

RAN: Um Mecanismo para Tratar o Efeito de Sincronização no Padrão WAVE IEEE 802.11p

Erick A. Donato¹, Edmundo R. M. Madeira¹, Leandro A. Villas¹

¹Instituto de Computação – UNICAMP

erick@lrc.ic.unicamp.br, {edmundo,leandro}@ic.unicamp.br

Abstract. *Vehicular networks are seen as the basis for the development of intelligent transportation systems(ITS). Therefore, and in order to take advantage from the benefits of these transportation systems, the development of standards that meet the specific characteristics of vehicular networks were required. The Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) was developed in order to fulfill this need. This standard presents an architecture, based on a division into multiple channels with each channel set for certain types of application and that uses a switching mechanism for the selection of channels, since only one channel is active at a given time. However, in certain scenarios, this channel switching mechanism approach used in WAVE introduces an undesirable effect that allows different vehicles to transmit simultaneously, resulting in collisions. This paper proposes a solution to this problem, with the development of a mechanism based on recalculation of transmission delay, that will work along with other features, such as the broadcast suppression mechanism, in order to ensure greater performance in transmissions.*

Resumo. *As redes veiculares se enquadram como a base principal para o desenvolvimento de sistemas de transporte inteligentes(ITS). Assim sendo, e no sentido de tirar proveito dos benefícios destes sistemas de transporte, tornou-se necessário o desenvolvimento de padrões que levassem em consideração as características específicas das redes veiculares. O Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) foi desenvolvido como forma de proporcionar uma resposta a esta necessidade. Este padrão apresenta uma arquitetura baseada em múltiplos canais, que são definidos de acordo com os tipos de aplicações, e que utiliza um mecanismo de salto de canais para a seleção de canais considerando que em cada período de tempo um único canal estará ativo. No entanto, verificou-se que, em determinados cenários, essa abordagem de salto de canais introduz um efeito de sincronização indesejado, que permite que diferentes veículos transmitam ao mesmo tempo, resultando em colisões. Este trabalho propõe uma solução para este problema, com o desenvolvimento de um mecanismo baseado na atualização do atraso de transmissão que visa trabalhar em parceria com outros mecanismos como o de supressão de broadcast para garantir um maior desempenho nas transmissões.*

1. Introdução

As perspectivas de implementação de ITS's têm despertado de forma significativa o interesse dos pesquisadores, da indústria e dos governos, devido aos benefícios que os mesmos podem proporcionar para a sociedade. O principal objetivo de um ITS é melhorar

a eficiência, a segurança e o prazer em sistemas de transporte, utilizando possivelmente diferentes tecnologias. Uma tecnologia promissora para a implementação de ITS é a rede veicular. Em redes veiculares, os veículos são equipados com sensores, unidades de processamento e interfaces de comunicação sem fio para permitir a comunicação com outros veículos e unidades pertencentes à infraestrutura da rede (*RSU-Road Side Unit*), assim, permitindo a criação de uma rede móvel enquanto os veículos se movem nas estradas e rodovias [Villas 2014].

Uma característica importante das redes veiculares é que suas diferentes aplicações estão estreitamente relacionadas entre si. Por exemplo, reduzir o número de acidentes leva à redução do número de congestionamentos, que por sua vez leva à diminuição do nível de impacto no ambiente. Na tentativa de tirar proveito das vantagens inerentes às redes veiculares, foi atribuído um espaço no espectro eletromagnético [Hartenstein 2008] para a comunicação entre veículos. Além disso, estes estão sendo equipados com rádios de comunicação sem fio que implementam o novo padrão de comunicação *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE) [IEEE 2010].

O padrão WAVE apresenta uma arquitetura baseada em múltiplos canais que inclui um canal de controle e seis canais de serviço. Essa arquitetura visa proporcionar o tratamento adequado aos diferentes tipos de aplicações, que vão desde aplicações críticas em termos de requisitos de segurança e tolerância ao atraso, a aplicações menos exigentes nestes contextos, levando sempre em consideração as características próprias das redes veiculares [Campolo 2011, Barradi 2010]. Como o padrão WAVE não obriga a utilização de múltiplas antenas, um mecanismo de salto de canais tem sido utilizado. A multiplexação por divisão de tempo é aplicada nessa abordagem. No entanto, a utilização desse mecanismo de salto de canais introduz um efeito indesejado de resincronização em protocolos de disseminação de dados *broadcast*. De forma a evitar esse efeito indesejado, este trabalho propõe um mecanismo chamado *RAN (Resynchronization Aware of the Neighbourhood)*. Este mecanismo pode ser facilmente acoplado às principais soluções de disseminação de dados encontradas na literatura. Desta forma, tais soluções tornam-se cientes do mecanismo de salto de canais empregado pelo padrão WAVE. Dentre os principais benefícios em se utilizar tal mecanismo pode-se citar a diminuição do número de colisões de pacotes de dados e, conseqüentemente, um aumento na taxa de entrega dos pacotes.

2. Padrão de Comunicação em Redes Veiculares

Baseado no padrão IEEE 802.11p [IEEE 2010], o *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE) [IEEE 2010] define uma arquitetura de comunicação especialmente desenhada para as redes veiculares. O WAVE foca nas camadas mais baixas da pilha de protocolos e apresenta uma definição das camadas físicas e de acesso ao meio (MAC) fortemente baseada nos padrões anteriores de redes sem fio [Eichler 2007, Grafling 2010].

A Figura 1(a) mostra em alto nível a arquitetura WAVE. Os componentes são dedicados às funções de rede e de gerenciamento, com destaque para aspectos relacionados com a segurança, o gerenciamento de recursos e o suporte para múltiplos canais de operação. Além disso, também merecem destaque os blocos denotados por MLME (*MAC Layer Management Entity*) e PLME (*Physical Layer Management Entity*) que representam as entidades de gerenciamento das camadas MAC e física. Estes dois blocos

correspondem à separação lógica existente entre as funções de gerenciamento das camadas MAC e física, respectivamente, tendo em conta que essas duas camadas do WAVE foram padronizadas separadamente.

