

Um Algoritmo Baseado em Peso para Formação e Manutenção de Agrupamentos em Redes Veiculares *Ad hoc**

Eduardo Cambuzzi¹, Jean-Marie Farines², Werner Kraus Junior²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia

²Universidade Federal de Santa Catarina

Abstract. *In vehicular ad hoc networks, the constant movement of the nodes cause frequent topological variations that make difficult the application of classic algorithms for cluster formation and maintenance. On the other hand, such variations are restricted to the roads configuration and the behavior of the traffic. This observation led to the formulation of a distributed algorithm that incorporates information about the behavior of the vehicle and the traffic for cluster formation and maintenance. Simulation results indicate the feasibility and good performance of the proposal.*

Resumo. *Nas redes veiculares ad hoc a constante movimentação dos nodos causa rápidas variações topológicas, que dificultam a aplicação de algoritmos clássicos para formação e manutenção de agrupamentos. Por outro lado, tais variações são restritas à configuração das vias e ao comportamento do tráfego veicular. Esta observação levou à formulação de um algoritmo distribuído que incorpora informações ligadas ao comportamento do veículo e do tráfego para formação e manutenção de agrupamentos mais estáveis. Os resultados das simulações indicam a viabilidade e bom desempenho da proposta.*

1. Introdução

Os assim chamados "Sistemas Inteligentes de Transportes"(ou ITS, da sigla em inglês [McQueen and McQueen 1999]) originam-se do uso intensivo de tecnologias de comunicação e informação em aplicações de transportes, tais como controle do tráfego urbano, gerência de frotas, e gerência da operação de transportes coletivos. Um dos grandes desafios na implementação de sistemas inteligentes de transporte está em coletar a qualquer tempo dados individuais sobre todos os veículos que trafegam na via. As atuais tecnologias de coleta de dados sobre o tráfego (p. ex. laços indutivos, sensores infravermelho, radar, câmeras de vídeo, etc.) medem o tráfego em apenas alguns pontos da via, resultando em erros de estimação de filas.

O atual estágio de desenvolvimento da tecnologia de redes sem fio e sua organização na forma de redes veiculares *ad hoc* (*Vehicular Ad hoc Networks-VANETs*), tem impulsionado seu uso em diversas aplicações para sistemas inteligentes de transporte, seja para coleta ou disseminação de dados [Nadeem et al. 2004, Harri 2007, Brickley et al. 2007]. A proposta deste artigo surge da necessidade de coletar dados sobre veículos trafegando em uma via, para posteriormente utilizá-los em aplicações ITS em tempo real, como por exemplo, para o controle semaforico atuado pelo tráfego.

Observando o comportamento natural do tráfego, no qual os veículos tendem a agrupar-se junto a semáforos ou durante seu trajeto sobre a via, formando agrupamentos

*Agradecemos a CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro através das bolsas de pesquisa. Agradecemos também ao Prof. Raimundo Macêdo da UFBA, cuja conversa colaborou na construção deste artigo.

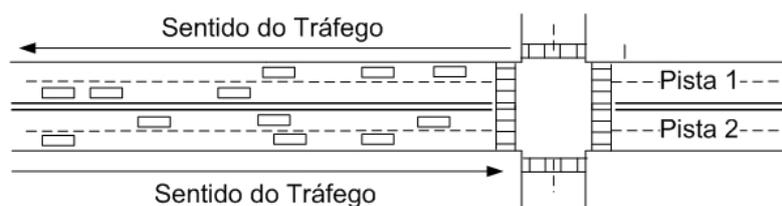


Figura 1. Modelagem de uma via de tráfego.

de veículos [Lin et al. 1977], foram desenvolvidos algoritmos para estabelecer e manter agrupamentos em redes veiculares *ad hoc* [Yu 2005, Fan 2007, Hang 2007]. Estas pesquisas buscam a formação e manutenção de agrupamentos (*clusters*) os mais estáveis possíveis, que permitam uma rápida propagação de mensagens e garantam a escalabilidade da rede diante das variações de densidade do tráfego.

