

PMCP: Uma Heurística Probabilística para Otimizar a Instalação de Pontos de Disseminação em Redes Veiculares

Cristiano Silva^{1,2}, Fernando A. Teixeira¹, Sérgio de Oliveira¹, André L. L. Aquino³

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

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

³Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Maceió – AL – Brasil

{cristiano,teixeira,sergiool}@ufsj.edu.br, alla@ic.ufal.br

Abstract. *The paper presents a method to calculate the ideal locations where dissemination points should be deployed in an urban area in order to provide an infrastructure to support the communication of vehicles. Given an arbitrary topology and a distribution of vehicles in the urban area, the goal is to find the locations that maximize the coverage of vehicles. The problem is modeled as a variant of the Maximum Coverage Problem and the results (via simulation) show that we can achieve 100% of vehicles coverage after deploying dissemination points in less than 7% of the urban intersections.*

Resumo. *O trabalho apresenta uma técnica para calcular os locais ideais onde rádios de transmissão devem ser implantados numa área urbana com o objetivo de prover uma infraestrutura de comunicação para que veículos possam trocar dados entre si e com a infraestrutura. Dada uma topologia qualquer e a distribuição de veículos pela área urbana, o objetivo é descobrir os locais que maximizam a cobertura dos veículos. O problema foi modelado como uma variante do Problema da Máxima Cobertura e os resultados, via simulação, demonstram que podemos atingir 100% de cobertura através da instalação de pontos de disseminação em menos de 7% dos cruzamentos urbanos.*

1. Introdução

Redes veiculares têm atraído atenção crescente da comunidade científica pelo seu potencial de aperfeiçoar a circulação de veículos nos grandes centros urbanos [Bazzan and Klügl 2007] e oferecer um grande espectro de soluções de informações de tráfego [Picone et al. 2012], segurança [Zaldivar et al. 2011], monitoramento de vias [Oliveira et al. 2013], monitoramento do veículo e, até mesmo, do próprio condutor [Araujo et al. 2012]. Embora nessa rede os veículos possam se comunicar diretamente entre si, a implantação de uma infraestrutura de comunicação mínima ao longo das vias de uma área urbana multiplica por 5 a taxa de entrega de mensagens, e reduz em até 35% o tempo de sua entrega [Wu et al. 2012]. Tais ganhos são consequência da natureza intrínseca da rede veicular que é composta por nodos que se movem em alta velocidade, criando topologias que mudam constantemente ao longo do tempo. Em áreas rurais e

rodovias os ganhos são ainda maiores, visto que a comunicação veículo-veículo torna-se ineficiente pelo fato dos nodos estarem dispersos geograficamente entre si.

Antes que a infraestrutura de apoio a uma rede veicular seja implantada, é preciso definir aonde cada ponto de disseminação (PD) deve ser instalado e qual a expectativa de cobertura de veículos que será atingida, de forma a validar se os investimentos realmente trarão os objetivos almejados.

Esse trabalho apresenta uma estratégia que permite a definição do local de instalação de cada PD numa região arbitrária da área urbana, tendo como objetivo maximizar a quantidade de veículos cobertos, respeitando-se uma restrição de limite do número de PD e um alcance fixo de cobertura de cada PD. De forma similar a outros trabalhos na área, assumimos a premissa de que os PD devem ser instalados em cruzamentos de vias, permitindo assim que as mensagens sejam disseminadas para veículos presentes em mais de uma via. O presente trabalho apresenta a modelagem do problema citado como um grafo, onde cada veículo representa um vértice e cada esquina representa um conjunto de vértices (i.e., veículos que serão cobertos caso seja instalado um PD naquele cruzamento). O objetivo é encontrar a maior quantidade de vértices que podem ser cobertos, dada uma restrição de selecionar no máximo k cruzamentos (conjuntos).