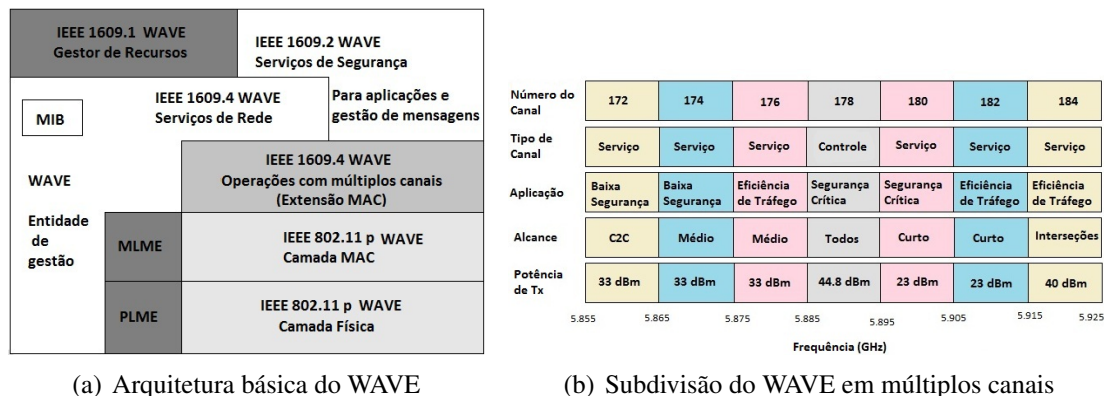


Figura 1. Padrão WAVE [Grafling 2010].

O padrão IEEE 1609.4 define a operação do WAVE com base em múltiplos canais e diferencia os canais em termos das características das aplicações que cada canal suporta. Além da utilização de frequências diferentes, as potências máximas de transmissão também variam de acordo com os canais. A potência máxima de transmissão é atribuída ao canal de controle, reservado às aplicações críticas em termos de segurança, enquanto que para as aplicações menos críticas em termos de segurança são atribuídos os canais com menores níveis de potências de transmissão, os quais são chamados de canais de serviços. A Figura 1(b) mostra a configuração do padrão WAVE subdividida em múltiplos canais e as respectivas configurações.

No padrão IEEE 1609.4, o canal de controle (CCH) e os seis canais de serviço (SCH) são utilizados com base em multiplexação por divisão de tempo. O canal de controle é servido em intervalos de tempo alternados, enquanto que os intervalos restantes de tempo são distribuídos entre os canais de serviço de acordo com as necessidades das aplicações alocadas à cada canal. Devido à baixa tolerância ao atraso que caracteriza algumas aplicações, por exemplo, as aplicações para evitar colisões, o período máximo de multiplexação foi estabelecido em 100 milissegundos.

Adicionalmente ao esquema de funcionamento de múltiplos canais, um esquema de prioridades semelhante ao implementado pelo padrão IEEE 802.11e, conhecido como EDCA, também é implementado na camada MAC do WAVE. Para cada canal, existem quatro categorias de acesso denotadas por AC0, AC1, AC2 e AC3. O menor nível de prioridade corresponde ao AC0 e o maior ao AC3 [Grafling 2010]. Os pacotes de dados, pertencentes a diferentes categorias de acesso, são colocados em filas de espera a partir dos quais são servidos de acordo com um mecanismo de seleção interno. As configurações dos tempos de espera das filas variam segundo a categoria de acesso de cada canal. Durante a fase de seleção de pacotes para transmissão, as quatro categorias de acesso competem internamente e então, o pacote selecionado compete externamente pelo canal com os pacotes de outros veículos que estejam dentro do raio de comunicação.

A camada física do padrão IEEE 802.11p utiliza a multiplexação por divisão ortogonal de Frequência (OFDM) e é similar ao padrão 802.11a. As diferenças entre esses

dois padrões residem no fato de a largura de banda no 802.11p ser de 10 MHz em vez de 20 MHz e em algumas mudanças nas potências de transmissão e nas frequências de operação.

3. Protocolos de Disseminação de Dados

Muitos protocolos para realizar a disseminação de dados *broadcast* em redes veiculares foram propostos na literatura. As propostas atuais para disseminação de dados focam principalmente na escolha de quais veículos devem repassar os pacotes de dados de forma a garantir uma alta taxa de entrega de dados, baixa redundância nas transmissões e consequentemente, um baixo número de colisões [Ros et al. 2012, Viriyasitavat et al. 2010]. Para isso, tais protocolos calculam tempos de espera para a transmissão de pacotes de forma a dessincronizar as transmissões entre veículos vizinhos. Assim, veículos com tempos de espera menores, transmitem primeiro, suprimindo as transmissões dos demais veículos na vizinhança. As formas com que os tempos de espera são calculados podem ser baseadas em métodos estatísticos, topologia local, distância entre veículos, etc. A seguir, apresenta-se dois protocolos que utilizam diferentes abordagens.