O mecanismo de formação dos agrupamentos define a forma de um conjunto de nodos de uma rede *ad hoc* se associar em um grupo de comunicação e a função de cada nodo dentro deste grupo. Já a manutenção, tem por objetivo manter estes nodos associados pelo maior tempo possível, evitando reafiliações e mudanças topológicas na rede. A proposição de mecanismos para criar e manter agrupamentos estáveis em VANETs é o primeiro passo na construção de um ambiente de comunicação mais adequado para aplicações ITS em tempo real. No entanto, formar e manter agrupamentos estáveis em redes veiculares *ad hoc* não são atividades simples e os principais desafios são: *i*) Definir qual é o melhor nodo para exercer a função de líder do agrupamento; *ii*) Manter o agrupamento mais estável possível após sua formação; *iii*) Estabelecer e manter canais de comunicação intra-agrupamento e inter-agrupamento.

Este artigo apresenta um algoritmo para a formação e manutenção de agrupamentos que incorpora informações ligadas ao comportamento dos veículos e das características das vias. O algoritmo proposto é dividido em duas fases: a fase de formação, na qual são constituídos os agrupamentos e escolhidos os líderes, e, a fase de manutenção destes agrupamentos. Para a fase de manutenção é apresentado um algoritmo que melhora a estabilidade dos agrupamentos, reduzindo o número de reafiliações e mudanças topológicas na rede VANET.

A proposta apresentada neste artigo adota como contexto de estudo um trecho de pista formado por duas faixas para o rolamento de veículos, ambas com mesmo sentido. A Figura 1 mostra um exemplo de via formada por duas pistas, cada qual com duas faixas de rolamento para os veículos. O artigo é organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta propostas existentes para a formação e manutenção de agrupamentos em redes móveis *ad hoc* e suas limitações. Na Seção 3 o algoritmo proposto para formação e manutenção dos agrupamentos. Os resultados das simulações e as conclusões são apresentados respectivamente nas Seções 4 e 5.

2. Algoritmos de formação e manutenção de agrupamentos

A literatura apresenta vários e bem conhecidos algoritmos para formação de agrupamentos em redes *ad hoc*, tais como os algoritmos de *Menor-Id* [Ephremides et al. 1987], *Highest-Degree* [Gerla and Tsai 1995], *Distributed Mobility-adaptive clustering- DMAC* [Basagni et al. 1999] e *Weight Cluster Algorithm - WCA* [Chatterjee et al. 2002]. A seguir são descritas as heurísticas propostas no *Menor-Id* e WCA, que por sua simplicidade conceitual e facilidade de implementação, serviram de inspiração para muitos algo-

ritmos de formação e manutenção de agrupamentos em redes *ad hoc* [Ohta et al. 2003, Dhurandher and Singh 2005, Ho et al. 2007, Wang et al. 2008].

Para compreensão das heurísticas descritas a seguir adotam-se as seguintes definições: *i)* Dois nodos são considerados *vizinhos* se estão sob o mesmo raio de comunicação. *ii)* Um *conjunto dominante* é descrito por um subgrafo conexo S de um grafo G , no qual todo vértice u em G , ou está em S ou é adjacente a algum vértice v de S . O conjunto de líderes dos agrupamentos é um conjunto dominante. *iii)* É considerada como sendo uma *refiliação*, quando um nodo abandona seu líder atual e filia-se a um líder de outro agrupamento. *iv)* É chamado *mudança topológica* quando há alteração no conjunto dominante dos líderes dos atuais agrupamentos.

2.1. Algoritmo de Menor-Id

No algoritmo de *Menor-Id* cada nodo possui um identificador único, denominado *Id*. Nesta abordagem um nodo pode assumir um dos três papéis: nodo líder (*clusterhead*), nodo membro (*member node*) ou nodo de borda (*gateway*). Os líderes fazem parte do conjunto dominante de nodos, os nodos membros são todos os nodos conectados diretamente a um líder. Já os nodos de borda são nodos membros que podem ouvir simultaneamente seu próprio líder e membros de outros agrupamentos. No *Menor-Id* um nodo membro associa-se a apenas um líder de cada vez, mesmo que esteja sob o raio de comunicação de dois líderes. O algoritmo de *Menor-Id* é dividido em duas fases: a fase de formação e a fase de manutenção.

