isto é, $S \subset P$) e Q é uma lista de pacotes ordenada, de forma crescente, por t_{p_k} . Desta forma, a cabeça da fila Q possui o pacote com menor tempo de retenção. Este critério é utilizado para definir a prioridade de transmissão de cada pacote.

Suponha que o n_i ($0 < i < N$) receba um pacote P . Ao executar as linhas 1 a 5 do MAPAS, n_i irá desencapsular os dados em P e verificar quais pacotes p_k , $0 < k < R$, contidos em P são destinados a ele. As linhas 6 e 7 permitem a n_i agregar os pacotes em S que deverão ser encaminhados para seus respectivos destinos. Em outras palavras, os pacotes são agregados de acordo com o seu próximo salto (*next hop*), de forma que os pacotes com o mesmo destino são colocados na mesma fila Q . As linhas 8 a 12 são responsáveis por verificar quais filas possuem pacotes cujo tempo de retenção esgotou ou cujo tamanho da fila esteja acima de um certo limite. Em ambos os casos, estes pacotes serão encaminhados para o respectivo (*next hop*).

A próxima seção apresenta os cenários e os resultados da simulações da proposta de agregação apresentada.

4. Simulações e Resultados

Esta seção tem como objetivo avaliar o desempenho do mecanismo de agregação proposto. Para este fim, um simulador em C++ foi desenvolvido de forma a incorporar as características do MAPAS e de uma rede sem fio utilizando o padrão IEEE802.11. Além do MAPAS, o mecanismo proposto [Castro et al. 2007] também foi implementado e será utilizado como base para comparação. Três cenários foram escolhidos para a simulação, um contendo um enlace com baixa capacidade de transmissão, um segundo cenário contendo um gargalo de comunicação, e um terceiro cenário onde os nós estão dispostos em

uma estrutura hierárquica. Os detalhes da simulação e seus parâmetros serão detalhados juntamente com o cenário em questão nas subseções abaixo.

4.1. Primeiro cenário: Enlace de Baixa Capacidade

O objetivo deste primeiro cenário é permitir uma avaliação do mecanismo de temporização do MAPAS em um cenário onde os enlaces não possuem a mesma capacidade de transmissão. A topologia utilizada é semelhante a apresentada na Figura 2. Na simulação, os nós A e B estão ligados ao nó C por dois enlaces de 100kBps cada. O enlace entre os nós C e D terá uma variação de capacidade e assumirá valores entre 10 a 100kBps. Os nós A e B geram um tráfego de dez mil pacotes de voz cada um, com intervalos de 20ms entre os pacotes (semelhante ao iLBC). Estes pacotes são repassados ao nó C e então encaminhados ao nó de destino (nó D).

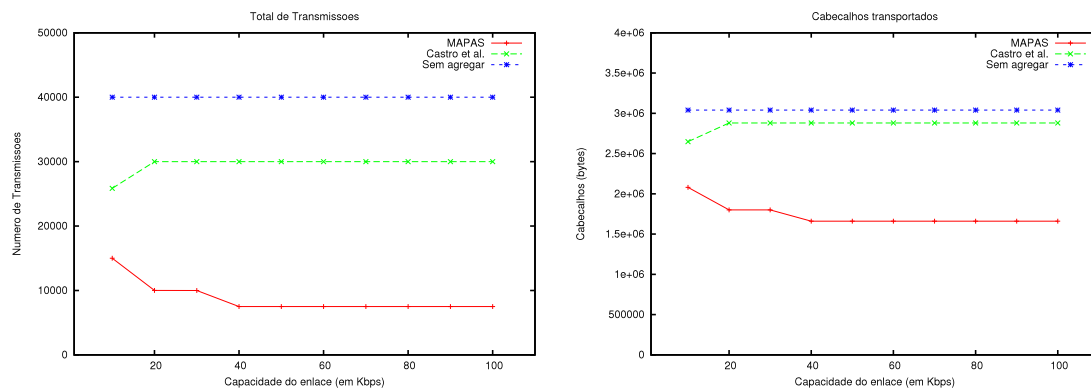


Figura 3. Indicadores de uso eficiente da rede: (i) Número de transmissões necessárias para transportar os dados gerados; e, (ii) Quantidade total de cabeçalhos transmitidos na rede