Acknowledged Broadcast from Static to highly Mobile (ABSM) [Ros et al. 2012] é uma abordagem que utiliza o conceito de conjunto dominante mínimo (MCDS). ABSM baseia-se no fato de que o MCDS provê a melhor solução para o problema de disseminação de dados *broadcast* em uma rede conectada. O MCDS é o menor subconjunto de veículos conectados em que, se um veículo não estiver no MCDS, então ele está diretamente conectado a algum veículo que está no MCDS. Portanto, se todos os veículos no MCDS retransmitirem a mensagem, então todos os veículos na rede serão cobertos. No entanto, calcular o MCDS é um problema NP-difícil. Logo, ABSM emprega uma heurística que utiliza informações de vizinhos de um salto para determinar quais veículos estão no MCDS. Veículos no MCDS possuem maior prioridade para retransmitir as mensagens. Além disso, ABSM utiliza *beacons* periódicos como um mecanismo de reconhecimento implícito de recebimento das mensagens disseminadas, de maneira a garantir a entrega de dados em redes intermitentemente conectadas. Logo, no ABSM, quando um veículo recebe uma mensagem, ele espera pelo reconhecimento implícito dos vizinhos para então calcular o atraso para retransmitir a mensagem. Logo, a latência na entrega de mensagens depende da frequência com que os *beacons* são enviados.

An Urban Vehicular Broadcast Protocol (UV-CAST) [Viriyasitavat et al. 2010] é uma abordagem para disseminação de dados em centros urbanos. Nessa abordagem, quando um veículo recebe uma nova mensagem, utiliza-se informações de vizinhos de um salto para determinar se ele deve operar em um estado de supressão de *broadcast* ou *store-carry-forward*. Se o veículo determinar que ele deve ir para o estado de supressão de *broadcast*, então ele utiliza informações de mapa para verificar se está em uma interseção ou não de forma a calcular o atraso para retransmitir. Por outro lado, se o veículo perceber que ele deve operar em um estado de *store-carry-forward*, então ele verifica se é um veículo de borda ou não. O protocolo assume que veículos de borda possuem uma maior probabilidade de encontrar novos vizinhos. Logo, esses veículos armazenam e carregam a mensagem até que eles encontrem algum vizinho que não a tenha recebido. UV-CAST também utiliza reconhecimento implícito por intermédio de *beacons* para identificar os veículos que não receberam as mensagens disseminadas. Perceba que, no UV-CAST, apenas os veículos de borda são os responsáveis por armazenar, carregar e subsequente-

mente repassar as mensagens para os outros veículos. Além disso, quando um veículo recebe um *beacon* de um vizinho que não reconheceu o recebimento de uma determinada mensagem, então ele imediatamente retransmite a mensagem sem qualquer tipo de coordenação com os demais veículos na vizinhança. Essa falta de coordenação causa um aumento significativo no número de retransmissões, especialmente em cenários densos, conforme será mostrado na seção de avaliação de desempenho.

4. Impacto do padrão IEEE 802.11p nos protocolos de disseminação

Apesar dos protocolos de disseminação dessincronizarem as transmissões dos veículos em uma dada vizinhança, o mecanismo de salto de canais empregado pelo WAVE introduz um efeito indesejável de ressincronização nessas transmissões. No padrão de comunicação WAVE, a cada T_c segundos é permitido ao rádio saltar do CCH para o SCH e então, após mais T_c segundos, saltar do SCH para o CCH, e assim por diante. O padrão estabelece $T_c = 50$ ms. Diante disso, quando a camada MAC recebe da camada acima uma mensagem para ser transmitida no SCH, mas o CCH está momentaneamente ativo, então a mensagem deve aguardar o SCH se tornar ativo para que a transmissão possa ocorrer. No começo da operação de cada canal existe um intervalo de 5 ms chamado *guard interval* em que o canal é tratado como ocupado. Além disso, assume-se que os *beacons* periódicos, normalmente utilizados pelas aplicações de segurança, irão utilizar o CCH, enquanto as demais aplicações irão utilizar o SCH. Toda mensagem repassada para a camada MAC deve especificar em qual canal ela deve ser transmitida.

Essa abordagem de salto de canais introduz um efeito de sincronização indesejado. Considere o exemplo mostrado na Figura 2. Nessa figura, há dois veículos tentando retransmitir uma mensagem que eles receberam de um vizinho em comum. No tempo T_1 , ambos os veículos agendam o repasse da mensagem para a camada MAC. Perceba que, o veículo *A* calcula e agenda o repasse com um atraso de 10 ms, enquanto *B* calcula e agenda o repasse com um atraso de 25 ms. Sem o mecanismo de salto de canais, *A* iria transmitir primeiro, *B* iria escutar a transmissão de *A* e, conseqüentemente, iria cancelar sua própria transmissão, evitando assim uma transmissão desnecessária. No entanto, não é o que ocorre quando a abordagem de salto de canais é empregada. No tempo T_2 , ou seja, 10 ms depois de T_1 , o temporizador *rebroadcast_timer* em *A* expira e ele repassa a mensagem para a camada MAC para transmissão no SCH. Porém, perceba que o CCH está momentaneamente ativo. Logo, a camada MAC do veículo *A* armazena a mensagem até que o SCH fique ativo. No tempo T_3 , ou seja, 25 ms depois de T_1 , é o momento em que o temporizador *rebroadcast_timer* em *B* expira e então a mensagem é repassada para a camada MAC, também para transmissão no SCH. Assim como em *A*, a camada MAC do veículo *B* também armazena a mensagem, já que o CCH está momentaneamente ativo. Finalmente, no tempo T_4 , quando o SCH se torna ativo, a camada MAC de ambos os veículos escuta e percebe o canal como não ocupado. Assim, os veículos transmitem a mensagem ao mesmo tempo, resultando em uma colisão. Perceba que, apesar do fato do algoritmo de supressão de *broadcast* ter realizado seu devido trabalho em calcular valores diferentes para o atraso de retransmissão para os veículos (dessincronização), ao final, as retransmissões ocorreram ao mesmo tempo (ressincronização). Diante disso, argumentamos que a utilização apenas de mecanismos de supressão de *broadcast* não é suficiente para evitar o problema da tempestade de *broadcast* em redes VANETs densas, especialmente na transmissão de dados em rajadas [Eckhoff 2012]