A fase de formação acontece em três etapas: 1) Na primeira, os nodos identificam-se entre si, através de mensagens de sinalização. 2) Cada nodo difunde para seus vizinhos os *Id's* de todos os nodos que ouviu até aquele momento. 3) Um nodo que esteja ouvindo apenas *Id's* maiores que o seu dentro de seu raio de comunicação, se torna líder. O nodo que não decidiu se tornar líder seleciona um líder dentro de sua vizinhança, escolhendo aquele com menor número *Id*. Este processo se repete até que não existam mais nodos sem um líder. Um nodo que não consiga associar-se a nenhum líder e não possua vizinhos com quem possa formar um novo agrupamento se reconhece líder.

Na fase de manutenção cada nodo difunde periodicamente uma mensagem de sinalização contendo seu próprio identificador e os *Id's* de seus vizinhos. Se durante a fase de manutenção um nodo perde contato com seu líder e não consegue refiliar-se, ou se dois líderes estiverem um sob o raio de comunicação do outro, ou ainda se um novo nodo com um *Id* menor do que o do líder refilia-se ao agrupamento, uma nova fase de formação é invocada. Na fase de manutenção são tratadas também as refiliações, que podem ocorrer devido à movimentação dos nodos ou a reinvoação de uma fase de formação.

Apesar deste algoritmo possuir um bom desempenho, no ambiente das redes móveis veiculares ele apresenta as seguintes limitações: *i)* A aleatoriedade na escolha do líder, que leva em conta apenas o *Id*. *ii)* O grande número de mudanças topológicas causadas na rede devido à reinvoação da fase de formação.

2.2. WCA - Weighted Clustering Algorithm

A proposta apresentada por [Chatterjee et al. 2002] no algoritmo WCA (*Weighted Clustering Algorithm*) baseia a escolha de líderes na atribuição de pesos W_v , a cada nodo v da rede. O peso que cada nodo v possui é calculado por ele mesmo e é baseado em dados do próprio nodo e dos vizinhos: *i)* $\Delta_v = |\delta - n|$ que é diferença entre um valor

pré-definido δ , que representa a quantidade ideal de membros em um agrupamento e o número n de vizinhos do nodo v . *ii*) A soma das distâncias euclidianas D_v entre um nodo v e todos os seus vizinhos a um salto de distância. *iii*) A mobilidade média do nodo em um intervalo de tempo T , dada por $M_v = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sqrt{(X_t - X_{t-1})^2 + (Y_t - Y_{t-1})^2}$, na qual (X_t, Y_t) e (X_{t-1}, Y_{t-1}) são coordenadas geográficas do nodo v nos tempos t e $(t - 1)$ respectivamente. *iv*) P_v que é um valor cumulativo e representa o tempo que o nodo v ocupou a função de líder. Uma vez definidas as variáveis que comporão o peso de um nodo, cada uma delas é multiplicada por um fator w_i , tal que $\sum w_i = 1$. O valor do fator determinará importância de cada variável no cálculo final do peso dado por $W_v = w_1\Delta_v + w_2D_v + w_3M_v + w_4P_v$.

Na fase de formação dos agrupamentos após cada nodo conhecer sua vizinhança, ele calcula seu peso W_v e o difunde para seus vizinhos juntamente com informações sobre si e todos os vizinhos que ouviu até aquele momento. O processo de comunicação continua até que todos os nodos da rede tenham conhecimento sobre a existência uns dos outros. Então o nodo com menor valor W_v se proclama líder e seus vizinhos, que não pertencem a um agrupamento, se filiam a ele. Este processo se repete para o próximo nodo com o menor W_v , até não existirem mais nodos sem um líder.

