

# O uso do mecanismo de pares de pacotes sobre redes IEEE 802.11b

Arlindo Flávio da Conceição<sup>1</sup> \*, Fabio Kon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupos de Sistemas Distribuídos – Departamento de Ciência da Computação  
Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo (DCC - IME/USP)  
<http://gsd.ime.usp.br>

{arlindo,kon}@ime.usp.br

**Abstract.** *This work analyses the behavior of the Pair of Packet mechanism over IEEE 802.11b networks. In special, it analyses the use of this mechanism as an indicator for dynamic adaptations in video streaming applications over wireless networks. In addition, it describes the mechanism implementation and its capabilities for the detection of gray zones.*

**Resumo.** *Este trabalho avalia empiricamente a utilização do mecanismo de pares de pacotes sobre redes sem fio IEEE 802.11b. Analisa-se o uso do mecanismo como um indicador para adaptação em aplicações para transmissão de vídeo sobre redes IEEE 802.11b. Analisa-se também a implementação do mecanismo e sua utilização para detecção de sombras.*

## 1. Introdução

Estimar a capacidade fim-a-fim de redes sem, no entanto, gerar sobrecargas que interfiram no seu desempenho é um problema que tem merecido considerável atenção [Bolot, 1993]. O mecanismo de pares de pacotes [Keshav, 1994] representa uma solução de baixo custo computacional para este problema e consiste em enviar pacotes a intervalos constantes e observar variações no recebimento destes pacotes. Notadamente, a recepção destes pacotes sofre influência da rede, a qual se manifesta tanto na perda de pacotes quanto na variação do intervalo entre os mesmos. Através da observação desta influência, torna-se possível inferir as condições da rede.

O objetivo deste trabalho é analisar o mecanismo de pares de pacotes na determinação das condições de operação de redes sem fio IEEE 802.11b. Mais especificamente, o objetivo é explorar o uso do mecanismo de pares de pacotes como indicador para a necessidade de adaptação de aplicações de vídeo sobre redes IEEE 802.11b. Com abordagem predominantemente empírica, este trabalho tem também o intuito de validar, no contexto de redes IEEE 802.11b, os resultados obtidos para redes cabeadas [Roesler et al., 2003].

Para cumprir os objetivos acima, a Seção 2 descreve o mecanismo de pares de pacotes e discute trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta as motivações para a exploração do mecanismo de pares de pacotes no contexto de transmissão de vídeo sobre redes sem fio. A Seção 4 descreve o ambiente experimental utilizado. A Seção 5 mostra o comportamento do mecanismo de pares de pacotes sobre redes IEEE 802.11b e a seção 6 explora sua utilização no contexto de distribuição de vídeo. Por fim, a Seção 7 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

## 2. Mecanismo de pares de pacotes

O mecanismo de pares de pacotes é um caso especial do mecanismo de trem de pacotes. Como ilustra a Figura 1, o mecanismo de trem de pacotes consiste em um emissor e um receptor, onde o emissor envia pacotes pela rede a intervalos constantes e o receptor verifica o comportamento da chegada dos pacotes.

---

\* Com o apoio financeiro do CNPq, processo 141415/2002-9.

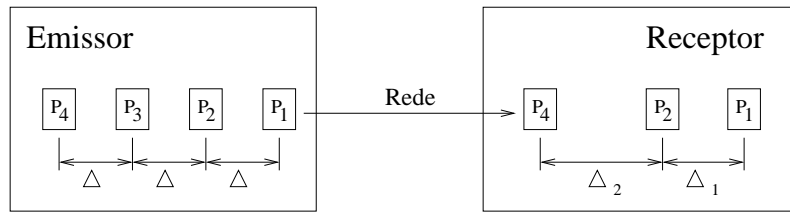


Figura 1: Mecanismo de trem de pacotes.

No receptor, durante o recebimento, pode-se observar variações no intervalo entre pacotes ou mesmo a perda de alguns pacotes. Estas variações ocorrem principalmente em função das condições da rede. De maneira geral, redes congestionadas implicam maiores variações, enquanto redes ociosas implicam recepções mais estáveis.

O mecanismo de pares de pacotes, por sua vez, consiste em enviar, a intervalos regulares, pares de pacotes do emissor para o receptor. Os pacotes pertencentes a um par são, em geral, inseridos na rede sem intervalo entre eles; ou seja, um imediatamente após o outro, como ilustra a Figura 2. Para simplicidade do texto, a diferença de tempo entre o recebimento dos pacotes de um par será chamada de **IEP** (Intervalo Entre Pacotes).

No contexto de transmissão de vídeo, emissor e receptor de pares de pacotes são, respectivamente, servidor de vídeo e cliente.

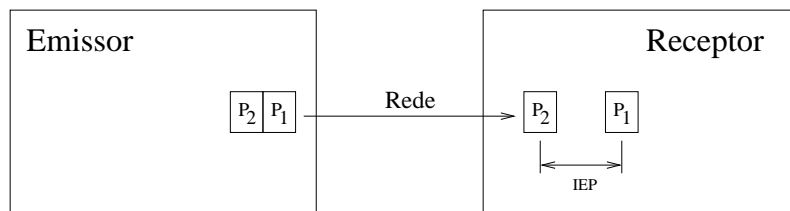


Figura 2: Mecanismo de par de pacotes.

A implementação do mecanismo de pares de pacotes requer algumas decisões de projeto, como o tamanho dos pacotes, o protocolo de transporte, os intervalos entre pares de pacotes e o intervalo entre os pacotes do par etc. Estas escolhas dependem da aplicação, mas deve-se destacar o uso do protocolo UDP como protocolo de transporte. Datagramas UDP são comumente usados pois não possuem retransmissões e trocas de mensagens de controle, o que mascararia o real comportamento dos IEPs. Se o protocolo fosse TCP, as retransmissões e mecanismos internos do protocolo poderiam invalidar as medições.