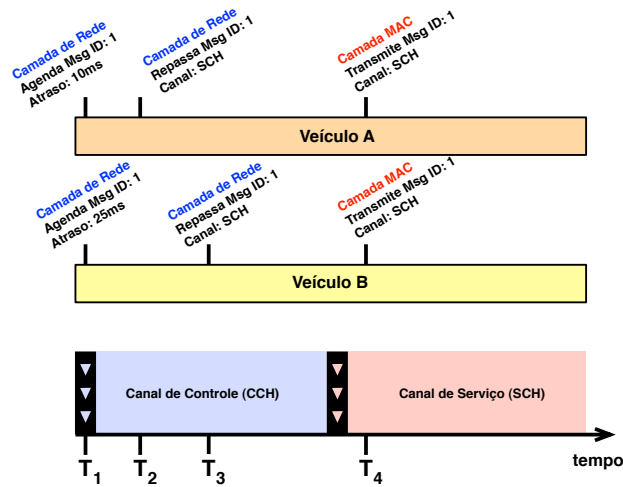


Figura 2. Efeito de sincronização introduzido pelo mecanismo de salto de canais utilizado na camada MAC do IEEE 802.11p

Além do efeito de sincronização indesejado introduzido, outro fator importante é a forma como as categorias de acesso influenciam no desempenho dos protocolos. À medida que a carga da rede aumenta, as categorias de acesso com menor prioridade, AC0 e AC1, conseguem um menor acesso ao meio e, portanto, há uma diminuição da taxa de pacotes enviados a partir destas categorias de acesso [Eichler 2007]. Outro parâmetro importante que ilustra o impacto das categorias de acesso no desempenho é o atraso fim-a-fim, onde, a medida que a densidade da rede aumenta, as categorias de menor prioridade apresentam um maior crescimento no atraso, especialmente a AC0 que sofre um atraso exponencial com o crescimento da densidade da rede [Eichler 2007].

5. Solução Proposta

De forma a evitar o problema supracitado, propõe-se um mecanismo que recebe o atraso para retransmitir T calculado por qualquer protocolo de disseminação de dados e, caso necessário, recalcula um novo atraso para retransmitir T_d de acordo com o regime de salto de canais. O Algoritmo 1 mostra como tal mecanismo funciona. Assume-se que o novo atraso T_d , calculado por nossa solução, é para uma mensagem a ser transmitida no SCH. No entanto, o algoritmo pode ser facilmente estendido de forma a calcular o atraso para mensagens a serem transmitidas no CCH. A nossa solução pode ser acoplada em qualquer protocolo de disseminação de dados. Nos protocolos para realizar a disseminação de dados em redes veiculares propostos na literatura e avaliados neste trabalho, um dado veículo, após calcular o atraso T para retransmitir uma mensagem m (ou seja, atraso para repassar a mensagem para a camada MAC para que ocorra a transmissão), chama o mecanismo proposto *RAN*, a qual retorna um novo valor para o atraso (T_d).

A idéia geral do Algoritmo 1 é adicionar ao atraso original T para retransmitir uma mensagem m , um atraso extra T_c , caso necessário. Para este trabalho, foi definido que tal atraso extra T_c é o intervalo de tempo atribuído para cada *slot* (canal) de transmissão.

No entanto, o novo atraso T_d somente seria calculado no caso de haver outros veículos querendo transmitir no mesmo *slot* de transmissão (canal), como ilustrado na

Algorithm 1: RAN: Resynchronization Aware of the Neighbourhood

```
1  $T \leftarrow$  atraso para retransmitir que é passado para a função;  
2  $T_c \leftarrow$  tempo para cada canal (50 ms);  
3  $T_s \leftarrow$  tempo restante para que ocorra uma mudança de canal;  
4 se Vizinhotransmitindo então  
5   retorna  $T$ ;  
  
6  $atrasoAux \leftarrow T - T_s$ ;  
7 se  $atrasoAux < 0$  então  
8    $atrasoAux \leftarrow 0$ ;  
9  $ciclos \leftarrow \lfloor \frac{atrasoAux}{T_c} \rfloor$ ;  
10 se CCH está ativo então  
11   se  $ciclos \% 2 == 1$  então  
12      $T_d \leftarrow T + T_c$  ;  
13 senão  
14   se  $ciclos \% 2 == 0$  então  
15      $T_d \leftarrow T + T_c$  ;  
16 retorna  $T_d$ ;
```

Figura 2. Na Figura 2, dois veículos agendam a transmissão para o mesmo *slot* (canal de controle). Para isso, todos os veículos enviam, através das mensagens de *beacon*, o código e o tempo programado para o envio de todas as suas mensagens programadas. Os nós vizinhos recebem os *beacons* e armazenam a tabela de todos os outros vizinhos. Logo, quando um veículo pretende enviar uma mensagem m , primeiramente, este verifica na tabela se existe algum vizinho com mensagem programada para o intervalo em que m está inicialmente programada, ou seja, utilizando o atraso de propagação T . Caso exista, o cálculo do novo atraso de propagação T_d é calculado, caso contrário, o atraso T é retornado sem alterações, pois não haverá concorrência de acesso ao meio no canal pretendido.

