

Análise Experimental de Redes Veiculares Utilizando o Padrão IEEE 802.11p

Fernando A. Teixeira¹, Vinicius F. Silva², Jesse L. Leoni², Guilherme C. E. Santos²,
Álvaro Souza², Daniel F. Macedo², José M. S. Nogueira²

¹Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)
Ouro Branco – MG – Brasil.

²Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte – MG – Brasil.

teixeira@ufsj.edu.br, viniciusfs@dcc.ufmg.br, jleoni@ufmg.br,

{guieloi, alvaro.souza, damacedo, jmarcos}@dcc.ufmg.br

Abstract. *The IEEE 802.11 working group proposed a standard for the physical and medium access control layers of vehicular networks called 802.11p. In this paper we report experimental results obtained from communication between vehicles using 802.11p in a real scenario. The main motivation is the lack of studies in the literature with performance data obtained from off-the-shelf 801.11p devices. Field tests were carried out varying the vehicle's speed between 20 and 60 km/h and the packet length between 150 and 1460 bytes. It was observed that communication with vehicles in motion is unstable sometimes. However, it was possible to transfer data at distances over 300 m, and sometimes the data rate exceeded 8 Mbits/s.*

Resumo. *O grupo de trabalho IEEE 802.11 propôs um padrão para as camadas física e de controle de acesso ao meio para redes veiculares chamado 802.11p. Neste artigo são apresentados resultados experimentais obtidos da comunicação entre veículos utilizando 802.11p em um cenário real. A principal motivação é a falta de trabalhos na literatura com dados de desempenho obtidos de dispositivos 802.11p disponíveis no mercado. Foram feitos testes de campo variando a velocidade de 20 a 60 km/h e tamanho de quadros de 150 a 1460 bytes. Observou-se que a comunicação com veículos em movimento é instável em alguns momentos. Entretanto, foi possível transferir dados a distâncias superiores a 300 metros e a vazão média chegou a superar 8 Mbits/s.*

1. Introdução

As redes veiculares, também conhecidas como VANETs (Vehicular Ad hoc Networks) ou VAN (*Vehicle Area Networks*), são redes compostas por veículos e pontos de acesso localizados nas bordas das vias [Faezipour et al. 2012, Karagiannis et al. 2011]. Tais redes tem como objetivo criar condições seguras de circulação para os veículos que trafegam em uma via. Isso é feito através da troca de mensagens entre veículos, informando as condições do trânsito, ocorrência de acidentes, obstruções, etc. São previstas, também, aplicações de assistência ao motorista e de entretenimento [Hartenstein and Laberteaux 2008]. As VANETs impõem diversos desafios técnicos. A

movimentação constante dos veículos em altas velocidades limita o tempo de contato dos veículos, o que acarreta mudanças constantes na topologia da rede. Portanto é necessário que os protocolos desenvolvidos aproveitem ao máximo as oportunidades de contato [Karagiannis et al. 2011].

Existem dois conjuntos de padrões de comunicação para redes veiculares, definidos na arquitetura WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*). O padrão IEEE 802.11p [IEEE 2010] define a camada física e de controle de acesso ao meio para redes veiculares, e é baseado no padrão IEEE 802.11a. A família de padrões IEEE 1609 define as outras camadas da pilha de protocolos, incluindo uma camada de rede alternativa ao IP, características de segurança e operação em múltiplos canais.

Por serem padrões recentes, a maioria das pesquisas experimentais em VANETs tem empregado rádios IEEE 802.11 tradicionais [Balasubramanian et al. 2008, Gass et al. 2005, Bychkovsky et al. 2006, Rubinstein et al. 2009]. Estes rádios, entretanto, não são adequados para as redes veiculares, pois apresentam um tempo de conexão e associação a pontos de acesso muito longo [Jiang and Delgrossi 2008], e a comunicação é instável devido à alta taxa de perda de dados [Cheng et al. 2008]. Faz-se necessário, desta forma, estudos de caracterização de desempenho dos rádios IEEE 802.11p, padrão este desenvolvido especificamente para VANETs.