## 2.1. Trabalhos relacionados

Mecanismos de pares de pacotes e suas variações são usados para inferência de rede há pouco mais de 10 anos. Um dos primeiros trabalhos foi [Keshav, 1991a], onde o controle de fluxos levava em consideração o intervalo entre pares de pacotes. Esta abordagem também pode ser encontrada em [Keshav, 1991b] e [Keshav, 1994].

Em [Bolot, 1993], usava-se pequenos datagramas UDP (*probe packets*) para caracterizar o comportamento fim-a-fim de perdas e atrasos na Internet. Este foi um dos primeiros trabalhos a observar a importância de tais mecanismos para as então emergentes aplicações de áudio e vídeo.

Recentemente, [Roesler et al., 2003] utilizou o mecanismo de pares de pacotes para estimar a capacidade máxima de redes cabeadas, utilizaram principalmente simulações mas também validaram seus resultados experimentalmente.

Dentre as principais constatações sobre o comportamento dos pares de pacotes estão:

- Maior estabilidade e precisão do método quanto maiores forem os pacotes utilizados;
- Maior confiabilidade das inferências quanto maior o número de IEPs analisados;
- Adequação do método para inferência da capacidade máxima da rede, mas não para inferência da utilização da rede.

Além de estender e corroborar os resultados obtidos nos trabalhos anteriores, o diferencial deste trabalho consiste em utilizar o mecanismo de pares de pacotes em redes sem fio IEEE 802.11b. Outro diferencial é explorar o mecanismo de pares de pacotes para detecção de áreas de sombra<sup>1</sup> nestas redes; até o presente momento não encontramos referência na literatura sobre este uso do mecanismo.

### 3. Motivações

As motivações para este trabalho, além de serem muitas, são muito bem “costuradas” entre si. Primeiro a popularização das redes IEEE 802.11b; especialmente no último salto da rede, ou seja, como meio de acesso dos usuários. Segundo, a popularização das aplicações multimídia. Terceiro, a não adequação dos protocolos atuais para transmissão de vídeo sobre redes IEEE 802.11b.

Em geral, as aplicações de vídeo adotaram protocolos construídos sobre o protocolo UDP para a transmissão de quadros de vídeo [Schulzrinne et al., 2000, Chen, 1997, Kon et al., 1998, Bolosky et al., 1997, Chen et al., 1995, McCanne and Jacobson, 1995]. A escolha de UDP, um protocolo não confiável, deve-se principalmente ao fato de UDP alcançar maiores taxas de transmissão do que os protocolos confiáveis e ao fato de aplicações de vídeo tolerarem pequenas taxas de perdas de pacotes. Indiretamente, outro fator para a escolha de UDP é a não tolerância das aplicações de vídeo ao atraso de pacotes, sendo muitas vezes preferível a perda de um pacote ao seu atraso. Protocolos confiáveis, como o protocolo TCP, contornam as perdas de pacotes através de retransmissões, mas estas retransmissões implicam atrasos que são fortemente inadequados para as aplicações de vídeo.

Entretanto, a utilização de UDP sobre redes IEEE 802.11b sem mecanismos auxiliares de controle também acarreta situações indesejáveis [da Conceição and Kon, 2003]. Um exemplo de situação indesejável é a interferência da mobilidade de uma unidade móvel na qualidade de recepção das outras unidades móveis atendidas por um mesmo ponto de acesso. Portanto, são necessários mecanismos adaptativos para o controle e minimização destas interferências.

O mecanismo de pares de pacotes é promissor para a monitoração de aplicações de vídeo principalmente porque os pares de pacotes podem ser os próprios quadros de vídeo. Ou seja, não se transmite nada além do que já seria transmitido. Isto é possível porque tanto o mecanismo de pares de pacotes quanto as aplicações para transmissão de vídeo utilizam datagramas UDP. Além disso, o mecanismo de pares de pacotes é mais preciso quanto menor for o número de saltos na rede (*hops*). Sendo assim, o mecanismo também deve adequar-se bem ao propósito de monitorar o enlace sem fio, pois este enlace é geralmente o último salto da rede de acesso.

Em [da Conceição and Kon, 2003] também mostrou-se que as redes IEEE 802.11b mantêm-se operantes mediante pequenas sobrecargas de sua capacidade, isto ocorre devido aos *buffers* do ponto de acesso. Deste modo, enviar dois quadros de vídeo, um imediatamente após o outro, não deve interferir nas transmissões, como será visto na Seção 6.1.

Ademais, o tamanho dos pacotes usados no mecanismo de pares de pacotes e os recomendados para transmissão de vídeo são compatíveis. Por exemplo, em [Ikkurthy and Labrador, 2002] recomenda-se a transmissão de fluxos contínuos de vídeo MPEG em pacotes de aproximadamente 750 bytes e em [Roesler et al., 2003] constatou-se que pacotes de 500 a 1000 bytes são adequados aos mecanismos de trem de pacotes. Estes valores também estão abaixo dos limites de fragmentação da camada MAC de IEEE 802.11b, tal que não

---

<sup>1</sup>Regiões mal cobertas pelo sinal de um ponto de acesso, onde as transmissões tendem a degradar-se.

implicam indesejáveis fragmentações de quadros de vídeo (pacotes UDP) em dois ou mais quadros de transmissão da camada MAC.

