

Capacidade do Canal de Interatividade Ad Hoc para a TV Digital

Miguel Elias M. Campista, Igor M. Moraes, Pedro Miguel Esposito,
Aurelio Amodei Jr., Daniel de O. Cunha,
Luís Henrique M. K. Costa e Otto Carlos M. B. Duarte*

¹Grupo de Teleinformática e Automação, PEE-COPPE/DEL-POLI/UFRJ

Abstract. *This work analyzes the capacity of the ad hoc return channel using the wireless IEEE 802.11 technology in different Brazilian geographical scenarios. We conclude that when the number of transmitting nodes increases, the aggregated throughput can achieve 3.5 Mbps before saturation. These results prove that the ad hoc network is a viable solution for the Digital TV return channel.*

Resumo. *Este trabalho avalia a capacidade de um canal de interatividade (CI) ad hoc utilizando redes sem fio IEEE 802.11 em diferentes cenários geográficos brasileiros. Nota-se que ao aumentar o número de nós transmitindo simultaneamente, uma vazão de 3,5 Mbps pode ser alcançada antes da saturação. Esses resultados mostram a viabilidade das redes ad hoc como CI da TV digital.*

1. Introdução

Um sistema de TV digital deve adotar um canal de interatividade (CI) para prover novos serviços pela TV. Uma das alternativas de implementação para o CI são as redes ad hoc sem fio, solução de custo reduzido, uma vez que não exigem qualquer infra-estrutura. O CI ad hoc é composto por elementos equipados com interfaces IEEE 802.11 com duas funcionalidades distintas: os nós encaminhadores e o *gateway*. Os nós encaminhadores são os terminais de acesso (TAs) de cada usuário, que rodam um protocolo de roteamento e colaboram entre si para o encaminhamento dos dados. O *gateway* é o ponto de interconexão com a rede da emissora. Todos os nós da rede devem se comunicar com o *gateway*, seja diretamente ou através de múltiplos saltos. Diversos trabalhos avaliam a capacidade de redes ad hoc sem fio [Villela e Duarte 2004, Borgia 2005], porém nenhum trata deste cenário particular. O objetivo deste artigo é analisar o CI ad hoc sem fio IEEE 802.11, de acordo com os cenários geográficos brasileiros. A capacidade do CI é avaliada através de simulações que têm como objetivos determinar a influência do número de saltos na vazão da rede e o ponto de saturação da rede.

2. Cenários de Referência

Neste trabalho, cinco cenários de referência são caracterizados com base em dados reais [IPP 2005], representando regiões urbanas e rurais, com diferentes densidades populacionais [Amodei Jr. et al. 2005b], conforme a Tabela 1. Como 90% dos domicílios do Brasil possuem pelo menos um aparelho de TV [IBGE 2004], considera-se que o número de nós da rede será dado pelo número total de domicílios existentes. São definidos três tipos de disposições dos nós numa área quadrada. As áreas urbanas compostas em sua maioria por imóveis horizontais são representadas por um cenário em grade, pois estas áreas seguem um padrão de espaçamento entre domicílios. No caso da Rocinha, o

*Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES, FAPERJ, UOL, FINEP, RNP e FUNTTEL.

cenário em grade também se aplica, pois apesar de não haver um espaçamento regular, os domicílios estão muito próximos uns dos outros. Para Copacabana utilizou-se um cenário em grade tridimensional para representar os edifícios. Para Paty do Alferes, município da área rural, devido à grande dimensão e à baixa densidade de domicílios, utilizou-se o posicionamento aleatório dos nós.

Tabela 1. Parâmetros para os cinco cenários de referência.

| | Rocinha | Ramos | Copacabana | Parque Anchieta | Paty do Alferes |
|-------------------------------------|---------|-------|------------|-----------------|-----------------|
| Área total (km ²) | 1,4 | 2,8 | 4,1 | 3,9 | 319 |
| Área residencial (km ²) | 1,4 | 1,5 | 2,5 | 2,2 | - |
| Número de domicílios | 17000 | 11819 | 61000 | 7778 | 6813 |
| Densidade (dom./km ²) | 12142 | 8117 | 24797 | 3487 | 21 |
| Beta (β) | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,0 |
| Disposição dos nós | grade | grade | grade 3D | grade | aleatória |

3. Simulações e Resultados

As simulações são feitas no *ns-2* em sua versão 2.28. Utilizou-se o modelo de propagação de perda de percurso, que possui um parâmetro β , definido de acordo com o ambiente de propagação de cada cenário, como mostra a Tabela 1. Para cada um dos cenários, varia-se o número de nós, mas a densidade de domicílios é mantida. As taxas de transmissão nominais utilizadas para cada cenário são escolhidas a partir dos resultados da análise de conectividade [Amodei Jr. et al. 2005b]. A maior taxa de transmissão que garanta a conectividade com todos os nós ligados é utilizada. Considera-se ainda que o *gateway* em todos os cenários está posicionado em um dos vértices da grade, por representar o pior caso. Todas as fontes usam CBR/UDP e transmitem pacotes de 1500 octetos. Para que fosse possível simular o padrão IEEE 802.11g, foi desenvolvido um módulo para a camada MAC do *ns-2* [Amodei Jr. et al. 2005a]. Os resultados possuem um intervalo de confiança de 95%, representado nos gráficos por barras de erro verticais.