Este artigo trás como contribuição a avaliação do padrão IEEE 802.11p em experimentos de campo verificando características de desempenho como: vazão, atraso, *jitter*, taxa de perdas e o tempo de associação. A maioria dos trabalhos relacionados foca na análise da vazão, mas, até onde sabemos, esse é o primeiro trabalho que analisa o atraso, o *jitter*, a taxa de perda e o tempo de associação em experimentos de campo. Para as aplicações mais importantes de VANETs (segurança veicular e assistência ao motorista) essas métricas são mais importantes do que a vazão em si. Tais dados servirão de base para futuros estudos em VANETs, pois identificam o desempenho esperado de uma rede VANET baseada no padrão IEEE 802.11p. Com estas informações, será possível realizar simulações mais fidedignas de VANETs, encontrar pontos de melhorias nos padrões existentes, e avaliar a viabilidade de aplicações e serviços propostos para VANETs.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 discutimos a os tipos de aplicações que vem sendo propostas para VANETs destacando a importância das aplicações de segurança veicular e como a métricas avaliadas nesse trabalho contribuirão para o desenvolvimento dessas aplicações. Em seguida, na Seção 3, apresentamos uma síntese do protocolo IEEE 802.11p. A metodologia dos experimentos e os resultados são descritos nas Seções 5 e 6, respectivamente. Os trabalhos relacionados são apresentados na seção 4. Finalizamos na Seção 7 com as conclusões e trabalhos futuros.

2. Redes Veiculares

As redes veiculares possuem duas classes distintas de aplicações, que são as aplicações de auxílio à condução e segurança veicular, e as aplicações de entretenimento a bordo. Estas classes de aplicações requerem diferentes características de qualidade de serviço e assumem padrões de comunicação diferentes, como detalhado a seguir.

As aplicações de segurança veicular e auxílio à condução são aplicações onde carros trocam mensagens entre si, de forma a identificar situações de perigo ou eventos que ocorreram na vizinhança. Ao receber mensagens de alerta, o automóvel irá

advertir o motorista via sons ou luzes indicativas, de forma que o mesmo tenha tempo hábil para reagir e assim evitar um acidente. Exemplos são avisos de frenagens bruscas, patinagem de veículos, identificação de carros em rota de colisão, dentre outros [Karagiannis et al. 2011]. Esta classe de aplicação é caracterizada pelo envio de mensagens, destinadas a veículos que estão na vizinhança do emissor da mensagem, e que devem ser recebidas rapidamente de forma a evitar um acidente. Assim, tais comunicações ocorrerão de carro a carro, empregando um protocolo de transporte baseado em datagramas, como o UDP. Tais aplicações não irão exigir grande largura de banda, entretanto exigirão latência e taxa de perda baixas.

A segunda classe de aplicações engloba o entretenimento a bordo, provendo previsão do tempo, acesso à Internet, televisão e rádio em *streaming*, dentre outros. Estas aplicações requerem uma conexão do carro com uma rede metropolitana, via rede 3G/4G ou mesmo com pontos de acessos instalados na borda das vias (as *RoadSide Units* – RSUs). Por se tratarem de comunicações mais longas e de maior quantidade de dados, estas irão empregar protocolos de transporte baseados em conexão, tais como o TCP. Nestas aplicações, a vazão e o *jitter* são as principais métricas de QoS.

As aplicações de entretenimento veicular podem ser implementadas a baixo custo com tecnologias já difundidas no mercado, tais como as redes 3G e 4G, o que não é o caso das aplicações de segurança e auxílio à condução. Tais aplicações devem funcionar em situações onde não há cobertura de rede, e o atraso gerado pelo envio dos dados de uma torre a outra pode inviabilizar o recebimento em tempo hábil das informações. Desta forma, foram definidos novos padrões de comunicação específicos para as VANETs.

3. O Padrão IEEE 802.11p

Várias iniciativas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de padronizar e otimizar a comunicação entre veículos. Em 1999 a FCC alocou 75MHz na faixa de 5.9 GHz para comunicações do tipo DSRC (*Dedicated Short Range Communications*), exclusiva para VANETs [Jiang and Delgrossi 2008]. Em 2010 o grupo 802.11 da IEEE finalizou o padrão 802.11p que define a comunicação em VANETs. O 802.11p define as regras de operação nas camadas de acesso ao meio e física [IEEE 2010]. A faixa do espectro reservada ao padrão 802.11p é dividida em 7 canais de 10MHz, numerados de 172 a 184.