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da solução proposta que consegue atingir a cobertura de 100% dos veículos numa área urbana através da implantação de PD em menos de 7% dos cruzamentos, o que representa um avanço em relação a resultados obtidos em trabalhos anteriores [Trullols et al. 2009], que indicam a instalação de PD em 12% dos cruzamentos de forma a atingir a mesma cobertura. O ganho de eficácia obtido pela heurística PMCP (*Probabilistic Maximum Coverage Problem*) está relacionado ao fato de considerar a probabilidade de cada veículo passar por cada cruzamento dentro da região em estudo. Assim, a heurística consegue avaliar o padrão de mobilidade dos veículos e sugerir melhores locais para a instalação de cada PD, já que conta com uma visão projetada (e mais ampla) de todo o fluxo de veículos.

A base do modelo probabilístico é uma função $f(v1, v2)$, onde $v1$ e $v2$ são duas vias que se cruzam. A função retorna a probabilidade de um veículo que trafega na via $v1$ realizar uma conversão para a via $v2$, resultado esse que pode ser obtido através de inspeção automática (por sensores instalados na via), manual (contagem de veículos) ou estimada com base em características da via (dimensão, largura, localização, frequência de congestionamentos, custo de manutenção por Km, dentre outros). A capacidade da heurística proposta em lidar com o fluxo dinâmico de veículos pode ser a maior contribuição dessa pesquisa. Trabalhos anteriores usam apenas um *snapshot* do tráfego para definir o posicionamento dos PD. Por lidar apenas com a concentração instantânea de veículos, acabam gerando resultados de qualidade (potencialmente) inferior.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 mostra os trabalhos relacionados. A seção 3 detalha a heurística proposta por Trullols et al. (2010). A Seção 4 apresenta a heurística PMCP. A Seção 5 discute o cenário considerado e os resultados obtidos. A Seção 6 conclui o trabalho e mostra futuras direções.

2. Trabalhos Relacionados

[Habib and Safar 2007] propõem a definição da localização dos PD através da divisão da área urbana em células geométricas e, por intermédio de uma abordagem evolucionária

realizam a atribuição dos PD. A abordagem possui como ressalva o fato dos resultados serem dependentes da qualidade da divisão da área urbana. Uma boa divisão pode levar a bons resultados, enquanto que uma má divisão pode implicar em resultados de baixa qualidade. A heurística PMCP diferencia-se de Habib e Safar (2007) no sentido em que não realiza a divisão da área em análise para cálculo dos locais aonde serão instalados os PD, não ficando dependentes da eficiência da estratégia de partição.

[Kchiche and Kamoun 2009] propõem uma abordagem gulosa baseada na centralidade de grupo para selecionar a melhor disposição dos PD. Eles buscam alcançar o melhor desempenho possível em termos de atraso e sobrecarga de comunicação, dado um snapshot do fluxo de veículos. A heurística PMCP diferencia-se de Kchiche e Kamoun (2009) no sentido em que considera, também, a mobilidade dos veículos para a definição dos PD. Todavia, em trabalhos posteriores, Kchiche e Kamoun demonstram que a centralidade e a equidistância dos PD são características importantes para melhorar a qualidade de serviço, o que é uma conclusão importante e que subsidia a heurística PMCP.

[Cavalcante et al. 2012] modelam o problema como um Problema de Máxima Cobertura¹ com limite de tempo e aplicam a ele uma heurística baseada em algoritmos genéticos. O algoritmo é avaliado com dados reais e comparado com a abordagem proposta em Trullols et al. (2010). Os resultados mostram que a abordagem tem melhores resultados em todos os cenários considerados. A heurística PMCP diferencia-se de Cavalcanti et al. (2012) por considerar a mobilidade dos veículos em detrimento de um *snapshot*.

[Sou 2010] propõe a implantação de PD equidistantes ao longo de uma estrada. O autor argumenta que alguns PD podem ser desligados com o objetivo de economia de energia. O trabalho apresenta uma estratégia para selecionar os PD que poderiam ser ativados e desativados ao longo do tempo. A proposta PMCP diferencia-se de Sou (2010) pelo fato de focar na distribuição dos PD em uma área urbana.

[Trullols et al. 2009] propõem uma estratégia gulosa para encontrar os melhores locais para a instalação dos PD através da sua modelagem, também, como um Problema de Máxima Cobertura. Por apresentar grande relação com a proposta desse artigo, será detalhado na seção a seguir.