## 4. Experimentos

Nos experimentos foram usadas duas ferramentas: um protótipo para troca de pares de pacotes e um gerador de fluxos contínuos UDP. As ferramentas foram escritas em Java e implementam o modelo cliente/servidor. Os códigos-fonte estão disponíveis em <http://www.ime.usp.br/~arlando/sourcecode>.

O protótipo para troca de pares de pacotes foi usado nas avaliações de comportamento do mecanismo de pares de pacotes apresentadas na Seção 5. É muito simples, leve e flexível. Basicamente, o emissor envia pares de pacotes para o receptor com intervalos entre pares, intervalo entre pacotes do par e tamanho dos pacotes definidos parametricamente.

O gerador de fluxos contínuos UDP, utilizado nos experimentos apresentados na Seção 6, envia pacotes UDP do servidor para o cliente a uma taxa constante. Desta forma, ele emula o comportamento de aplicações de vídeo segundo o modelo CBR (*constant bit rate*). As características do fluxo, como por exemplo o número de pacotes por segundo e o tamanho dos pacotes, também são definidos parametricamente. O gerador de fluxos é mais complexo e extenso do que o protótipo para troca de pares de pacotes, pois possui inúmeras funcionalidades a mais do que este, como monitores de fluxos e canais de controle entre servidor e cliente.

Para explorar os pares de pacotes, o gerador de fluxos foi alterado para, a cada 0,5 s, enviar dois pacotes UDP (equivalente a dois quadros de vídeo) sem intervalo entre eles. Estes dois pacotes são marcados para que o receptor identifique-os como pertencentes ao par de pacotes.

As duas ferramentas foram utilizadas segundo o modelo cliente/servidor, ou emissor/receptor, onde o servidor envia pacotes UDP para unidades móveis. O servidor está conectado à mesma subrede do ponto de acesso, por cabeamento Fast Ethernet de 100 Mbps, e as unidades móveis foram conectadas ao ponto de acesso por cartões PCMCIA IEEE 802.11b. A Figura 3 ilustra o ambiente experimental utilizado.

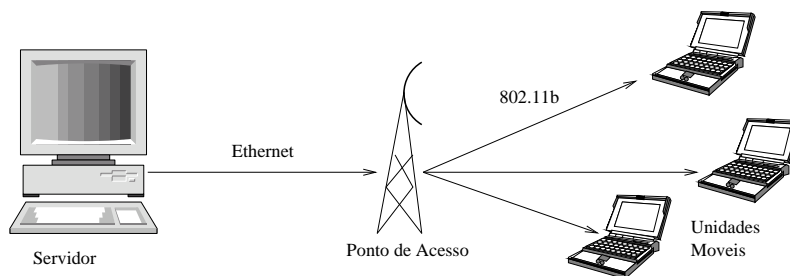


Figura 3: Ambiente experimental.

O servidor utilizado foi um Dual-Pentium III, com 2 processadores de 1 GHz e 512 MB de memória, sistema operacional Debian-Linux. O ponto de acesso é de fabricação Samsung, modelo SWL-4000 AP. As unidades móveis foram computadores portáteis Compaq:

- Unidade móvel A. Pentium III, 800 MHz e 128 MB de memória. Sistema operacional Debian-Linux. Cartão PCMCIA para interface IEEE 802.11b; Lucent WaveLAN, modelo PC24E-H-FC. Resolução do relógio de 1 ms.
- Unidade móvel B. Pentium III, 1 GHz e 256 MB de memória. Sistema operacional Windows 2000. Cartão PCMCIA para interface IEEE 802.11b; Samsung MagicLAN, modelo SWL-2100N. Resolução do relógio de 10 ms.

Além das ferramentas descritas anteriormente, foi usado o *benchmark* Netperf [Hewlett-Packard Staff, 2003] para estimar a capacidade total da rede e para validar as ferramentas construídas. Este *benchmark* foi desenvolvido em C nos laboratórios da HP e foi escolhido por ser simples, bastante utilizado pela comunidade de rede e por estar sendo incorporado à distribuição Debian do Linux.

As taxas de transmissão mencionadas nos experimentos sempre referem-se às taxas de transmissão de carga útil, ou seja, não incluem os cabeçalhos UDP/IP. No ambiente de testes, a maior taxa de transmissão alcançada pelas ferramentas (Netperf e o gerador de fluxos) foi de aproximadamente 5,6 Mbps. Ou seja, no ambiente de testes, a carga útil máxima é de aproximadamente 5,6 Mbps<sup>2</sup>. As resoluções de relógio mencionadas foram obtidas através das APIs de Java.

Os experimentos apresentados a seguir foram executados pelo menos 5 vezes ou por tempo suficiente para fornecer amostras livres de variações ocasionais. Tomou-se o cuidado de apresentar apenas resultados consistentes, ou seja, aqueles experimentos que, mesmo na presença de variações, foram coerentes em todas as execuções. Os experimentos apresentados neste artigo foram escolhidos entre o grupo de execuções por melhor representarem o caso médio das medições. Os experimentos sobre IEPs, em sua maioria, foram realizados usando-se pacotes de 1000 bytes, como recomendam [Roesler et al., 2003, Ikkurthy and Labrador, 2002]. Outros tamanhos de pacotes, quando usados, são devidamente mencionados.

## 5. Comportamento do mecanismo sobre redes IEEE 802.11b

Esta seção traz experimentos que apresentam o comportamento do mecanismo de pares de pacotes sobre redes IEEE 802.11b. De maneira geral, os resultados corroboram os resultados anteriormente obtidos para redes com fio (Seção 2.1). Todavia, explora-se ainda uma característica exclusiva das redes sem fio.