O canal 178 é destinado às informações de controle, sendo restrito a aplicações de segurança [FCC 2003]. Os outros canais são destinados à transmissão de dados dos diferentes serviços. Há ainda dois canais dedicados ao salvamento de vidas em risco e segurança pública.

As principais modificações do 802.11p em relação ao 802.11 tradicional são as seguintes [Jiang and Delgrossi 2008]. Na camada MAC, foi reduzido o *overhead* de estabelecimento de uma comunicação, devido ao tempo reduzido de contato entre dois veículos. No 802.11 tradicional, dispositivos conectados por meio de um ponto de acesso definem um grupo denominado IBSS (*Independent Basic Service Set*), que deve ser identificado no momento de estabelecimento da conexão. O 802.11p, por sua vez, define um novo tipo de BSS chamado WBSS (WAVE BSS), que possui um identificador fixo, com transmissão de *beacons* sob demanda. Os *beacons* contém as informações necessárias para o estabelecimento da comunicação, bem como quais serviços o grupo oferece, dispensando ainda o processo de autenticação. Finalmente, as funções de cada canal são fixas, eliminando a

necessidade de varrer os canais para encontrar as redes desejadas.

A camada física se baseia no padrão 802.11a e utiliza modulação OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). A largura de banda dos canais foi alterada de 20 MHz para 10 MHz [Cheng et al. 2008], procurando eliminar o atraso de espalhamento (*Root Mean Square delay spread*) nas redes veiculares. Opcionalmente podem ser utilizadas larguras de banda de 5MHz. Foram também realizadas melhorias de desempenho na recepção, procurando perdas causadas pela interferência entre canais adjacentes. O padrão prevê a comunicação a distâncias de até 1000m, tanto V2V (*vehicle-to-vehicle*) como V2I (*vehicule-to-infrastructure*), com velocidades absolutas e relativas de até 30m/s (108 km/h) em uma variedade de ambientes (rural, auto-estradas, urbanos). Com canais de 10 MHz a vazão prevista é de 3 a 27 Mbps. Utilizando os canais de 5MHz ou 20MHz a capacidade da rede será de 13,5 Mbps ou 54 Mbps respectivamente.

4. Trabalhos Relacionados

Por ser um padrão recente, a maioria dos trabalhos em redes veiculares emprega rádios 802.11 tradicionais (802.11a/b/g/n). Em [Ott and Kutscher 2004] foram utilizados carros equipados com antenas externas e um ponto de acesso IEEE 802.11b. A velocidade dos carros variou entre 80 e 180 km/h. Os autores mostraram que a vazão é baixa para distâncias superiores a 250 m, utilizando quadros de 1250 bytes. Por outro lado a vazão atinge cerca de 4 Mbps quando os veículos estão na área de alcance do ponto de acesso, independentemente da velocidade. Já [Bychkovsky et al. 2006] fizeram testes utilizando nove carros que foram observados por quase um ano. Os carros se conectavam a pontos de acesso abertos e transferiam dados para um destinatário específico. As vazões máximas medidas em conexões TCP foram de aproximadamente 700 kbps. No trabalho de [Rubinstein et al. 2009] foram coletados dados de desempenho utilizando dispositivos 802.11a/g. Já [Balasubramanian et al. 2008] investigou problemas de *handoff* com rede WiFi e propôs um conjunto de melhorias para redes veiculares. Os autores realizaram testes em duas cidades diferentes dos Estados Unidos. Na primeira foi criada uma rede chamada VanLAN com onze pontos de acesso e dois veículos que trafegaram a 40 km/h. Já na segunda foi criada uma rede chamada DieselNet com 24 pontos de acesso. Os autores mostraram que tais redes conseguem lidar com problemas de *handoff*, apresentando desempenho próximo do ideal. Em [Gass et al. 2005], foram avaliados experimentalmente os limites do protocolo 802.11b na comunicação de um veículo em movimento e um ponto de acesso. Os autores sugerem que para melhorar a comunicação é necessário eliminar o grande número de estágios de autenticação e autorização presentes no 802.11b.