3. Heurística Gulosa de Trullols et al.

Os autores assumem três premissas importantes: (i) as interseções das ruas são as candidatas naturais a receber os PD, já que os cruzamentos possuem uma visada direta para veículos presentes em mais de uma via; (ii) o alcance de cada PD é suficiente para cobrir todos os veículos presentes no cruzamento, ou seja, cada PD possui cobertura igual ao comprimento de uma quadra; (iii) sabe-se, de antemão, a quantidade de veículos que estão em cada interseção (essa informação pode ser obtida através de dados aferidos pela autoridade de trânsito via sensores instalados na via, inspeção manual do tráfego, ou mesmo inferidos com base em características da via).

A heurística recebe como entrada:

M: Matriz bidimensional de cruzamentos de tamanho $v \times v$, onde v representa a quantidade de vias na região. Em cada posição M_{ij} temos a quantidade de veículos naquele cruzamento;

¹O referencial teórico do Problema da Máxima Cobertura pode ser consultado em [Cormen et al. 2001].

Algoritmo 1: Heurística de Trullols et al. (2010) para definir PD

Input: M, A
Output: Cruzamentos selecionados para receber PD e cobertura obtida
 $Solucao \leftarrow \emptyset$ // Conjunto solução começa vazio
 $Qtdade \leftarrow 0$ // Nenhum cruzamento selecionado
 $Cobertura \leftarrow 0$ // Nenhum veículo coberto
 $C_{ij} \leftarrow M_{ij}, \forall i, j$ // Cobertura de cada cruzamento é simplesmente a qtdade de veículos nesse cruzamento (para toda a área urbana)
repeat
 Selecione Maior C_{ij} // Cruzamento com mais veículos
 $Solucao \leftarrow Solucao \cup M_{ij}$ // Acrescente cruz. à solução
 $Cobertura \leftarrow Cobertura + C_{ij}$ // Atualize cobertura
 $Qtdade \leftarrow Qtdade + 1$
 Remova C_{ij} e M_{ij} // Remova cruzamento selecionado
until ($Qtdade = A$) ou (*Inexistam Veículos Descobertos*);
Imprima Solução e Cobertura

A: Máxima quantidade de PD que podem ser instalados.

O pseudocódigo da heurística gulosa proposta por Trullols et al. (2010) é apresentado no Algoritmo 1. Inicialmente o conjunto *Solução* é vazio, e tanto a *Qtdade* de PD instalados, quanto a *Cobertura* são inicializadas como zero. A heurística encontra a cobertura C_{ij} em cada cruzamento. A partir desse momento, realiza um laço de repetição em que seleciona o cruzamento que oferece a maior cobertura. Esse cruzamento selecionado é adicionado ao conjunto *Solução*. A variável *Cobertura* é incrementada com a cobertura de veículos obtida em C_{ij} . A *Qtdade* de PD é incrementada e o cruzamento selecionado é removido do modelo. Então a heurística repete esses passos até que atinja o limite de A PD ou detecte que não existem mais veículos descobertos. Essa heurística foi utilizada nas avaliações dos resultados da heurística PMCP. A seção seguinte apresenta a nova proposta.

4. Heurística PMCP - Probabilistic Maximum Coverage Problem

A heurística PMCP proposta leva em conta o fato de que os veículos estão em constante movimento e isto traz implicações relevantes na modelagem do problema e na forma de seleção dos pontos de instalação dos PD. Além das premissas consideradas por Trullols et al. (2010), PMCP também assume que:

(i) Os veículos estão em constante movimento, migrando entre os PD. Num dado momento o veículo pode não estar numa área de cobertura, mas se ele atingir esta área de cobertura dentro de um intervalo de tempo que preserve a utilidade da informação de tráfego, então ele será beneficiado pela mensagem e o sistema de disseminação terá cumprido sua tarefa;

(ii) Cada informação de tráfego pode ser reenviada por PD, enquanto a informação for válida. Essa premissa permite que a mensagem consiga atingir mais veículos devido à sua intrínseca movimentação, afinal a cada instante de tempo novos veículos atravessam áreas de cobertura espalhadas pela área urbana. O intervalo de tempo pelo qual uma mensagem pode ser reenviada depende de características intrínsecas do evento que a originou. Enquanto a informação ainda for válida, ela pode ser repetida para os veículos pelos PD;