### 5.1. Comportamento em função da utilização da rede

O objetivo inicial deste trabalho era utilizar o mecanismo de pares de pacotes para inferir a carga total servida por um ponto de acesso, ou seja, a vazão global da rede sem fio. Com este objetivo, foram realizados experimentos onde fluxos contínuos UDP, com diferentes taxas de transmissão, são enviados do servidor para o computador **B**. O computador **B** está localizado próximo ao ponto de acesso, em um local bem coberto pelo sinal da rede sem fio. Concorrentemente aos fluxos enviados para o computador **B**, são enviados pares de pacotes para o computador **A**.

O experimento consiste em variar a taxa de transmissão dos fluxos contínuos UDP (vídeo) enviados para o computador **B** e verificar a influência desta carga no comportamento dos pares de pacotes enviados para o computador **A**. Note que os fluxos contínuos são para o computador **B** e que os IEPs são observados no computador **A**. Nestes experimentos, os pacotes utilizados nos pares foram de 1000 bytes.

A Figura 4 apresenta a variação dos IEPs em função da carga da rede sem fio. A curva de 0 Mbps representa a rede ociosa e as curvas de 2, 3 e 4 Mbps representam as taxas enviadas do servidor para o computador **B**. Observe que não há variação significativa nos IEPs em função da largura de banda utilizada.

A pequena variação implica que não se pode inferir o volume de dados servidos por um ponto de acesso em função dos IEPs observados por uma unidade móvel. Isto pode ser explicado pelo fato de um par de pacotes “caber” nos micro intervalos ociosos da transmissão. Usar pacotes maiores (no experimento foram usados pacotes de 1000 bytes) poderia fazer com que os IEPs fossem influenciados pela carga total da rede, mas neste caso estaríamos influenciando a carga da rede, o que não é desejável.

Apesar dos pares de pacotes não expressarem a carga total da rede, a Seção 5.2 mostra que eles podem fornecer boas aproximações para a carga máxima suportada pela rede.

---

<sup>2</sup>O leitor não deve se surpreender com o fato da taxa nominal de IEEE 802.11b ser de 11 Mbps e a carga máxima no ambiente de testes ser de apenas 5,6 Mbps. Em geral, a eficiência destas redes não ultrapassa 60% da taxa nominal, e o seu limite teórico é de aproximadamente 70% da taxa nominal [Cali et al., 1998].

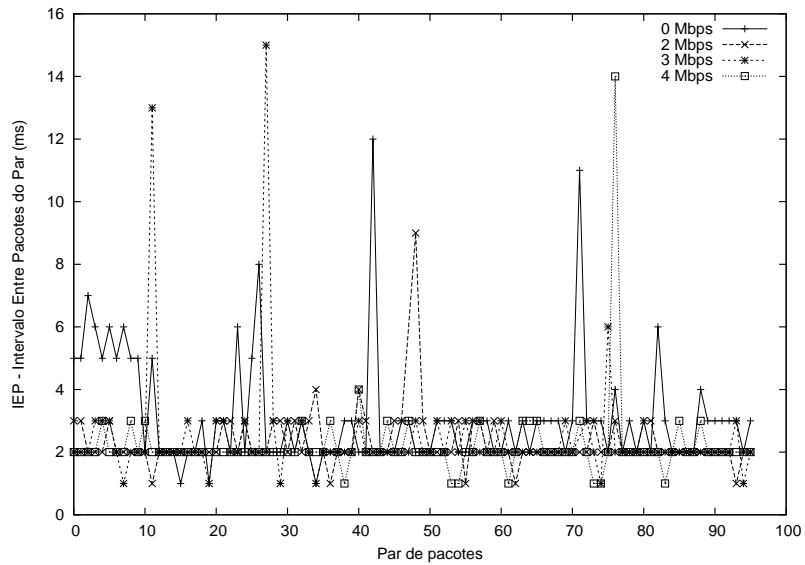


Figura 4: Comportamento do mecanismo de pares de pacotes em função da carga da rede.

### 5.2. Inferência da carga máxima da rede

A Figura 5 mostra outro experimento onde varia-se o tamanho dos pacotes usados nos pares de pacotes. Neste experimento são enviados, do servidor para o computador A, pares de pacotes de 1000 a 16000 bytes. Como poderia-se esperar, dado que existe uma relação direta entre o tamanho dos pacotes e o tempo de transmissão dos mesmos, os valores de IEP variaram proporcionalmente ao tamanho dos pacotes.

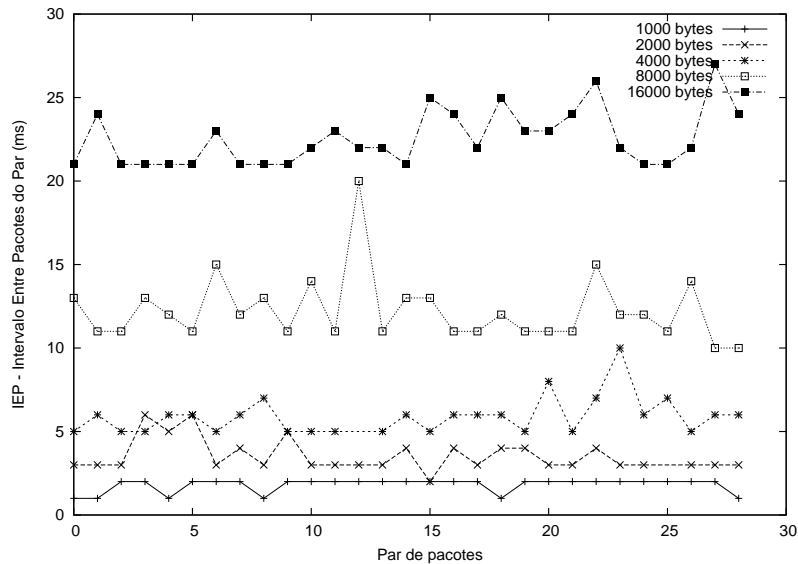


Figura 5: Comportamento do mecanismo de pares de pacotes em função do tamanho dos pacotes.