Em [Eichler 2007] é realizada uma análise de desempenho de uma versão preliminar dos protocolos 802.11p usando simulações e métodos analíticos. Foram considerados probabilidade de colisões, vazão e atraso. Os autores mostraram que o 802.11p pode priorizar mensagens. Porém, em cenários de redes muito densas ou com alta carga, a vazão diminui enquanto o atraso cresce consideravelmente. Em [Bilstrup et al. 2008] também é feita uma análise dos protocolos 802.11p através de simulações. Os autores estudaram a capacidade da rede e o atraso. Os resultados mostraram que os esquemas de priorização do padrão funcionam bem e, mesmo na presença da operação baseada em múltiplos canais implementada pelo IEEE 1609.4, o atraso das mensagens de controle de alta prioridade continua na casa das dezenas de milissegundos. Nosso trabalho vem complementar essas avaliações através de resultados de experimentos de campo, que poderão ser utilizados

para calibrar futuras simulações, tornando-as mais próximas de um cenário real.

Em [Lin et al. 2012, Martelli et al. 2012, Neves et al. 2011] foram realizados experimentos de campo com o IEEE 802.11p. [Lin et al. 2012] investigaram a comunicação V2I e analisaram o tempo de contato, a potência do sinal e a vazão. Já [Martelli et al. 2012] avaliaram o processo de *beaconing* em comunicação V2V segundo as métricas de PDR (*packet delivery rate*) e PIR (*packet interval rate*). Finalmente, [Neves et al. 2011] os autores investigaram a comunicação entre dois veículos em movimento com e sem visada, movimentando com velocidades de 30 e 50 km/h. Foram avaliados o RSSI e a taxa de entrega de pacotes, mas não há informações sobre atraso, *jitter* e tempo de associação. Os autores constataram que os modelos de simulação de redes veiculares do NS3 não condizem com os resultados obtidos nos experimentos, comprovando dessa maneira a importância de se realizar experimentos de campo. Este trabalho se difere dos anteriores por avaliar novas métricas essenciais para o desenvolvimento de aplicações de segurança veicular como o atraso, *jitter*, taxa de perda e tempo de associação.

5. Descrição dos Experimentos

Os experimentos foram divididos em duas etapas. Em ambas, foram utilizados dois *notebooks* rodando Linux, e equipados com placas IEEE 802.11p modelo DCMA86-P2 [Unex 2012], baseada no chipset Atheros AR5414A-B2B e operando na faixa de frequência de 5.85 – 5.925 GHz. As placas foram conectadas a uma antena de 5dBi.

A primeira etapa teve como objetivo calcular o tempo de associação no melhor caso, ou seja, com os *notebooks* lado a lado. O tempo de associação é uma métrica importante nas redes veiculares, pois estas possuem intervalos muito curtos para poder enviar dados entre veículos (e.g. 10s para dois carros locomovendo em sentidos opostos a 60 km/h [Rubinstein et al. 2009]). Assim, um tempo menor de estabelecimento de enlaces permite enviar mais dados. Esta etapa foi conduzida em laboratório, sendo realizadas quinze repetições do mesmo experimento.

Na segunda etapa, cada um dos *notebooks* foi instalado em um carro, e as antenas foram afixadas no teto destes. Foi empregado o canal de 5.870 GHz, com largura de banda de 10 MHz para transmissão dos dados. Esta etapa foi conduzida em uma avenida localizada na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), composta de um trecho com aproximadamente 650 metros de comprimento, representado pelos pontos demarcados na Figura 5. Nesse trecho, por cerca de 600 metros os veículos possuíam visada direta, e em aproximadamente 50 metros havia uma pequena curva que obstruía o contato. Um dos veículos ficou parado no ponto em destaque na Figura 5, enquanto o outro veículo se movimentava na avenida. Para medir o deslocamento do veículo, o *notebook* do carro em movimento registrou as coordenadas via GPS. A antena do GPS também foi afixada no exterior do veículo para reduzir os erros de localização e de velocidade.

Por considerarmos que as aplicações de segurança viária são o diferencial das VANETs em relação às redes metropolitanas tradicionais (por exemplo, redes 3G e 4G), optamos por mensurar o desempenho do enlace empregando datagramas UDP. Tais datagramas representam as mensagens curtas necessárias para o envio de solicitações e alertas, que tipicamente são transmitidas de carro para carro (V2V). Medimos o desempenho do enlace sem fio variando o tamanho dos datagramas em 150, 500 e 1460 bytes. Estes testes



Figura 1. Foto do experimento, com antena externa em detalhe, e vista aérea da região de experimentação (fonte: Google Maps).

foram feitos com movimentação a velocidades de 20km/h, 40km/h e 60 km/h.