(iii) Se um veículo estiver se movimentando em direção a um PD, ele pode ser considerado coberto com probabilidade p . Essa premissa representa o ponto principal da

Algoritmo 2: Heurística PMCP proposta para definir PD

Input: M, A, P
Output: Cruzamentos selecionados para receber PD e cobertura obtida
Solucao $\leftarrow \emptyset$ // Conjunto solução começa vazio
Qtidade $\leftarrow 0$ // Nenhum cruzamento selecionado
Cobertura $\leftarrow 0$ // Nenhum veículo coberto
$$C_{ij} = \sum_{k=0}^i M_{kj} \cdot P_{kj} + \sum_{k=0}^j M_{ik} \cdot P_{ik} + \sum_{\forall k > i} M_{kj} \cdot P_{kj} + \sum_{\forall k > i} M_{ik} \cdot P_{ik}$$

// Cobertura de cada cruzamento leva em conta a probabilidade dos veículos em todos os cruzamentos passarem por esse PD - A equação (2) é explicada no texto
repeat
 Selecione Maior C_{ij} // Cruzamento com mais veículos
 Solucao \leftarrow Solucao $\cup M_{ij}$ // Acrescente cruz. à solução
 Cobertura \leftarrow Cobertura + C_{ij} // Atualize cobertura
 Qtidade \leftarrow Qtidade + 1
 Remova C_{ij} e M_{ij} // Remova cruzamento selecionado
 Recalcule cobertura $C_{ij} \forall i, j$ // Recalcular a projeção de veículos que pode passar pelo cruzamento
until (Qtidade = A) ou (Inexistam Veículos Descobertos);
Imprima Solução e Cobertura

heurística. Se um veículo se move em direção a uma área de cobertura tendo probabilidade p de passar pela área, implica que este veículo está coberto com probabilidade p nesse momento;

(iv) O sistema não sabe a trajetória futura de um veículo, mas conhece o comportamento coletivo. A heurística não precisa conhecer o comportamento individual dos veículos. Mas conhece a probabilidade de um veículo seguir adiante ou realizar uma conversão para cada intersecção de vias. Conforme mencionado anteriormente, essa probabilidade pode ser estimada de forma automática, manual ou inferida a partir das características da via. Com isso perde-se o interesse no comportamento individual, resguardando a privacidade dos condutores, e passa-se a observar o comportamento coletivo do fluxo de veículos. A heurística recebe como parâmetros de entrada:

M: Matriz bidimensional de cruzamentos de tamanho $v \times v$, onde v representa a quantidade de vias na região. Em cada posição M_{ij} temos a quantidade de veículos naquele cruzamento;

A: Máxima quantidade de PD que podem ser instalados.

P: Matriz bidimensional de tamanho $v \times v$ que armazena em cada posição (i, j) a probabilidade de um veículo realizar uma conversão da via i para a via j ;

O pseudocódigo é apresentado no Algoritmo 2. Inicialmente o conjunto *Solução* é vazio, e tanto a *Qtidade* de PD instalados, quanto a *Cobertura* são inicializados como zero. A heurística encontra a cobertura C_{ij} através da projeção do fluxo de trânsito (detalhado na subseção 4.1). Após o cálculo da cobertura, a heurística realiza um laço de repetição similar a Trullols et al. (2010) em que seleciona o cruzamento que oferece a maior cobertura. Esse cruzamento é adicionado ao conjunto *Solução*. A variável *Cobertura* é incrementada com a cobertura de veículos obtida em C_{ij} . A *Qtidade* de PD é incrementada, e o cruzamento selecionado é removido do modelo. Então a heurística calcula os novos valores de cobertura C_{ij} e repete esses passos até que atinja o limite de A PD ou detecte que não existem mais veículos descobertos. É fácil perceber que PMCP difere de Trullols et al. (2010) apenas na estratégia de cálculo da cobertura C_{ij} . No entanto, o cálculo dessa cobertura é o que leva ao sucesso ou fracasso da abordagem, visto que é através desse parâmetro que seleciona-se onde será implantado o novo PD.