O valor dos IEPs também pode ser usado para calcular uma aproximação da carga máxima da rede. Grosso modo, se um pacote de 1000 bytes leva 1 ms para ser transmitido pela rede, então um pacote de 2000 bytes deve levar pelo menos 2 ms. Deste modo, a carga máxima da rede pode ser inferida, de maneira simplificada, segundo a fórmula que definimos:

$$Mbps = (8 * (n + header)) / (t * 1000)$$

Onde  $n$  é o tamanho do pacote em bytes,  $header$  é o total de bytes dos cabeçalhos e  $t$  é o IEP médio em milissegundos. No caso estudado  $header = 28$ , sendo 20 bytes do cabeçalho IP e 8 bytes do cabeçalho UDP. A fórmula infere a carga máxima em função dos bits transferidos e do tempo gasto com a transferência (IEP médio).

A tabela a seguir mostra o valor médios dos IEPs (observados no experimento da Figura 5) e uma inferência utilizando a fórmula proposta.

Tamanho do pacote	1000	2000	4000	8000	16000
IEP médio (ms)	1.79	3.54	5.89	12.24	22.55
Inferência (Mbps)	4.59	4.59	5.47	5.25	5.69

Obviamente, existem outras variáveis a considerar, como as sobrecargas da camada MAC (cabeçalhos e mensagens de controle), a variabilidade das amostras, as sobrecargas de fragmentação etc. Mesmo assim, a inferência foi bastante próxima das taxas máximas alcançáveis no ambiente de experimentação, que é de aproximadamente 5,6 Mbps.

Observe que a precisão da inferência aumenta com o tamanho do pacote utilizado, a inferência foi especialmente precisa com pacotes maiores. Contudo, inferências baseadas em pacotes pequenos, como pacotes de 1000 bytes, podem oferecer limites inferiores significativos para a carga máxima da rede. Este resultado será explorado na próxima seção.

### 5.3. Comportamento em função da distância ao ponto de acesso

A Figura 6 mostra um experimento onde avalia-se o comportamentos dos IEPs em função da distância da unidade móvel ao ponto de acesso. Para isto, o servidor envia pares de pacotes para o computador A, o tamanho dos pacotes é de 1000 bytes e as medições são realizadas a diferentes distâncias do ponto de acesso. Observe que a 28 m do ponto de acesso os valores dos IEPs são visivelmente diferentes dos valores observados nas regiões mais próximas do ponto de acesso.

A Figura 7 mostra o deslocamento do computador A da região afastada do ponto de acesso para um local próximo. Desta forma, deseja-se mostrar que os valores de IEP reduzem-se ao se aproximar do ponto de acesso, como se podia esperar.

Dado que a variação dos IEPs é consistente com a variação da distância ao ponto de acesso, então por que não usá-la para, além de inferir um limite de carga, inferir a presença em áreas de sombra? Ou ainda a distância da unidade móvel ao ponto de acesso?

Em redes sem fio IEEE 802.11b, inferir se uma unidade móvel está em uma área de sombra, com base em monitoramento feito na camada de aplicação, é dificultado por mecanismos internos do protocolo. A camada MAC de IEEE 802.11b, antes de notificar ao protocolo da camada superior a perda de um quadro de transmissão, retransmite este quadro de 4 a 7 vezes, dependendo do tamanho do quadro [Gast, 2002]. A implicação para a detecção de erros da aplicação é imediata, pois o mecanismo de reenvio automático mascara a real taxa de perdas de pacotes.

Devido as retransmissões sobre redes IEEE 802.11b, a taxa de perda de pacotes observada por uma aplicação de vídeo não é uma medida fiel para a qualidade da transmissão. A perda de um pacote pode ocorrer depois de 7 reenvios, o equivalente a 7 perdas de pacotes. Além disso, um pacote pode ser recebido na primeira tentativa, ou após 6 tentativas frustradas, mas esta informação não esta disponível nas interfaces de programação de rede (APIs), impossibilitando a realização de diagnósticos fiéis sobre a qualidade da transmissão pela camada de aplicação.

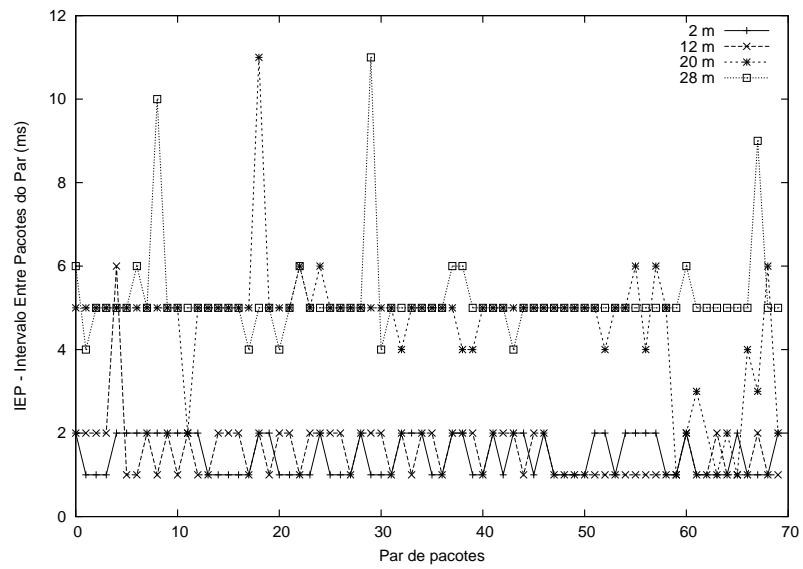


Figura 6: Comportamento do mecanismo de pares de pacotes em função da distância ao ponto de acesso.