Como exemplo do funcionamento do mecanismo, na Figura 3, um veículo recebe a mensagem m no tempo T_1 . Assuma, neste exemplo, que existe concorrência para transmitir no meio, no mesmo intervalo de tempo, ou seja, o novo atraso de propagação é calculado. Neste caso, o protocolo utilizado para realizar a disseminação de dados calcula um atraso $T = 70$ ms para retransmitir a mensagem m . Perceba que $T_c = 50$ ms e, que no tempo T_1 , o CCH está momentaneamente ativo e assim permanecerá por mais $T_s = 5$ ms. Neste exemplo, o algoritmo 1 calcula o número de ciclos de canais inteiros antes de T , ou seja, $cicles = 1$. Este número é necessário para descobrir se o CCH está ativo após o atraso de propagação T . No primeiro caso, se a camada de rede envia m para a camada MAC no tempo T_1 e esta espera $T = 70$ ms antes de tentar transmitir m no SCH, então m perceberá que o CCH está ativo e ainda permanecerá por 40 ms. Note que se a camada de rede não utilizar o mecanismo de dessincronização proposto aqui, esta agenda a retransmissão de m com o atraso de propagação T . Assim, no tempo T_2 , ela envia m para a camada MAC para transmissão no SCH. No entanto, a transmissão não pode ocorrer prontamente, pois o CCH está ativo, o que pode levar a uma resincronização, conforme mostrado anteriormente. Por outro lado, se a camada de rede utilizar o Algoritmo 1, então ela agenda

a retransmissão de m com um atraso $T_d = T + T_c$. Assim, no tempo T_3 , a camada de rede repassa m para a camada MAC e esta pode imediatamente efetuar a transmissão, já que o SCH está momentaneamente ativo. De fato, a utilização do atraso para retransmitir $T_d = T + T_c$ garante que quando a camada de rede repassa m para a camada MAC, então o SCH sempre estará ativo, conseqüentemente evitando o efeito de ressincronização do atraso.

Em resumo, utilizar o Algoritmo 1 produz exatamente o mesmo resultado que utilizar o atraso T e um relógio que funciona somente quando o SCH está ativo, ou seja, o tempo avança somente quando SCH está ativo.

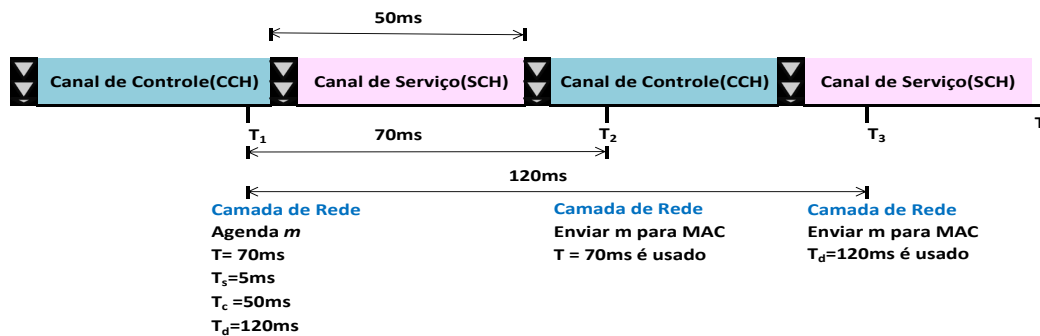


Figura 3. Exemplo que mostra como o mecanismo de dessincronização funciona

6. Avaliação de desempenho

Nesta seção, apresentamos a avaliação de desempenho do mecanismo *RAN*. Para isso, foi feita uma série de simulações usando o simulador OMNeT++ 4.2.2 [Varga 2008], onde comparamos o uso do *RAN* em dois protocolos de disseminação de dados: UV-CAST e ABSM. Estes foram escolhidos para serem algoritmos de disseminação atuais e bem aceitos na comunidade científica.

6.1. Metodologia

O mecanismo proposto *RAN* foi implementado em dois protocolos para disseminação de dados propostos na literatura, sendo eles ABSM e UV-CAST. Os protocolos com o mecanismo *RAN* são nomeados como ABSM-*RAN* e UV-CAST-*RAN*. Avaliamos a performance dos protocolos utilizando o cenário em *grid Manhattan*. Este cenário é composto por dez ruas de pista dupla, uniformemente espaçadas, nos sentidos vertical e horizontal, numa área de 1 km^2 . Neste ambiente, foram avaliados dois cenários, no primeiro, variamos a densidade do tráfego de veículos e , no segundo, variamos a categoria de acesso na camada MAC do padrão WAVE.

Para simular a mobilidade de veículos utilizamos o *SUMO 0.17.0 mobility simulator* [Behrisch et al. 2011]. Um veículo situado, aproximadamente, no centro do cenário gera 100 mensagens de 1024 bytes, que são disseminadas utilizando uma taxa de 1 Mbit/s para todos os outros veículos na rede. Além disso, usamos o *Veins 2.1* [Sommer 2011] para modelar a rede de forma a aumentar a precisão dos resultados. Como parâmetros, configuramos a potência de transmissão em 0.98 mW, resultando num alcance de transmissão de aproximadamente 200 metros. Além disso, os resultados representam a média de 33 execuções para cada cenário com um intervalo de confiança de 95%.

As métricas utilizadas neste trabalho são:

- **Taxa de entrega:** porcentagem de mensagens de dados geradas pelo veículo fonte que é recebida pelos veículos pretendidos. A expectativa é que o protocolo de disseminação consiga entregar 100% das mensagens enviadas.
- **Atraso:** tempo médio gasto para a mensagem de dados viajar da fonte para o destino.
- **Colisões:** média do número de colisões por veículo para disseminar todas as mensagens de dados. O alto número de colisões indica que um dado protocolo não é capaz de evitar o problema de *broadcast storm*.

6.2. Cenário 1 – variando a densidade do tráfego de veículos

Este cenário foi definido para observar o comportamento dos protocolos de acordo com a variação da densidade de veículos por km^2 . Inicialmente, foi aplicado o número de 200 veículos por km^2 e chegamos ao valor de 600 veículos por km^2 . Isso permite avaliar o mecanismo *RAN* em diferentes condições de tráfego de veículos. A Tabela 1 mostra os parâmetros de simulação específicos para este cenário.