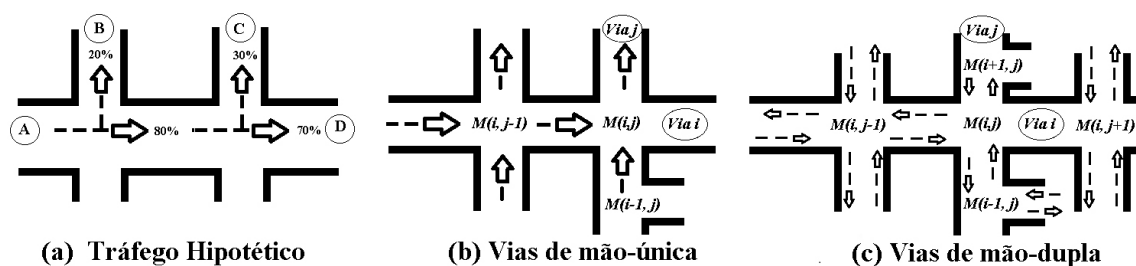


Figura 1. (a) Fluxo hipotético. (b) Em via de mão única. (c) Em via de mão dupla.

4.1. Projeção do Fluxo de Trânsito

Para demonstrar os princípios usados no cálculo da projeção do fluxo de trânsito, apresenta-se um exemplo com fins didáticos. Na Figura 1(a) considere que existem 100 veículos no ponto A. Na primeira intersecção espera-se que esse fluxo seja repartido num fluxo de 20 veículos para o ponto B e outro fluxo contendo 80 veículos que permanecem na via principal. Na segunda intersecção espera-se que 24 veículos atinjam o ponto C, enquanto que 56 veículos cheguem até o ponto D. Note que o uso de um *snapshot* do momento inicial no exemplo da Figura 1(a) traz uma visão distorcida do fluxo, onde todos os veículos estão concentrados no ponto A. Mas quando se projeta o fluxo de veículos ao longo do tempo, tem-se uma visão mais adequada da distribuição de veículos, reduzindo o efeito de eventuais distorções causadas por um *snapshot* tendencioso.

$$C_{ij} = \sum_{k=0}^i M_{kj} \cdot P_{kj} + \sum_{k=0}^j M_{ik} \cdot P_{ik} \quad (1)$$

A Equação 1 demonstra como esse cálculo é realizado para vias de mão-única. Nessa versão, a equação é composta por dois somatórios, onde o primeiro somatório contabiliza a cobertura de veículos que se deslocam na via i (ver Figura 1(b)) em direção ao cruzamento em estudo. O segundo somatório contabiliza os veículos que trafegam pela via j . Dessa forma, a Equação 1 pode ser usada para calcular a cobertura de vias com sentido único de tráfego. A Figura 1(b) apresenta um exemplo de um cruzamento entre vias de mão única. Repare que a equação proposta contabiliza a expectativa de fluxo proveniente de todos os cruzamentos da via i anteriores ao PD M_{ij} em estudo. De forma similar, também contabiliza a expectativa de fluxo proveniente de pontos da via j anteriores ao cruzamento M_{ij} . Cruzamentos que não estão diretamente relacionados ao cruzamento M_{ij} são desconsiderados.

No caso de vias de mão-dupla, a Equação 1 deve ser estendida para contabilizar também os veículos provenientes no sentido oposto de deslocamento. Com isso são contabilizados todos os veículos que estão se deslocando em direção ao PD, conforme esquema apresentado na Figura 1(c). Dessa forma, a Equação 1 pode ser generalizada para a Equação 2. Note que a Equação 2 possui 4 parcelas. As duas parcelas iniciais (idênticas à Equação 1) contabilizam a expectativa do fluxo proveniente da esquerda para a direita nas vias anteriores ao PD. As duas parcelas finais calculam a expectativa de fluxo no sentido oposto, ou seja, veículos situados em vias posteriores a via em questão, mas que estão se dirigindo para o PD no sentido contrário. Em cada somatório da equação de cobertura apresentada, o valor de i indica a quantidade de cruzamentos que a via possui

até atingir o cruzamento em análise. O valor M_{kj} indica a quantidade de veículos presentes nesse cruzamento. O valor P_{kj} indica a probabilidade dos veículos deixarem a via (em cada cruzamento da via k com a via j). Com isso, o somatório indica a esperança de quantos veículos chegam até o cruzamento M_{ij} em análise.