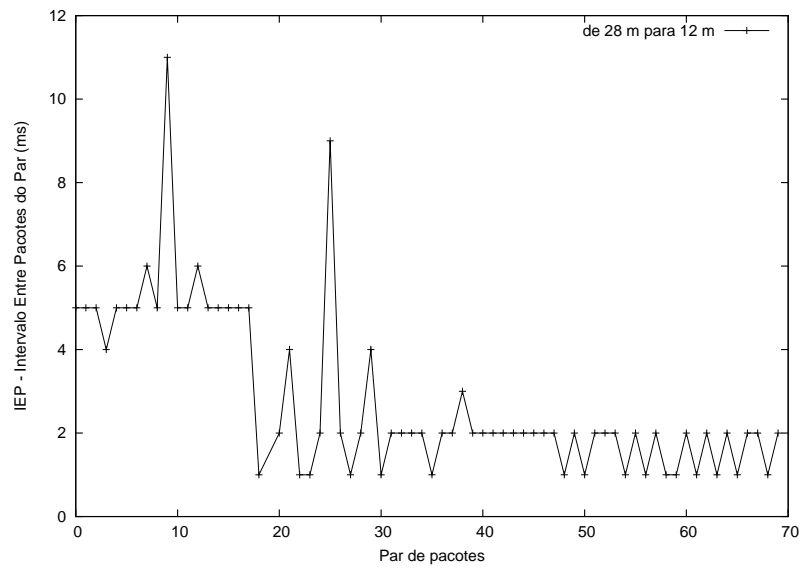


Figura 7: Variação do intervalo durante deslocamento da unidade móvel.



Portanto, a variação dos IEPs pode ser mais uma fonte de informações para a adaptação de sistemas, constituindo uma alternativa ou complemento à tradicional análise da taxa de perda de pacotes, uma vez que é sabido que este último tipo de análise precisa ser complementada para atender as redes sem fio [Balakrishnan et al., 1997, Sinha et al., 1999]. A viabilidade desta alternativa será explorada na seção seguinte.

## 6. Uso do mecanismo na transmissão de vídeo

Os IEPs, como mostrou a seção anterior, fornecem indicadores para adaptação. Mas, na prática, serão estes indicadores realmente úteis? Esta seção explora o uso de pares de pacotes em transmissões de vídeo. De fato, o mecanismo de pares de pacote foi implementado em um gerador de fluxos contínuos UDP, simulando, desta forma, a implementação em um servidor de vídeo real.

### 6.1. Interferência do mecanismo de pares de pacotes nos fluxos de vídeo

Para verificar a viabilidade de uso dos mecanismos de pares de pacotes na distribuição de multimídia é preciso avaliar se o uso destes mecanismos não interfere negativamente nas transmissões. A Figura 8 mostra dois fluxos de 2 Mbps simultaneamente enviados do servidor para o computador A, sendo um fluxo com mecanismo de pares de pacotes e outro não. Pode-se observar que não há diferença relevante de comportamento entre os dois fluxos.

O experimento também mostra duas situações onde a unidade móvel foi deslocada para uma área afastada do ponto de acesso, a primeira aproximadamente aos 200 s e a segunda aproximadamente aos 800 s. O comportamento dos fluxos também é semelhante nestas situações.

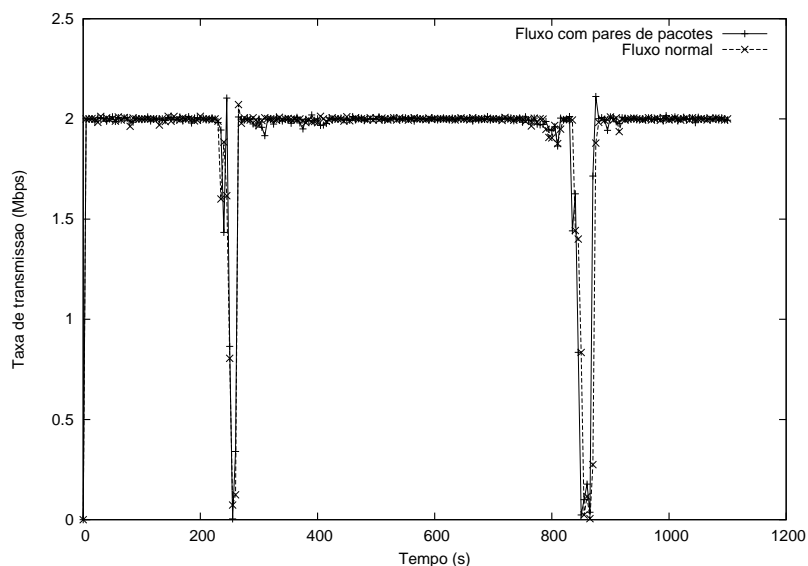


Figura 8: Comportamento dos fluxos contínuos UDP.

Portanto, o mecanismo de pares de pacotes não afetou o comportamento geral dos fluxos. Neste experimento foram usados pacotes de 10000 bytes, ou seja, pacotes bem maiores do que os utilizados em transmissão de multimídia. Isto evidencia uma razão a mais para afirmar que a utilização de pares de pacotes não afetará os fluxos de vídeo sobre IEEE 802.11b.