A Figura 3 apresenta o número de transmissões necessárias para transportar os dados e a quantidade total de cabeçalhos transmitidos. Como pode ser visto na figura, o MAPAS permite reduzir significativamente o número de transmissões quando comparados com o método proposto em [Castro et al. 2007]. De fato, o MAPAS consegue agregar de duas a quatro vezes mais pacotes em comparação com os métodos avaliados. Por sua vez, a redução no volume de pacotes trafegados permite ao MAPAS uma economia significativa em termos do volume de *bytes* de cabeçalhos necessários para realizar o transporte dos dados. Nota-se que mesmo com um cabeçalho de agregação e informações de temporização, o MAPAS ainda permite uma redução significativa no volume total de *bytes* de controle trafegados. Esta economia representa uma redução superior a 55% quando comparado com o mecanismo proposto em [Castro et al. 2007].

A Figura 4 apresenta os resultados em termos de número de pacotes descartados pela aplicação e atraso máximo. Como pode ser observado, quando a capacidade do último enlace é de 10kBps, apenas o MAPAS permite a entrega total dos pacotes. Neste caso, mais de 40% dos pacotes são descartados quando se utiliza a proposta de [Castro et al. 2007]. A ausência de mecanismos de estimativa de tempo de retenção inviabiliza a agregação dos pacotes e eventualmente acarreta no descarte devido a atrasos excessivos quando há uma variação mais significativa na capacidade do enlace. Essa situação torna-se clara quando o enlace é limitado a 10kBps. O mecanismo de estimativa

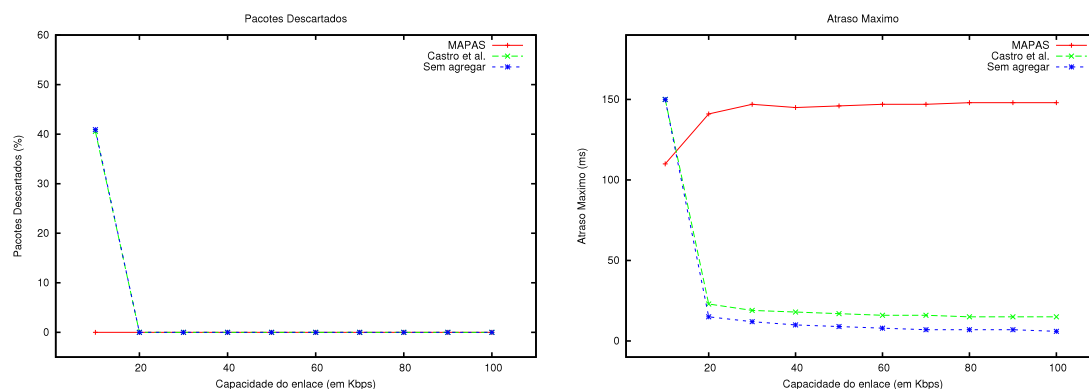


Figura 4. Indicadores de QoS: (i) Pacotes descartados; e (ii) Atraso máximo.

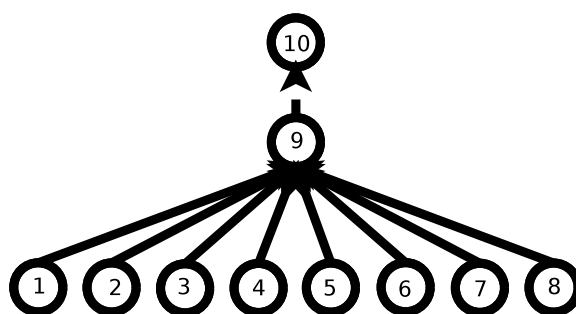


Figura 5. Topologia de rede contendo um *gateway* comum para um conjunto de nós.

retenção do MAPAS possibilita uma melhor gerência do tempo de retenção dos pacotes, permitindo que estes cheguem ao destino dentro dos limites estabelecidos pela aplicação.