$$C_{ij} = \sum_{k=0}^i M_{kj} \cdot P_{kj} + \sum_{k=0}^j M_{ik} \cdot P_{ik} + \sum_{\forall k > i} M_{kj} \cdot P_{kj} + \sum_{\forall k > i} M_{ik} \cdot P_{ik} \quad (2)$$

A matriz de probabilidades que a heurística requer é simples e pode ser facilmente construída pelo órgão gestor do trânsito. Para cada entroncamento, verifica-se qual a parcela de veículos que continua na mesma via e qual realiza uma conversão. A influência de veículos distantes no cálculo da cobertura decai rapidamente conforme nos afastamos de uma área de cobertura, afinal os veículos passam a ter cada vez mais opções de rotas. Por outro lado, o número de veículos aumenta consideravelmente, e a relação entre essas duas grandezas é o que determina os ajustes na variável de cobertura, indicando qual é o melhor local para a implantação de um PD. Em última análise, essa escolha é que define a eficiência de todo o método. A seção seguinte apresenta detalhes do *software* desenvolvido para realizar os experimentos.

5. Resultados e Avaliação

Para a geração de resultados e comparação da heurística PMCP e Trullols et al. (2010) foi desenvolvido um gerador de grafos e simulador de tráfego. O gerador define um conjunto de vias (especificando para cada via um tipo de mão e capacidade), atribui cruzamentos entre essas vias de forma aleatória e define a quantidade de veículos em cada cruzamento usando uma distribuição uniforme entre 0 e a capacidade da via. Na sequência, o gerador realiza uma grande quantidade de ciclos semafóricos, movimentando os veículos pela área urbana (respeitando a mão de direção e a capacidade de cada via). Finalmente, o gerador aplica as heurísticas PMCP e Trullols et al. (2010) e compara seus resultados.

A criação de um software específico (ao invés de adotar um simulador já existente) foi motivada pela facilidade de gerar milhares de cenários urbanos arbitrários num único passo de simulação. Ainda que simuladores de tráfego tenham um conjunto muito amplo de operações, PMCP e Trullols et al. (2010) não são influenciados por esses parâmetros, lidando apenas com a quantidade de veículos existente em cada cruzamento.

5.1. Cenário do Experimento

Com o objetivo de reduzir a chance do software criar cenários urbanos irreais, ele foi instrumentado para restringir a geração de topologias considerando apenas 5 tipos de vias, que suportam os fluxos de {5, 10, 15, 20 e 80} veículos por unidade de tempo. A escolha dessas capacidades foi arbitrária e com o intuito de gerar um sistema viário mesclando vias de alta capacidade com vias de pequeno e médio porte. As vias de menor fluxo {5,10} podem ser imaginadas como pequenas ruas de bairros. As vias de fluxo médio {15,20} podem ser interpretadas como avenidas de bairros. As vias de grande fluxo {80} correspondem a avenidas importantes e vias expressas frequentemente presentes nos centros urbanos.

5.2. Validação do Gerador

O funcionamento correto do gerador foi validado a partir da comparação dos resultados obtidos por essa ferramenta com os valores obtidos por Trullols et al. (2010) no seu estudo, onde verifica-se uma variação de $\pm 1\%$ entre os valores reportados por Trullols com os valores obtidos no gerador desenvolvido. Por restrição de espaço, essa comparação não é apresentada nesse texto.

5.3. Resultados

Durante o processo de simulação foram gerados cenários contendo de 25 a 10 mil entroncamentos em cada simulação, através de um processo aleatório, como forma de testar a solução para áreas de diversos tamanhos. Após a planta da região construída, o gerador inicia o processo de instanciação de veículos através das bordas da planta. Por cada borda entram o máximo de veículos suportados por cada via que se origina ali. Supondo que existem n vias no modelo, o fluxo de veículos é iterado por n^2 vezes. O experimento real foi conduzido através da geração de 100 cenários aleatórios baseados nas restrições apresentadas buscando eliminar vieses e desvios estatísticos causados pela geração de um cenário inadequado, permitindo avaliar o intervalo de confiança da solução e o desvio padrão dos resultados obtidos.