## 6.2. Limitações para a implementação do mecanismo

Durante a implementação das ferramentas e execução dos experimentos, foram identificadas limitações para o uso do mecanismo de pares de pacotes. A principal limitação é a resolução do relógio, seguida da variabilidade das amostras e da interferência dos próprios algoritmos implementados.

### 6.2.1. Resolução do relógio

O computador **A**, com sistema operacional Linux, possui resolução do relógio de aproximadamente 1 ms. Apesar de parecer suficientemente pequena, esta resolução gera resultados com saltos unitários entre as amostras, o que dificulta a estabilidade dos algoritmos. Em computadores com outros sistemas operacionais, como por exemplo o computador **B** (Windows 2000), a resolução do relógio é ainda pior, neste caso da ordem de 10 ms.

### 6.2.2. Variabilidade

A alta variabilidade de IEEE 802.11b também é uma limitação importante. A grande variação entre execuções de fluxos sobre estas redes inviabiliza quaisquer minúcias estatísticas e ocorre, entre outras razões, devido a maior susceptibilidade dos canais sem fio a interferências<sup>3</sup>, bem como ao comportamento aleatório das colisões [Schiller, 2000].

Outra fonte de variabilidade é a diferença entre implementações das interfaces de rede sem fio. Não se pode assumir que o comportamento do mecanismo é o mesmo para interfaces de diferentes modelos e fabricantes. É sabido que existem diferenças relevantes no comportamento destas interfaces [da Conceição and Kon, 2003]. Deste modo, processos de calibração fatalmente serão necessários para utilização do mecanismo de pares de pacotes.

### 6.2.3. Interferências da implementação

Uma questão complexa é como evitar que o próprio sistema interfira nas amostras de IEPs. Tais interferências ocorrem, por exemplo, devido à utilização de fatias do processamento para a monitoração.

Durante nossas implementações, inicialmente, os IEPs medidos no gerador de fluxos eram maiores do que os obtidos com o protótipo para troca de pares de pacotes. Ambas as aplicações utilizavam a mesma linguagem de programação (Java) e os mesmos algoritmos para transmissão de pacotes, porém o gerador de fluxos era mais complexo em função de suas funcionalidades adicionais, como monitoração, estratégias adaptativas, *bufferização* etc. Os resultados só convergiram quando boa parte das funcionalidades do gerador de fluxos foi removida, isto exemplifica o grau de fragilidade do mecanismo de pares de pacotes.

## 6.3. Comparação entre indicadores para adaptação

No contexto de transmissão de vídeo sobre redes IEEE 802.11b, existem diversos indicadores da necessidade de adaptação. Alguns indicadores são:

- Variação do número de bytes transmitidos por segundo;
- Variação do número de quadros transmitidos por segundo;
- Variação do intervalo de recebimento de pacotes;
- Perda de pacotes etc.

---

<sup>3</sup>A faixa de frequência usada por IEEE 802.11b é sujeita à interferência de outros protocolos, como Bluetooth, e inclusive de eletrodomésticos, como o micro-ondas. Para mais informações vide: <http://www.oreillynet.com/pub/a/wireless/2001/03/29/microwave.html>, <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/953511> ou <http://www.nwfusion.com/columnists/2003/0804wizards.html>.

Com o mecanismo de pares de pacotes, pode-se definir mais um indicador:

- Variação nos IEPs.

Porém, antes de se utilizar os pares de pacotes, é preciso avaliar se este novo indicador possui vantagens sobre os anteriores. Dois critérios importantes para a comparação entre indicadores são a simplicidade de implementação e a precisão destes indicadores. A implementação do mecanismo de pares de pacotes não é complexa, mas exige cuidados.

Durante a implementação do mecanismo de pares de pacotes, no lado emissor, o cuidado primordial é enviar os pacotes pertencentes a um par imediatamente um após o outro. No lado receptor, é preciso evitar interferências nas medições dos IEPs. Mas, tanto no emissor, quanto no receptor, não se possui controle total sobre suas execuções; restando sempre possibilidade de variações na medição dos IEPs causadas, por exemplo, pelo escalonamento de tarefas.

Com relação à precisão, o maior problema é a dependência do mecanismo da resolução do relógio. A precisão da medição dos IEPs está sujeita à resolução do relógio, de forma que não é viável utilizar o mecanismo de pares de pacotes em computadores cuja resolução do relógio seja baixa, que é conhecida o caso dos computadores com sistema operacional da família Windows. Os gráficos apresentados na seção 4 mostram, por exemplo, que as flutuações da medição dos IEPs são, em geral, da ordem da precisão da resolução do relógio. Variações de 10 ms inviabilizariam o uso do mecanismo.

Em uma comparação direta entre o indicador fornecido pelo mecanismo de pares de pacotes e, por exemplo, o indicador de perda de pacotes: o mecanismo de pares de pacotes sai perdendo. Os IEPs são métricas excessivamente delicadas, que sofrem interferências das mais variadas origens, do escalonamento do sistema operacional à carga da rede. Por outro lado, a perda de pacotes oferece uma métrica mais robusta e que, inclusive, possui impacto direto na exibição dos vídeos transmitidos. Ademais, durante os experimentos, as variações nos IEPs foram acompanhadas de aumentos nas taxas de perda de pacotes<sup>4</sup>. Observe que isto representa mais uma fragilidade do mecanismo de pares de pacotes, pois a perda de um pacote do par inutiliza a amostra do IEP.