Desenvolvemos um programa próprio de coleta de dados, em que um cliente envia datagramas UDP numerados, de tamanho fixo, em intervalos regulares de tempo. Ao receber um datagrama, o servidor responde imediatamente, enviando um datagrama UDP curto que indica o número do datagrama recebido. O cliente contabiliza a taxa de perda de datagramas, a vazão, o atraso e o *jitter* médios obtidos em um intervalo fixo de tempo (1s nos experimentos). Para esta etapa, foram realizadas quatro repetições de cada experimento.

6. Resultados

Esta seção descreve os resultados obtidos. No primeiro experimento, medimos o tempo de associação das placas, enquanto no segundo medimos o desempenho em transmissões de dados, com carros em movimento, empregando datagramas UDP.

6.1. Tempo de associação

Neste experimento, medimos o tempo de associação entre os dois notebooks com o padrão 802.11p em execução, como dito em seções anteriores. Tanto a frequência de operação quanto o ESSID foram fixados *a priori*, evitando assim o tempo de varredura do meio, como em uma VANET seguindo os padrões WAVE. Para eliminar o tempo de obtenção de endereços IPs, definimos endereços estáticos para ambos os computadores. Executamos um programa cliente, que envia dados a cada microssegundo a um computador que já se encontra ativo na rede veicular. Este programa inicia a contagem do tempo quando ativamos a placa empregando o comando `ifconfig` do Linux, e termina a contagem quando recebe uma confirmação de recepção, enviada pelo servidor. Assim, o tempo mensurado leva em consideração: a ativação da placa; a associação da mesma à rede veicular; o envio de mensagens de ARP para encontrar o endereço MAC associado ao servidor; o envio de um datagrama UDP ao servidor e o recebimento da sua resposta. Como dito em seções anteriores, foram feitas quinze repetições deste experimento, sendo obtido um tempo médio de $1,035 \pm 0,0024s$, com intervalo de confiança de 95%.

6.2. Desempenho com um veículo em movimento

Neste experimento medimos o desempenho das placas em um ambiente *outdoor*, onde dois carros trocam dados entre si, como descrito na seção anterior. Realizamos

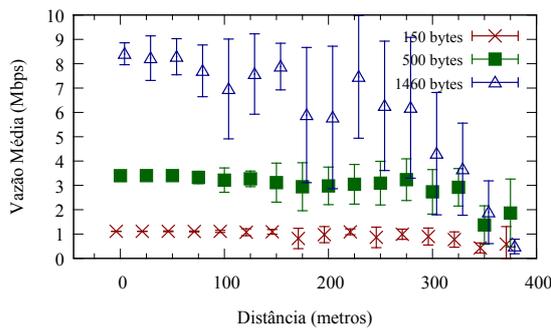


Figura 2. Vazão média para a velocidade de 20 km/h.

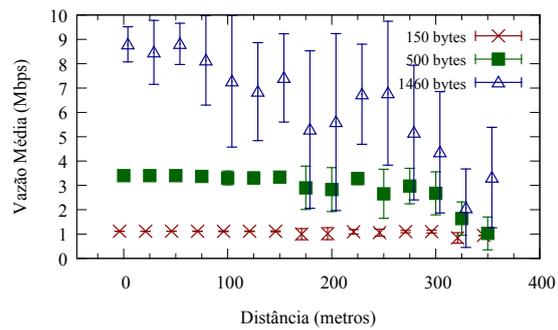


Figura 3. Vazão média para a velocidade de 40 km/h.

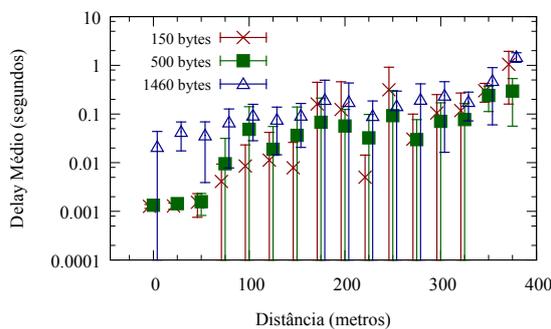


Figura 4. Atraso médio para a velocidade de 20 km/h.