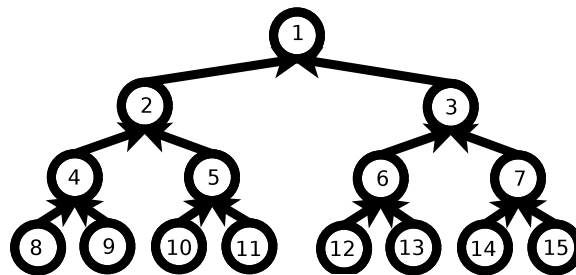
4.2. Segundo Cenário: Rede Multiplexada

A característica deste cenário mostra um conjunto de nós que possui um *gateway* comum (o nó 9 na Figura 5). O intuito deste teste é verificar até que ponto o MAPAS consegue garantir a temporização dado as característica de um enlace compartilhado entre vários nós que desejam rotear seus dados através de um mesmo nó intermediário. Neste cenário, cada um dos oito nós estão conectados a um único nó através de enlaces com capacidade 100kBps. Cada um deste nós enviará dez mil pacotes ao nó 10 em intervalos de 20ms, totalizando 80 mil pacotes. Novamente, variamos a capacidade do último enlace, isto é, entre os nós 9 e 10. A Tabela 2 apresenta os resultados da simulação para o caso em que a capacidade do último enlace é fixa em 50kBps.

Como pode ser visto na Tabela 2, qualitativamente os resultados são similares aos obtidos no primeiro cenário. Nota-se que o MAPAS permite a entrega dos dados dentro dos limites estabelecidos pela aplicação, não gerando atrasos e evitando descarte. Por este motivo, a vazão obtida pelo MAPAS é maior do que das outras propostas. O mecanismo de agregação do MAPAS permite reduzir o volume de pacotes enviados, e consequentemente, o volume de cabeçalhos e dados de controle trafegados. A redução obtida pelo MAPAS em termos de volume de cabeçalhos corresponde a uma redução de mais de 55% se comparado com um mecanismo convencional. O atraso (*delay*) máximo introduzido pelo MAPAS é menor que das outras propostas e está dentro dos limites de

Tabela 2. Resultados obtidos para o segundo cenário simulado.

	Sem agregar	Castro et al.	MAPAS
Número de transmissões	160.000	100.000	31.669
Cabeçalhos enviados (<i>bytes</i>)	12.160.000	10.400.000	6.733.454
<i>Throughput</i> (kBps)	51,45	57,34	64,04
<i>Overhead</i> induzido (%)	66,67	63,11	52,55
Perda de pacotes (%)	40,94	40,96	0
<i>Delay</i> máximo (ms)	150	150	145
<i>Jitter</i> (ms)	60	48	19
Máximo de pacotes agregados	1	4	16
Média de pacotes agregados	1	1,33	4,44

**Figura 6. Topologia hierárquica composta de 15 nós.**

uma aplicação VoIP. Além disso, o MAPAS apresenta a menor variação de atraso (*jitter*) entre as propostas apresentadas.

4.3. Terceiro Cenário: Rede Hierárquica

O último cenário estudado é apresentado na Figura 6, onde a topologia tem o formato de árvore invertida. Neste cenário, todos os enlaces possuem a mesma capacidade. O intuito é verificar o desempenho do MAPAS em um cenário em que ele não se beneficiasse da diferença de velocidade dos enlaces.

Nesse cenário, há 15 nós ligados de maneira hierárquica, com cada um dos nós da base (folhas) enviando dez mil pacotes ao nó do topo (raiz). Novamente, cada pacote é gerado a um intervalo constante de 20ms, totalizando 80 mil pacotes.

Tabela 3. Resultados obtidos para o terceiro cenário de rede simulado.

	Sem agregar	Castro et al.	MAPAS
Número de transmissões	240.000	147.768	108.572
Cabeçalhos enviados (<i>bytes</i>)	18.240.000	16.163.916	12.639.984
<i>Throughput</i> (kBps)	99,5	126,4	108,7
<i>Overhead</i> induzido (%)	66,67	63,93	58,09
Perda de pacotes (%)	15,37	0	0
<i>Delay</i> máximo (ms)	150	134	145
<i>Jitter</i> (ms)	32	20	19
Máximo de pacotes agregados	1	2,88	14
Média de pacotes agregados	1	1,55	3,57

É possível perceber que em um cenário mais homogêneo com relação aos enlaces, tanto o MAPAS quanto o método proposto [Castro et al. 2007] são eficazes. Conforme mostra a Tabela 3, ambas as propostas entregam todos os pacotes nos tempos corretos (atraso máximo e frequência de chegada, representada pelo *jitter*). Quando avaliamos os métodos propostos em função do número de transmissões necessárias para transmitir os dados gerados, nota-se que o MAPAS é mais eficiente, obtendo redução de aproximadamente 36%. Isso se dá pelo fato do MAPAS possuir um mecanismo mais elaborado para reter os pacotes, permitindo assim melhores condições para a agregação. A redução no volume de dados de controle trafegados também são menores no MAPAS.