Tabela 1. Parâmetros do Cenário 1

Parâmetro	Valor
Densidade	200, 300, 400, 500, 600 veículos/ km^2
Categoria de Acesso	0
Taxa de Transmissão	1 Mbit/s
Tamanho da Mensagem de Dados	1024 bytes
Número de mensagens Produzidas	100

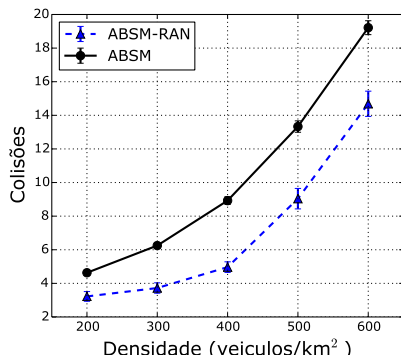
6.2.1. Colisão

As Figuras 4(a) e 4(b) mostram o número de colisões por veículo ocorridas para os dois protocolos ABSM e UV-CAST, variando a densidade do tráfego de veículos. A Figura 4(a) ilustra o comportamento do protocolo ABSM em dois modos, com e sem a utilização do mecanismo *RAN*, respectivamente, ABSM-RAN e ABSM. Da mesma maneira a Figura 4(b) para o protocolo UV-CAST.

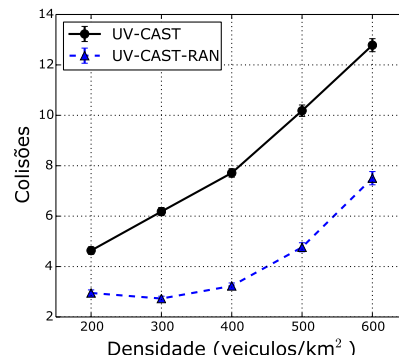
Resultados de simulação mostram que os protocolos que fazem uso do mecanismo proposto *RAN* apresentam menor número de colisões. Na média, o ABSM apresenta 10.4 colisões por veículo, enquanto que o ABSM-RAN obteve 6.5 colisões por veículo, ou seja, uma redução de aproximadamente 37% de colisões. No caso do UV-CAST, ilustrado na Figura 4(b), o UV-CAST tem 8.1 colisões por veículo, enquanto que o UV-CAST-RAN obteve 4.2 colisões por veículo, ou seja, uma redução de aproximadamente 49% de colisões. Isso mostra quanto o mecanismo proposto *RAN* pode melhorar os protocolos avaliados evitando o número de colisões, um dos principais objetivos do mecanismo.

6.2.2. Taxa de Entrega

As Figuras 5(a) e 5(b) mostram a taxa de entrega de pacotes para os dois protocolos ABSM e UV-CAST, variando a densidade do tráfego de veículos. Os protocolos que fa-



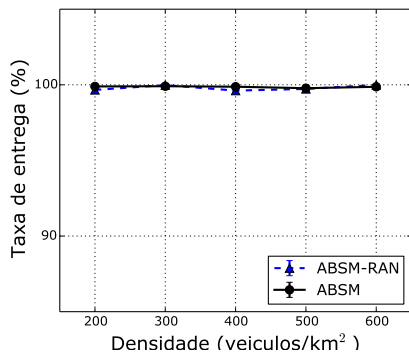
(a) Número de colisões – ABSM



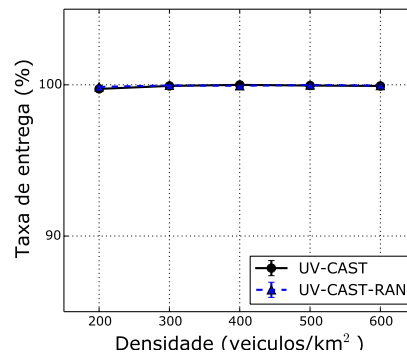
(b) Número de colisões – UV-CAST

Figura 4. Número de colisões por veículo.

zem uso do mecanismo proposto *RAN* apresentam praticamente a mesma taxa de entrega em relação ao protocolo original. Na média, para os quatro casos, ABSM, ABSM-RAN, UV-CAST e UV-CAST-RAN, a taxa de entrega é bem próxima de 100%. Esses números ilustram que a utilização do mecanismo *RAN* não afeta a taxa de entrega dos protocolos originais, ABSM e UV-CAST. Vale ressaltar que a taxa de entrega é calculada através do recebimento do pacote de dados pelo veículo de destino independentemente de quantas vezes o veículos de origem enviou. Por isso, mesmo sem a utilização do mecanismo, a taxa de entrega é aproximadamente 100% e com a utilização do mecanismo há um pequeno aumento nos mesmos, porém com uma diminuição do número de colisões.



(a) Taxa de Entrega – ABSM



(b) Taxa de Entrega – UV-CAST

Figura 5. Taxa de entrega.

6.2.3. Atraso

As Figuras 6(a) e 6(b) mostram o atraso médio das mensagens no envio desde a origem até o destino para os dois protocolos ABSM e UV-CAST variando a densidade do tráfego de veículos. Ambas as figuras mostram que os resultados são muito similares. O ABSM-RAN apresenta uma pequena vantagem sobre o ABSM. No caso do UV-CAST, como mostra a Figura 5(b), UV-CAST e UV-CAST-RAN apresentam quase os mesmos resultados. Isto mostra que o atraso introduzido pelo mecanismo *RAN* não afetou o atrado

médio das mensagens. Este resultado é devido à redução no número de colisões, pois estas requerem uma retransmissão, consequentemente, um aumento no atraso (T) para a retransmissão.