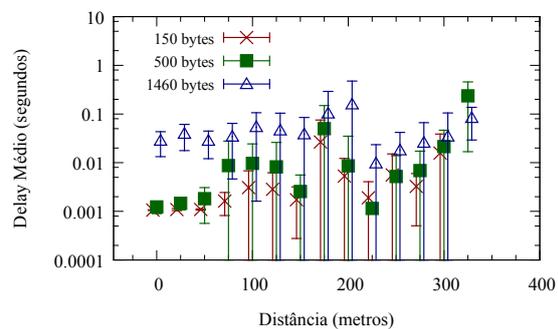


Figura 5. Atraso médio para a velocidade de 60 km/h.

quatro repetições de cada experimento, com intervalo de confiança de 90%.

As Figuras 2 e 3 mostram a vazão média, em Megabits por segundo, em função da distância do carro em repouso em relação ao carro em movimento para 20 km/h e 40 km/h, respectivamente. A vazão afeta o desempenho de aplicações de entretenimento (e.g. áudio e vídeo em *streaming*). Em todas as velocidades medidas, quando os dois veículos se encontravam próximos, obteve-se uma vazão média de 1 Mbps para quadros de 150 bytes, 3 Mbps para quadros de 500 bytes e 8 Mbps para quadros de 1460 bytes.

Percebeu-se uma queda na vazão a partir de 300m para quadros com mais de 500 bytes, visto que probabilidade de interferência do meio se tornava maior devido ao maior tamanho do quadro, reduzindo assim as chances de sucesso na entrega, principalmente quando o veículo em movimento se encontrava no trecho sem linha de visada. Em contrapartida, a queda da vazão em função da distância se manteve mais suave para quadros de 150 e 500 bytes, visto que o tempo de entrega se tornava menor, e com isso, as chances de perda em razão de interferência se tornavam menores.

Observou-se também grandes oscilações na vazão com o aumento da velocidade, o qual pôde ser observado por meio do aumento do intervalo de confiança, principalmente para quadros de 1460 bytes. Isso indica, além do efeito da distância, como já era esperado, um efeito da velocidade sobre o desempenho obtido. Isto ocorre devido às mudanças mais frequentes da condição do meio (*fading*, reflexões) geradas pela maior velocidade.

As figuras 4 e 5 mostram o atraso médio obtido com o aumento da distância para velocidades de 20 km/h e 60 km/h respectivamente, em escala logarítmica no eixo das ordenadas. Em algumas aplicações tais como o aviso de frenagem brusca, longos atrasos

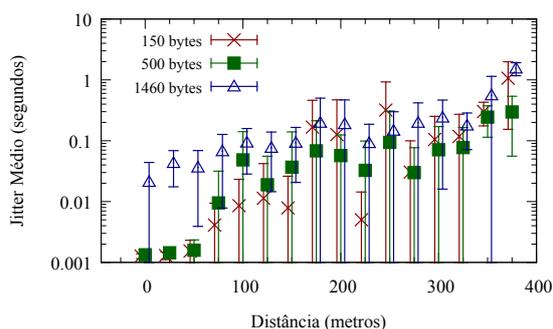


Figura 6. Jitter médio para a velocidade de 20 km/h.

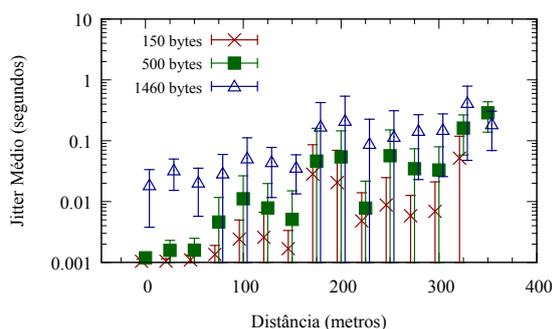


Figura 7. Jitter médio para a velocidade de 40 km/h.