Portanto, os IEPs são métricas excessivamente instáveis, sujeitas à interferências variadas. Outras métricas, como a perda de pacotes, são mais robustas e simples de implementar.

## 7. Conclusões

Este trabalho avaliou empiricamente o comportamento do mecanismo de pares de pacotes na transmissão de fluxos contínuos UDP (vídeo) sobre redes IEEE 802.11b. Primeiramente, foi importante a validação do mecanismo de pares de pacotes nas redes IEEE 802.11b. Os resultados obtidos na rede sem fio foram semelhantes aos anteriormente obtidos em redes cabeadas [Roesler et al., 2003], inclusive a adequação do método para a inferência aproximada da capacidade máxima da rede.

Com relação ao uso do mecanismo de pares de pacotes como indicador da necessidade de adaptação de fluxos contínuos de vídeo sobre redes sem fio, observou-se a fragilidade do mecanismo, especialmente quando comparado com outros indicadores mais robustos, como a perda de pacotes. Além de menos robusto, o mecanismo de pares de pacotes também exige maiores cuidados em sua implementação. Portanto, não recomendamos sua utilização como indicador principal para adaptação de aplicações de vídeo, mas sim como indicador auxiliar. Um indicador especialmente interessante quando deseja-se, na camada de aplicação, diferenciar entre perdas aleatórias de pacotes e perdas ocasionadas pela redução da qualidade do sinal.

---

<sup>4</sup>Em nossas observações, a variação nos IEPs ocorreram ligeiramente antes do que a perda de pacotes, porém não temos suporte experimental suficiente para sustentar esta hipótese. Seria interessante validar a hipótese em ambientes de simulação, onde esta tênue diferença poderia ser confirmada.

Apesar dos resultados preliminares apontarem limitações, como a resolução do relógio e a variabilidade, deve-se destacar o potencial de utilização dos pares de pacotes como um bom indicador para a detecção de áreas de sombra, ou até mesmo para inferência da distância da unidade móvel ao ponto de acesso. Deste modo, está em aberto a viabilidade e precisão desta utilização do mecanismo e, no futuro, seria interessante explorá-la em simuladores, onde a variabilidade dos experimentos seja uma variável controlada.

Ademais, continuaremos a busca por novos indicadores e estratégias para adaptação de aplicações de vídeo sobre redes sem fio.

## Referências

- Balakrishnan, H., Padmanabhan, V. N., Seshan, S., and Katz, R. H. (1997). A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(6):756–769.
- Bolosky, W. J., Fitzgerald, R. P., and Douceur, J. R. (1997). Distributed Schedule Management in the Tiger Video Fileserver. In *Proceedings of the Sixteenth Symposium on Operating Systems Principles*, Saint Malo, France.
- Bolot, J.-C. (1993). Characterizing end-to-end packet delay and loss in the internet. *High-Speed Networks*, December 2(3):305–323.
- Cali, F., Conti, M., and Gregori, E. (1998). IEEE 802.11 wireless LAN: Capacity analysis and protocol enhancement. In *Proceedings of the Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM)*, volume 1, pages 142–149, San Francisco, CA.
- Chen, Z. (1997). *Coding and Transmission of Digital Video on the Internet*. PhD thesis, Computer Science Department, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Chen, Z., Tan, S.-M., Campbell, R. H., and Li, Y. (1995). Real Time Video and Audio in the World Wide Web. In *Fourth International World Wide Web Conference*, Boston. Also published in *World Wide Web Journal*, Volume 1 No 1, January 1996.
- da Conceição, A. F. and Kon, F. (2003). Adaptação de fluxos contínuos UDP sobre redes IEEE 802.11b. In *Workshop de comunicação sem fio e computação móvel (WCSF)*, pages 91–101, São Lourenço-MG, Brasil.
- Gast, M. S. (2002). *802.11 Wireless Networks. The definitive Guide*. O'Reilly.
- Hewlett-Packard Staff (2003). Netperf benchmark. Disponível em <http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>.
- Ikkurthy, P. and Labrador, M. A. (2002). Characterization of MPEG-4 traffic over IEEE 802.11b wireless lans. In *Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)*, Tampa, Florida.
- Keshav, S. (1991a). *Congestion Control in Computer Networks*. PhD thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California.
- Keshav, S. (1991b). A control-theoretic approach to flow control. In *Proceedings of the Conference on Communications Architecture & Protocols (ACM SigComm)*, pages 3–15, Zürich, Switzerland.
- Keshav, S. (1994). Packet-pair flow control. Disponível em <http://www.cs.cornell.edu/skeshav/doc/94/2-17.ps>.
- Kon, F., Campbell, R. H., Tan, S., Valdez, M., Chen, Z., and Wong, J. (1998). A Component-Based Architecture for Scalable Distributed Multimedia. In *Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Science and Technology (ICAST'98)*, pages 121–135, Lucent Technologies, Naperville.

- McCanne, S. and Jacobson, V. (1995). *vic: A Flexible Framework for Packet Video*. In *Proceedings of ACM Multimedia*, pages 511–522, San Francisco, CA.
- Roesler, V., Finzsch, P. M., de Andrade, M., and Lima, J. V. (2003). Análise do mecanismo de pares de pacotes visando estimar a banda da rede via UDP. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, Natal, Brasil.
- Schiller, J. (2000). *Mobile Communications*. Addison Wesley.
- Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., and Jacobson, V. (2000). RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Internet Draft, revision of RFC 1889.
- Sinha, P., Nandagopal, T., Venkitaraman, N., Sivakumar, R., and Bharghavan, V. (1999). WTCP: A reliable transport protocol for wireless wide-area networks. In *Proceedings of ACM Mobicom*, Seattle.