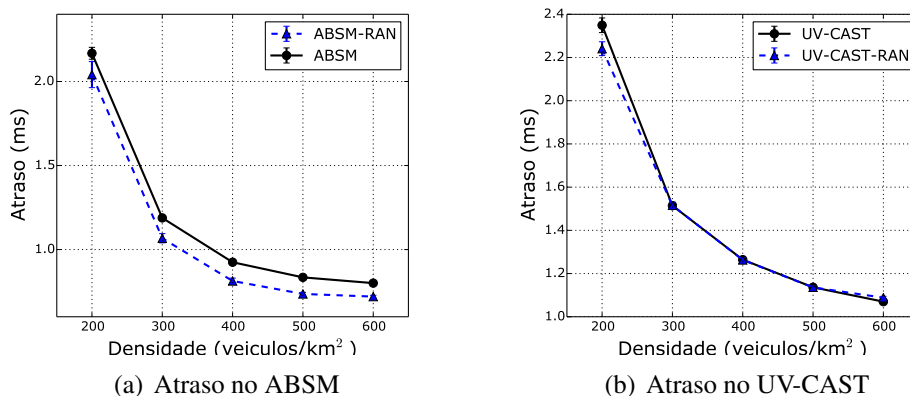


Figura 6. Atraso.

Conforme a Tabela 1, utilizamos a categoria de acesso igual a 0. Entre as categorias de acesso, essa foi a que o *RAN* apresentou os piores resultados. Isso é apresentado, em detalhes, na próxima seção.

6.3. Cenário 2 – variando a categoria de acesso na camada MAC do padrão WAVE

Neste cenário, o objetivo principal é observar o comportamento dos protocolos de acordo com a variação da categoria de acesso na camada MAC do padrão WAVE. Como citado na Seção 2, os possíveis valores são: 0, 1, 2 e 3. A Tabela 2 mostra os parâmetros de simulação específicos usados.

Parameter	Value
Categoria de Acesso	0, 1, 2, 3
% Densidade	400 veículos/km ²
Taxa de Transmissão	1 Mbit/s
Tamanho da Mensagem de Dados	1024 bytes
Número de mensagens Produzidas	100

6.3.1. Colisão

As Figuras 7(a) e 7(b) mostram o número de colisões por veículo ocorridas para os dois protocolos ABSM e UV-CAST, variando a categoria de acesso e mantendo constante a densidade do tráfego de veículos, no caso, em 400 veículos/km². Resultados de simulação mostram que os protocolos que fazem uso do mecanismo proposto *RAN* apresentam menor número de colisões.

Na média, o ABSM apresenta 8.8 colisões por veículo, enquanto que o ABSM-RAN obteve 5.1 colisões por veículo (veja a Figura 7(a)), ou seja, uma redução de apro-

ximadamente 42% de colisões. No caso do UV-CAST, ilustrado na Figura 7(b), o UV-CAST tem 7.7 colisões por veículo, enquanto que o UV-CAST-RAN obteve 3.25 colisões por veículo, ou seja, uma redução de aproximadamente 57% de colisões. Isso mostra quanto o mecanismo proposto *RAN* pode melhorar os protocolos avaliados evitando o número de colisões, um dos principais objetivos do mecanismo.

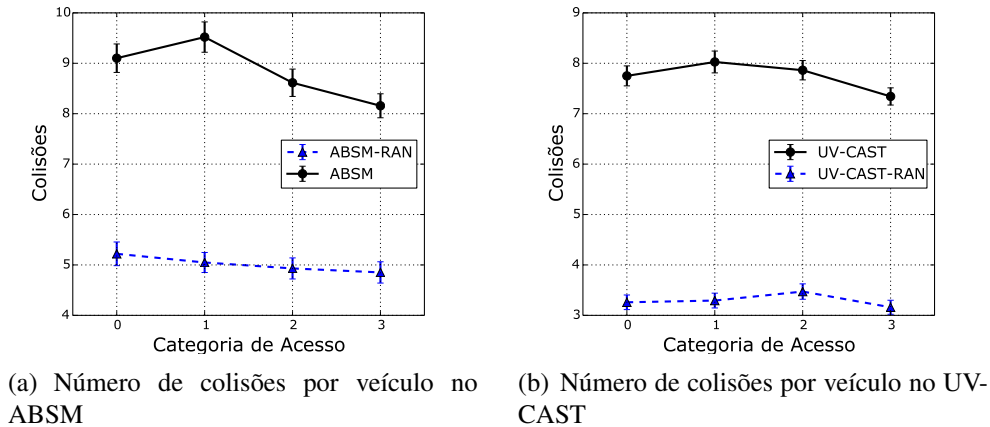


Figura 7. Número de colisões por veículo.

6.3.2. Taxa de Entrega

As Figuras 8(a) e 8(b) mostram a taxa de entrega de pacotes para os dois protocolos ABSM e UV-CAST, variando a categoria de acesso conforme a Tabela 2. Na média, os protocolos que fazem uso do mecanismo proposto *RAN* apresentam maior taxa de entrega em relação ao protocolo original. O ABSM-RAN apresenta melhora média de 1.5% (veja a Figura 8(a)). No caso do UV-CAST, mostrado na Figura 8(b), a taxa de entrega é bem próxima de 100%, apesar do UV-CAST-RAN apresentar uma pequena vantagem. Esses números são esperados devido ao número de colisões, conforme apresentado na seção anterior, os protocolos originais apresentam um número maior de colisões.

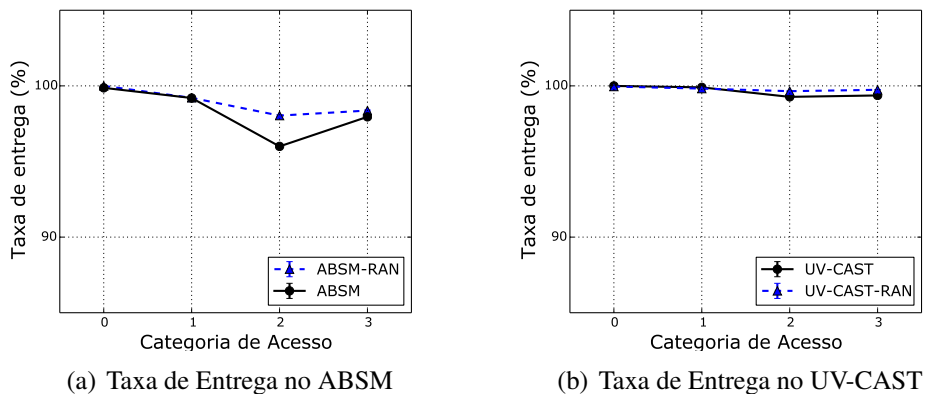


Figura 8. Taxa de entrega.