Um dos objetivos das simulações é avaliar o impacto do número de saltos sobre a vazão de um único nó. Para analisar a cadeia de encaminhamento, considera-se que o *gateway* está em um vértice da grade e um TA fonte está do outro lado do quadrado na diagonal. As taxas de envio de dados são variadas entre 56 kbps e 54 Mbps.

No cenário da Rocinha, o número de nós na rede varia entre 4 e 196. A distância entre os nós é de 9,09 m e a taxa de transmissão de camada física de cada um é 54 Mbps. Nesta taxa, o raio de alcance de cada nó é aproximadamente 12,6 m. O raio de interferência, em todas as taxas de transmissão, é de aproximadamente 74 m. A vazão máxima que pode ser obtida com a utilização padrão IEEE 802.11g é aproximadamente 29 Mbps, considerando apenas um nó transmissor e um receptor [Amodei Jr. et al. 2005a]. No cenário da Rocinha, com 4 nós, a rota entre o *gateway* e o nó de destino possui dois saltos, pois esses nós não podem se comunicar diretamente pela diagonal. No entanto, como a área de interferência é maior que a área de alcance, o TA não pode falar ao mesmo tempo que o nó intermediário. Dessa forma, estes nós dividem a vazão máxima de 29 Mbps por dois conforme visto na Figura 1. Enquanto o número de nós na rede cresce, mas os nós adicionados ainda se encontram na área de interferência do nó origem, a tendência é que a capacidade do meio seja dividida pelo número de nós transmitindo na cadeia de encaminhamento [Villela e Duarte 2004]. Depois, quando o próximo nó adicionado à cadeia de encaminhamento não está no raio de interferência do nó origem, é possível uma segunda

transmissão de quadro simultânea. Com o aumento da rede com nós mais distantes, várias transmissões simultâneas na cadeia de encaminhamento serão possíveis, fenômeno conhecido como reaproveitamento espacial. Por isso, a partir do momento em que começa a ocorrer o reaproveitamento, a vazão da cadeia de encaminhamento estabiliza, no caso em um valor um pouco abaixo de 2 Mbps, conforme mostrado na Figura 1. Isto mostra que mesmo com o aumento da distância entre o TA e o *gateway*, o usuário ainda pode obter uma vazão satisfatória. Este mesmo comportamento é observado para os cenários de Ramos e Parque Anchieta. Para Copacabana, a vazão da cadeia também estabiliza, só que em aproximadamente 1,2 Mbps, devido à utilização do padrão IEEE 802.11b. Para Paty do Alferes, quando há conectividade a vazão da cadeia também se torna estável em aproximadamente 150 kbps, o que mostra que o uso do 802.11 é viável no meio rural, mas depende da utilização de antenas e da localização específica do TA.

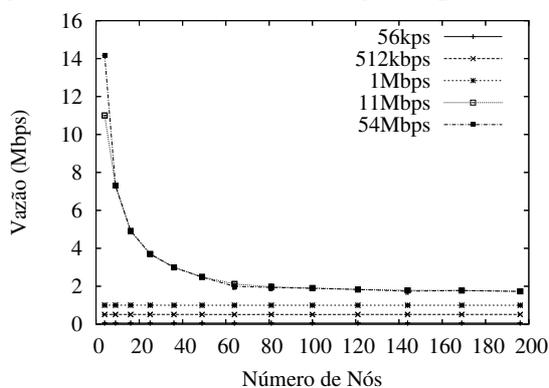


Figura 1. Cadeia de encaminhamento - Rocinha.

Outro objetivo é verificar o número máximo de usuários sem que haja saturação da rede e a influência dos protocolos de roteamento: um reativo, o AODV, e outro pró-ativo, o OLSR. Para tanto, considera-se que todos os nós estão ligados e enviando dados a uma taxa constante de 56 kbps e que o *gateway* está em um dos vértices da grade.

No cenário da Rocinha, a taxa de transmissão física utilizada é de 54 Mbps. A Figura 2(a) mostra que a saturação da rede ocorre aproximadamente para 60 nós, independentemente do protocolo de roteamento utilizado. Verifica-se em ambas as curvas que, após a saturação, a vazão diminui até estabilizar. Esse comportamento é típico de protocolos de acesso múltiplo, como o CSMA/CA, onde não há detecção de colisões. Ainda de acordo com a Figura 2(a) observa-se que, diferentemente da Figura 1, a vazão máxima de saturação é maior que 3 Mbps quando todos os nós estão gerando tráfego. Isso ocorre devido ao reaproveitamento espacial. Esse reaproveitamento começa a ocorrer a partir de 36 nós quando a diagonal principal da grade supera o raio de interferência utilizado que é igual a 74 m. A diferença da vazão entre o AODV e o OLSR é devida à maior carga de controle gerada pelo OLSR. O OLSR é um protocolo pró-ativo e, portanto, inunda a rede periodicamente para manter a tabela de roteamento atualizada. A inundação do OLSR é realizada a partir da transmissão de mensagens HELLO aos nós vizinhos.