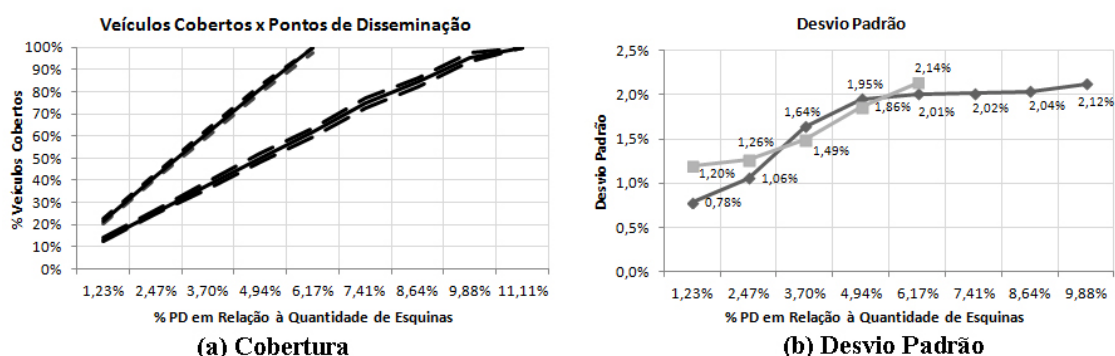


Figura 2. (a) Resultado de Cobertura x Quantidade de PD. (b) Desvio Padrão.

A Figura 2(a) apresenta os resultados obtidos para ambas as heurísticas, juntamente com o intervalo de confiança (em linhas tracejadas) apurado. O eixo y representa o percentual de veículos cobertos após cada iteração da heurística. O eixo x apresenta a quantidade de pontos de disseminação instalados (repare que a quantidade de PD instalados como uma relação entre o total de cruzamentos existentes e a quantidade de PD, por isso a notação percentual usada no eixo x).

A heurística PMCP supera a proposta de Trullols et al. (2010). Esse resultado pode ser compreendido a partir da constatação de que Trullols et al. (2010) utilizam a concentração pontual para definir os PD, enquanto que a heurística PMCP utiliza a concentração dinâmica. A cada iteração, Trullols et al. (2010) seleciona o ponto capaz de cobrir a maior quantidade de veículos ainda não cobertos, considerando apenas o *snapshot* do momento. Já a PMCP não se preocupa com o *snapshot*, mas sim com a cobertura que pode ser obtida através da projeção do fluxo de veículos, optando por um PD que talvez não tenha a maior cobertura no *snapshot*, mas que seja um ponto que receba um fluxo alto de veículos ao longo do tempo.

Para exemplificar esse comportamento, suponha dois cruzamentos hipotéticos. O cruzamento 1 fica na área central da cidade e possui um alto volume de veículos, mas é muito sujeito a congestionamentos. O cruzamento 2 fica numa via expressa, onde a quantidade de veículos que passa por unidade de tempo é superior ao cruzamento 1, mas isso não é perceptível quando olha-se apenas para o *snapshot*. Como Trullols avalia apenas o *snapshot*, seleciona o cruzamento 1, afinal a foto desse cruzamento apresenta um grande emaranhado de veículos. Já a PMCP seleciona o cruzamento 2, pois por ali passa um contingente maior de veículos por unidade de tempo. Essa é a diferença entre as heurísticas.

A Figura 2(b) apresenta o desvio padrão obtido entre os diversos experimentos realizados com topologias variáveis, indicando uma variação sempre inferior à 2,14 pontos percentuais, o que indica estabilidade para diferentes cenários, reforçando que a heurística é capaz de atuar em topologias arbitrárias.