4.4. Resultados consolidados

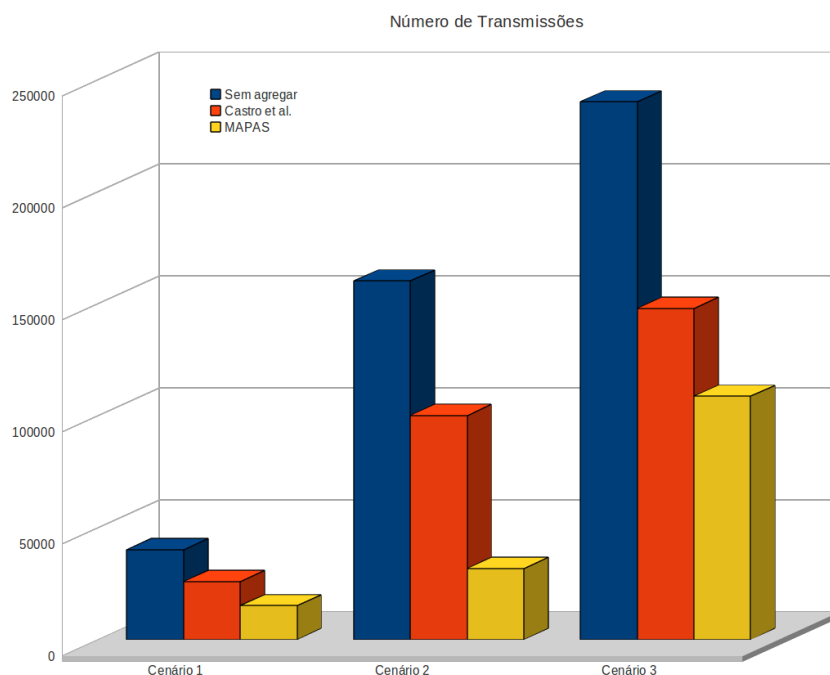


Figura 7. Comparativo gráfico do número de transmissões realizado em cada cenário usando as três abordagens implementadas.

A Figura 7 apresenta os dados consolidados dos cenários apresentados anteriormente. Neste gráfico é possível comparar o número de transmissões ocorrido em cada cenário. Nota-se que o MAPAS apresenta o menor custo de transmissão em relação as outras abordagens. Em geral, o MAPAS consegue entregar o mesmo volume de dados com uma redução de aproximadamente 50% no volume de transmissões nos cenários avaliados. A Figura 8 apresenta o volume total dos dados trafegados (*payload*) e o respectivo volume de dados de cabeçalhos (*overhead*) gerado para mover os dados da origem ao destino em cada cenário simulado. Lembramos que o volume de *payload* é igual para cada cenário, independente da abordagem utilizada. Nota-se que o MAPAS transfere o mesmo volume de dados das outras abordagens possibilitando realizar as transmissões com um custo menor em termos de número de pacotes gerados.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

A principal contribuição deste trabalho foi propor um mecanismo de agregação de pacotes voltado para ambientes de redes sem fio. O mecanismo proposto, denominado MAPAS,

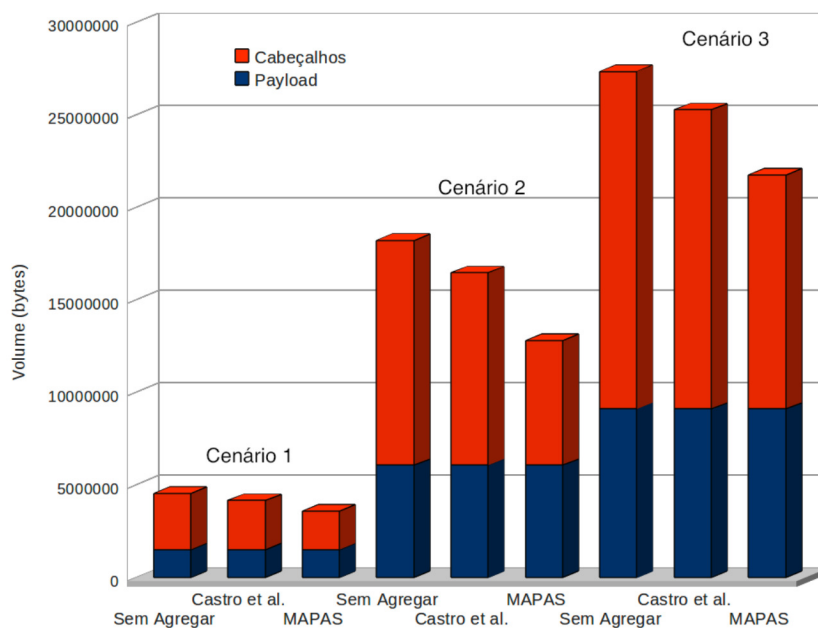


Figura 8. Comparativo gráfico do volume em bytes transmitido em cada cenário usando as três abordagens implementadas.