No cenário de Copacabana utiliza-se o padrão IEEE 802.11b operando a 11 Mbps. Na Figura 2(b), novamente após a saturação a vazão agregada da rede diminui com o aumento do número de nós até estabilizar. Entretanto, neste cenário o desempenho do OLSR supera o do AODV, devido ao mecanismo de MPRs (*MultiPoint Relays*) usado pelo OLSR. No cenário de Copacabana o uso de MPRs é mais eficaz do que no cenário da

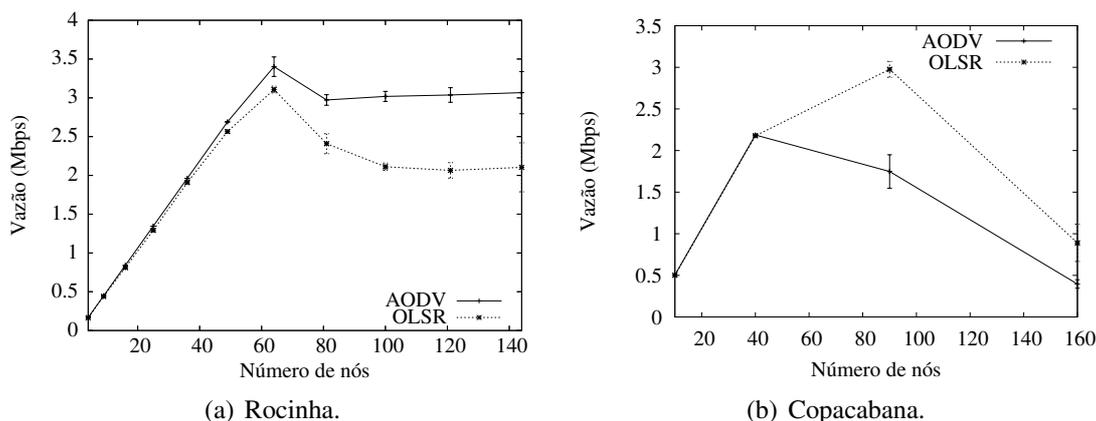


Figura 2. Vazão agregada da rede.

Rocinha devido ao número de nós dentro do alcance de recepção. Na Rocinha, a distância mínima entre os nós é 9,09 m e o alcance é 12,6 m. Assim, todos os nós possuem apenas quatro vizinhos e não há ganhos, pois todos os nós são MPRs. Já em Copacabana, o raio de alcance é 32 m e a distância entre os nós vizinhos no plano XY é 20 m. Nesse caso, o número de vizinhos passa a ser oito mais os vizinhos no eixo Z. Com mais vizinhos, o ganho com os MPRs aumenta, pois a inundação de HELLOs é mais limitada.

4. Conclusão

Neste trabalho, avaliou-se a capacidade do CI ad hoc sem fio IEEE 802.11 para a TV Digital. Os resultados obtidos com a análise da cadeia de encaminhamento mostram que com o aumento da distância entre o TA e o *gateway*, o usuário pode ainda obter uma vazão satisfatória para a utilização da rede ad hoc como CI. Para um grande número de nós a vazão máxima da cadeia de encaminhamento é constante. Em um cenário urbano e com alta densidade de domicílios a vazão máxima é aproximadamente 2 Mbps. Neste mesmo cenário com apenas um *gateway*, mostra-se que a saturação da rede ocorre para cerca de 60 nós enviando dados a 56 kbps, taxa satisfatória para as aplicações de TV digital. Esta quantidade de nós independe do protocolo de roteamento utilizado.

Referências

- Amodei Jr., A., Campista, M. E. M., de O. Cunha, D., Velloso, P. B., Costa, L. H. M. K., Rubinstein, M. G. e Duarte, O. C. M. B. (2005a). Analysis of medium access control protocols for home networks. Relatório técnico.
- Amodei Jr., A., Moraes, I. M., de O. Cunha, D., Campista, M. E. M., Esposito, P. M., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2005b). Uma análise da conectividade do canal de interatividade ad hoc para a TV digital. Em *SBrT'05*.
- Borgia, E. (2005). Experimental evaluation of ad hoc routing protocols. Em *PERCOM'05*, páginas 232–236.
- IBGE (2004). PNAD 2003 - pesquisa nacional por amostragem de domicílios.
- IPP (2005). Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos - armazém de dados.
- Villela, B. A. M. e Duarte, O. C. M. B. (2004). Maximum throughput analysis in ad hoc networks. Em *Networking'04*, páginas 223–234.