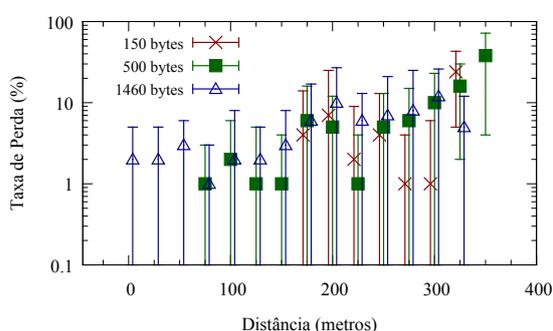


Figura 8. Taxa de perda para a velocidade de 40 km/h.

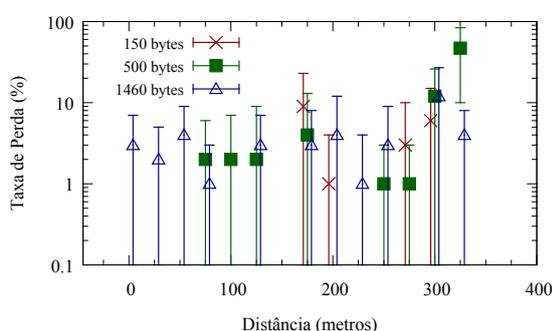


Figura 9. Taxa de perda para a velocidade de 60 km/h.

na entrega da mensagem poderão aumentar o tempo de reação do motorista. Observa-se aqui um aumento gradual no atraso em função da distância para todos os tamanhos de quadros, o que também era esperado. Tal aumento ocorre devido a um maior número de retransmissões, devido a perdas de quadros em razão de erros de recepção. Verificamos um atraso médio próximo a 10ms para quadros de 150 bytes, enquanto o atraso variou entre 20 e 500ms para 1460 bytes.

As Figuras 6 e 7 apresentam o *jitter* médio obtido para os testes a 20 km/h e 40 km/h, respectivamente, em escala logarítmica no eixo Y. O *jitter* impacta nas aplicações de *streaming*, por exemplo comunicações de emergência em voz. Os resultados para 60 km/h foram similares aos apresentados nas figuras, e por isso não são apresentados. Para quadros de 500 bytes, o *jitter* se manteve em crescimento gradual com a distância, assim como para os outros tamanhos de quadros, porém a uma taxa menor. Este efeito é mais acentuado para distâncias superiores a 150 metros. O *jitter* para quadros de 1460 bytes foi o maior em grande parte do percurso, entretanto o *jitter* para quadros menores se aproxima ao encontrado para 1460 bytes em distâncias maiores.

As figuras 8 e 9 mostram a taxa de perda para os testes com velocidades de 40 km/h e 60 km/h, respectivamente, em escala logarítmica no eixo Y. A taxa de perda deve ser pequena nas redes veiculares, pois mensagens carregando alertas de urgência que não são recebidas reduzem as chances de um condutor reagir mais prontamente a eventos adversos. Na maioria das distâncias e velocidades, a taxa de perda ficou próxima a 1%, superando os 10% de perda apenas a distâncias superiores a 200 metros, e apenas para alguns tamanhos de quadro. O principal efeito observado nesta grandeza é um aumento

na taxa de perda em função do aumento da velocidade. A taxa de perda para 20 km/h e 40 km/h (aproximadamente 2% até 275 metros) foi inferior à mensurada para 60 km/h (2-10%), como mostram as figuras 8 e 9.

Em todas as grandezas mensuradas, chega-se à conclusão de que os quadros de 500 bytes obtiveram o melhor desempenho, juntamente dos quadros de 150 bytes obtendo desempenho semelhante, porém com uma vazão média inferior. Apesar da vazão para 1460 bytes ter sido maior, o envio de quadros de 500 bytes obteve um comportamento pouco variável. Por isso, conclui-se aqui que o tamanho mencionado se mostrou o ideal para aplicações de segurança viária, que não exigem uma alta vazão. Para aplicações de entretenimento, entretanto, quadros mais longos deverão ser empregados para aumentar a vazão da rede. Além disto, vemos que a velocidade de deslocamento dos veículos afeta o atraso de entrega e a taxa de perda de quadros.