6.3.3. Atraso

Como esperado, os protocolos que fazem uso do mecanismo proposto *RAN* apresentam um menor atraso (Veja as Figuras 9(a) e 9(b)). Entre as categorias de acesso, a categoria de acesso 0 foi a que apresentou o pior resultado, como mencionado anteriormente. Isto acontece porque, entre as categorias de acesso, a categoria 0 possui o maior tempo de acesso ao meio e a categoria de acesso 3 possui o maior tempo de acesso ao meio. Quanto menor tempo de acesso ao meio, maior o número de colisões e assim o mecanismo *RAN* apresenta melhores resultados, isto é, o mecanismo torna o protocolo menos vulnerável para o problema. Na média, o ABSM-RAN apresenta um melhoramento de 12%. No caso do UV-CAST e UV-CAST-RAN apresentam praticamente o mesmo resultado, porém, o UV-CAST-RAN apresenta melhor resultado na categoria de acesso 3, ou seja, quando a categoria de acesso apresenta o menor tempo de acesso ao meio.

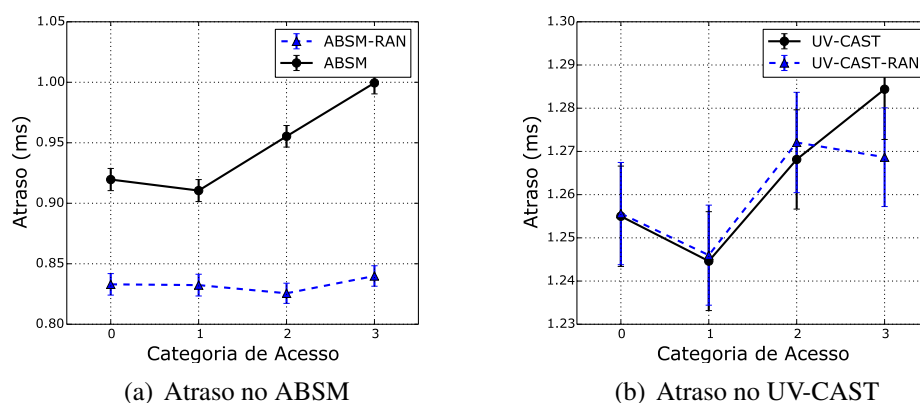


Figura 9. Atraso.

7. Conclusão

Neste trabalho, foi proposto o *RAN*, um mecanismo de dessincronização na camada MAC do padrão IEEE 802.11p/WAVE. Foram utilizados dois protocolos – ABSM e UV-CAST – para avaliar o desempenho do mecanismo proposto *RAN*. Para cada protocolo citado, foi avaliado o desempenho do protocolo original com uma versão que implementa o *RAN*. Os resultados das simulações mostraram que os protocolos que utilizam o mecanismo *RAN* apresentaram um melhor desempenho considerando as métricas de colisão e taxa de entrega. Como trabalhos futuros, pretendemos melhorar o mecanismo afim de reduzir o atraso introduzido pela sua utilização. Também pretendemos testar o *RAN* em outros protocolos similares.

Acknowledgment

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro concedido da CAPES e CNPq para o bolsista de doutorado Erick Aguiar Donato. Ainda, os autores também agradecem ao CNPq por financiar partes dos seus projetos de pesquisas. Por fim, Leandro Villas agradece o apoio financeiro da FAPESP por meio do processo nº 2015/07538-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Referências

- Barradi, M. e Hafid, A. e. G. J. (2010). Establishing Strict Priorities in IEEE 802.11p WAVE Vehicular Networks. In *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '10)*, pages 1–6.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview. In *International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL '11)*, pages 63–68.
- Campolo, C. e Molinaro, A. e. V. A. (2011). Understanding the performance of short-lived control broadcast packets in 802.11p/WAVE Vehicular networks. In *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC '11)*, pages 102–108.
- Eckhoff, D. e Sommer, C. e. D. F. (2012). On the Necessity of Accurate IEEE 802.11p Models for IVC Protocol Simulation. In *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC '12)*, pages 1–5.
- Eichler, S. (2007). Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard. In *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC '07)*, pages 2199–2203.
- Grafling, S. e Mahonen, P. e. R. J. (2010). Performance evaluation of IEEE 1609 WAVE and IEEE 802.11p for vehicular communications. In *International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN '10)*, pages 344–348.
- Hartenstein, H. e Laberteaux, K. P. (2008). A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, 46(6):164–171.
- IEEE (2010). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. IEEE Standards.
- Ros, F., Ruiz, P., and Stojmenovic, I. (2012). Acknowledgment-Based Broadcast Protocol for Reliable and Efficient Data Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11(1):33–46.
- Sommer, Christoph e German, R. e. D. F. (2011). Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(1):3–15.
- Varga, András e Hornig, R. (2008). An overview of the OMNeT++ simulation environment. In *International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems & Workshops (Simutools '08)*, pages 1–10.
- Villas, L. A. e Boukerche, A. e. M. G. e. P. R. W. e. L. A. A. F. (2014). Drive: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks. *Computer Networks*, 75, Part A(0):381 – 394.
- Viriyasitavat, W., Bai, F., and Tonguz, O. K. (2010). Uv-cast: An urban vehicular broadcast protocol. In *Vehicular Networking Conference (VNC), 2010 IEEE*, pages 25–32.