caracteriza-se pela utilização de estimativas de tempo para realizar a entrega dos dados de forma a permitir a agregação dos pacotes e manter o atraso máximo dentro dos limites da aplicação. O mecanismo de agregação proposto foi avaliado através de simulações e os resultados comparados com mais duas propostas: o método convencional onde não há agregação e outro método que utiliza agregação. Os resultados mostram que o MAPAS permite uma maior agregação de dados quando comparado com outros mecanismos, em especial em ambientes onde os enlaces não possuem as mesmas capacidades. Vale ressaltar que em ambientes reais, a capacidade do enlace sem fio pode variar por diversos fatores, a distância entre os nós sendo uma delas.

O mecanismo proposto pelo MAPAS permite manter a variação do atraso e atraso total dentro dos limites aceitáveis pela aplicação. Para os cenários apontados, foi possível validar o desempenho obtido. Como os resultados foram bastante positivos, é possível ver essa nova técnica como uma alternativa na otimização do uso de redes sem fios, em especial daquelas em que o tráfego predominante é o de aplicações de tempo real, como VoIP. Como trabalhos futuros, pretende-se realizar uma avaliação do desempenho do MAPAS sob a óptica da camada de enlace, tendo em vista a redução do volume de dados trafegados, o que implica diretamente no custo de bateria e contenção pelo meio. Estes dados devem apontar para uma melhoria ainda mais significativa do MAPAS em relação a outros mecanismos.

Referências

- [Bordim et al. 2010] Bordim, J. L., Caetano, M. F., Barreto, P. S., and Barbosa, A. V. (2010). Theoretical maximum throughput of IEEE 802.11g networks.
- [Bordim et al. 2004] Bordim, J. L., Kosuga, M., Tanaka, S., Haq, M., and Matsumoto, M. (2004). Admission control and simple class based QoS provisioning for mobile ad

- hoc networks. In *Proceedings of the IEEE 60th Vehicular Technology Conference*, volume 2, pages 1533–1548.
- [Castro et al. 2007] Castro, M. C., Dely, P., Karlsson, J., and Kassler, A. (2007). Capacity increase for voice over IP traffic through packet aggregation in wireless multihop mesh networks. *International workshop on Wireless Ad Hoc, Mesh and Sensor Networks*.
- [Correio Popular Online 2005] Correio Popular Online (2005). Tecnologia voip revoluciona a comunicação nas empresas. *Caderno Economia*.
- [IEEE 2007] IEEE (2007). Part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. Technical report, IEEE Std 802.11.
- [ITU-T 1996] ITU-T (1996). General characteristics of international telephone connections and international telephone circuits one-way transmission time.
- [Johnson et al. 2007] Johnson, D. et al. (2007). The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4. RFC 4728.
- [Katti et al. 2006] Katti, S., Rahul, H., Hu, W., Katabi, D., Medard, M., and Crowcroft, J. (2006). XORs in the air: Practical wireless network coding. In *ACM SIGCOMM*, volume 36, pages 243–254.
- [Oliveira 2007] Oliveira, C. X. (2007). Implantação de um laboratório de voz sobre ip na unb. Monografia de Graduação em Ciência da Computação na Universidade de Brasília.
- [Página do Codec iLBC 2010] Página do Codec iLBC (2010). www.ilbcfreeware.org.
- [Petrović et al. 2003] Petrović, D., Shah, R. C., Ramchandran, K., and Rabaey, J. (2003). Data funneling: Routing with aggregation and compression for wireless sensor networks. In *ICC 2003 International Conference on Communications*, pages 156–162.
- [Raghavendra et al. 2006] Raghavendra, R., Jardosh, A. P., Belding-Royer, E. M., and Zheng, H. (2006). IPAC: IP-based adaptive packet concatenation for multihop wireless networks. In *40th Asilomar conference on signals, systems and computers*, pages 2147–2153.