7. Conclusão

Neste trabalho foram apresentadas medições de desempenho de uma comunicação 802.11p utilizando placas comerciais, tendo como objetivo caracterizar o desempenho deste padrão em um cenário real. Apesar de finalizado em 2010, somente agora as primeiras placas comerciais do mesmo estão sendo produzidas. Realizamos experimentos empregando o protocolo UDP, visto que este deve ser o mais empregado em aplicações de auxílio à condução e segurança viária. Foram mensurados a vazão, o atraso, o *jitter*, a taxa de perda de quadros e o tempo médio de associação das placas. Os resultados mostraram que as placas 802.11p possuem um desempenho adequado para aplicações de segurança viária, visto os baixos valores de atraso, *jitter* e taxa de perda obtidos.

Como trabalhos futuros pretende-se executar os mesmos experimentos com dois ou mais veículos em movimento, em ambientes onde haja trânsito constante, bem como uma considerável quantidade de obstáculos ao longo do percurso, com o objetivo de analisar o impacto causado por esses fatores no desempenho da comunicação entre dispositivos 802.11p. Iremos ainda avaliar a vazão empregando o protocolo TCP, tendo em vista as aplicações de entretenimento a bordo.

Agradecimentos Agradecemos a Érico Guerino pela colaboração na execução dos experimentos. Este trabalho contou com o apoio da RNP, CAPES, FAPEMIG e CNPq.

Referências

- Balasubramanian, A., Mahajan, R., Venkataramani, A., Levine, B., and Zahorjan, J. (2008). Interactive Wi-Fi connectivity for moving vehicles. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 38(4):427–438.
- Bilstrup, K., Uhlemann, E., Strom, E., and Bilstrup, U. (2008). Evaluation of the IEEE 802.11p MAC method for vehicle-to-vehicle communication. In *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, pages 1–5.
- Bychkovsky, V., Hull, B., Miu, A., Balakrishnan, H., and Madden, S. (2006). A measurement study of vehicular internet access using in situ Wi-Fi networks. In *International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pages 50–61.

- Cheng, L., Henty, B., Cooper, R., Stancil, D., and Bai, F. (2008). A measurement study of time-scaled 802.11 a waveforms over the mobile-to-mobile vehicular channel at 5.9 GHz. *IEEE Communications Magazine*, 46(5):84–91.
- Eichler, S. (2007). Performance evaluation of the IEEE 802.11p WAVE communication standard. In *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, pages 2199–2203.
- Faezipour, M., Nourani, M., Saeed, A., and Addepalli, S. (2012). Progress and challenges in intelligent vehicle area networks. *Communications of the ACM*, 55(2):90–100.
- FCC (2003). FCC report and order 03-324: amendment of the commission’s rules regarding dedicated short-range communication services in the 5.850-5.925 GHz band. Technical report.
- Gass, R., Scott, J., and Diot, C. (2005). Measurements of in-motion 802.11 networking. In *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA)*, pages 69–74.
- Hartenstein, H. and Laberteaux, K. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, 46(6):164–171.
- IEEE (2010). Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 6: wireless access in vehicular environments.
- Jiang, D. and Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11p: towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Spring)*, pages 2036–2040.
- Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K., and Weil, T. (2011). Vehicular networking: a survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 13(4):584 –616.
- Lin, W.-Y., Li, M.-W., Lan, K.-C., and Hsu, C.-H. (2012). A comparison of 802.11a and 802.11p for v-to-i communication: A measurement study. In *Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks*, pages 559–570. Springer.
- Martelli, F., Elena Renda, M., Resta, G., and Santi, P. (2012). A measurement-based study of beaconing performance in iee 802.11 p vehicular networks. In *INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE*, pages 1503–1511. IEEE.
- Neves, F., Cardote, A., Moreira, R., and Sargento, S. (2011). Real-world evaluation of IEEE 802.11p for vehicular networks. In *Eighth ACM international workshop on Vehicular inter-networking*, pages 89–90.
- Ott, J. and Kutscher, D. (2004). Drive-thru internet: IEEE 802.11b for automobile users. In *IEEE INFOCOM*, volume 1.
- Rubinstein, M., Ben Abdesslem, F., De Amorim, M., Cavalcanti, S., dos Santos Alves, R., Costa, L., Duarte, O., and Campista, M. (2009). Measuring the capacity of in-car to in-car vehicular networks. *IEEE Communications Magazine*, 47(11):128–136.
- Unex (2012). *DCMA86-P2*. Unex Technology. <http://unex.com.tw/product/dcma-86p2>.