5.4. Análise de Complexidade de PMCP

A execução dos experimentos é realizada em poucos segundos, dado que a heurística possui ordem de complexidade quadrática em relação ao número de cruzamentos. A complexidade pode ser derivada observando-se que o algoritmo precisa computar a cobertura de cada entroncamento olhando os demais entroncamentos. Seja n o número de entroncamentos. Então essa operação pode ser vista como $O(n^2)$. A cada iteração o algoritmo precisa ordenar as coberturas de entroncamentos com custo $O(n \cdot \log n)$. Esse processo precisa ser repetido para cada uma dos k PD, gerando complexidade total de $k \cdot [O(n^2) + O(n \cdot \log n)]$ que é simplesmente $O(n^2)$.

6. Conclusão

Neste trabalho endereçamos o problema da localização de PD em uma rede veicular numa área urbana de topologia arbitrária. Para isso, propõe-se uma heurística probabilística que escolhe o local de instalação dos PD que oferece a maior cobertura dos veículos ainda descobertos. Em comparação com soluções existentes na literatura, PMCP consegue obter um posicionamento dos PD mais eficiente, sendo possível atingir a cobertura de 100% dos veículos por intermédio da implantação de pontos de disseminação em menos de 7% das intersecções das vias. Como trabalhos futuros pretendemos definir mecanismos para propagar dados de cruzamentos não diretamente relacionados e avaliar critérios para tornar os pontos de disseminação o mais distantes um do outro, além de incorporar a rotatória (intersecção viária em círculo onde os veículos são obrigados a transitar em uma única direção ao redor de uma ilha central).

7. Agradecimentos

Esse trabalho foi parcialmente financiado por recursos do CTIC-RNP e CIA2 meta CDT.

Referências

Araujo, R., Igreja, A., de Castro, R., and Araujo, R. (2012). Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE*, pages 1005–1010. IEEE.

- Bazzan, A. L. and Klügl, F. (2007). Sistemas inteligentes de transporte e tráfego: uma abordagem de tecnologia da informação. *Anais das Jornadas de Atualização em Informática*, pages 2296–2337.
- Cavalcante, E. S., Cavalcante, L. P., Aquino, A. L., Pappa, G. L., and Loureiro, A. A. (2012). Uma abordagem evolutiva para posicionamento de pontos de disseminação em vanets. In *XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO'12)*. IEEE.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (2001). *Introduction to algorithms*. MIT press.
- Habib, S. and Safar, M. (2007). Sensitivity study of sensors' coverage within wireless sensor networks. In *Computer Communications and Networks, 2007. ICCCN 2007. Proceedings of 16th International Conference on*, pages 876–881. IEEE.
- Kchiche, A. and Kamoun, F. (2009). Access-points deployment for vehicular networks based on group centrality. In *New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2009 3rd International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- Maia, G., A.Boukerche, Aquino, A. L. L., Viana, A. C., and Loureiro, A. A. F. (2013). A data dissemination protocol for urban vehicular ad hoc networks with extreme traffic conditions. *IEEE International Conference on Communications (ICC'13)*.
- Oliveira, S., Teixeira, F., Macedo, D., Aquino, A. L. L., Lima, D. H. S., Silva, C., Silva, R. I., and Shiroma, P. M. (2013). Sistema de coleta e disseminação de dados de trânsito. In *Salão de Ferramentas. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*. SBRC 2013.
- Picone, M., Amoretti, M., and Zanichelli, F. (2012). A decentralized smartphone based traffic information system. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE*, pages 523–528. IEEE.
- Sou, S.-L. (2010). A power-saving model for roadside unit deployment in vehicular networks. *Communications Letters, IEEE*, 14(7):623–625.
- Trullols, O., Barcelo-Ordinas, J. M., Fiore, M., Casetti, C., and Chiasserini, C.-F. (2009). A max coverage formulation for information dissemination in vehicular networks. In *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2009. WIMOB 2009. IEEE International Conference on*, pages 154–160. IEEE.
- Wu, Y., Zhu, Y., and Li, B. (2012). Infrastructure-assisted routing in vehicular networks. In *INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE*, pages 1485–1493. IEEE.
- Zaldivar, J., Calafate, C. T., Cano, J. C., and Manzoni, P. (2011). Providing accident detection in vehicular networks through obd-ii devices and android-based smartphones. In *Local Computer Networks (LCN), 2011 IEEE 36th Conference on*, pages 813–819. IEEE.