O líder de cada agrupamento é responsável pela comunicação entre os membros, atuando como o nodo central em uma rede com topologia estrela. O algoritmo do WCA não prevê a existência de nodos de borda para a comunicação inter-agrupamentos. Para assegurar a comunicação inter-agrupamentos, os líderes podem operar em potências diferentes (*dual power mode*): usando baixa potência para comunicar-se com seus membros e alta potência para comunicar-se diretamente com um líder vizinho.

Na fase de manutenção dos agrupamentos todos os nodos ficam monitorando o sinal de seus vizinhos. Caso um nodo perceba que perdeu seu líder e não consiga refiliarse, ele solicita que a fase de formação seja executada novamente. As refiliações ocorrem quando o nodo abandona um agrupamento e filia-se a um novo líder.

Este algoritmo apresenta uma boa heurística, principalmente no que se refere aos critérios de escolha do líder baseados numa função de peso. No entanto os fatores da função de peso, não são os mais adequados às redes com alta mobilidade dos nodos. No algoritmo do WCA o nodo com menor mobilidade tem um fator M_v que ajuda a qualificá-lo melhor para a função de líder. Priorizar um nodo lento para a liderança em uma VANET, significa que os demais membros logo se afastarão, perdendo contato com o líder, causando refiliações e mudanças na topologia da rede. Outra limitação do WCA é que o fator Δ_v não é um limite para o número de membros em um agrupamento, é apenas uma componente do peso W_v dos nodos. Assim, é possível que se formem agrupamentos com muitos membros, anulando os benefícios de uma rede hierárquica. No entanto a principal limitação deste algoritmo é que cada nodo deve conhecer todos os demais nodos da rede antes de formar os agrupamentos (*mínima global*). Porém, devido à alta mobilidade dos veículos, esta condição gera grande sobrecarga de comunicação na rede.

3. Proposta de um Algoritmo de Formação e Manutenção de Agrupamentos para Redes Veiculares *ad hoc*- (ARV)

Neste trabalho propõe-se um algoritmo para a formação e manutenção dos agrupamentos baseado em *peso*. O peso W de um nodo é um valor real, calculado pelo próprio nodo,

utilizando informações sobre seu comportamento, sobre a via e sobre outros nodos dentro de seu raio de comunicação. No final, este peso indicará o quanto cada nodo está qualificado para ocupar a função de líder. Uma vez formado o agrupamento o nodo líder verifica continuamente sua viabilidade na função comparando seu peso, com os pesos dos demais membros do seu agrupamento. Caso o líder encontre um nodo mais qualificado para a função ele transfere a liderança para este nodo. Esta transferência da liderança dentro do agrupamento é denominada *passagem de custódia*. Outra função dos líderes é formar juntamente com os nodos de borda (*gateways*), um canal para a comunicação inter-agrupamentos. Define-se que cada veículo está equipado com um sistema de posicionamento global - *GPS* e um mapa digital que contém as vias de tráfego. O uso do *GPS* em conjunto com o mapa, permite a cada veículo identificar: sua localização na via através de um par de coordenadas (x, y) ; seu sentido de deslocamento e a via em que se encontra. Durante seu trajeto um veículo pode trocar momentaneamente de faixa ou até mesmo de pista, por exemplo, devido a uma ultrapassagem. Os veículos possuem um identificador único e permanente, denominado v_k . Além disso, todo nodo está equipado com uma antena *omnidirecional*, cujo raio de comunicação R é limitado pela potência desta antena, este raio é o mesmo para todos os veículos. A cada T segundos (o intervalo T é ajustado dependendo da aplicação) todo veículo difunde uma mensagem de sinalização contendo além da informação v_k : O Id do líder, seu papel no agrupamento, posição, velocidade, tempo local, seu peso e sentido de trajeto na via.

3.1. Formação de agrupamentos

Primeiro um nodo v_k deve determinar sua vizinhança, dada por $Nv_k = \cup\{v'_k | dist(v_k, v'_k) < R, v_k \neq v'_k\}$, na qual $dist(v_k, v'_k)$ é a distância euclidiana entre dois nodos e R o raio de comunicação dos nodos. Para isto, cada nodo difunde seu identificador, posição, velocidade e sentido, juntamente com o de todos os outros nodos que ouviu até aquele momento.

Após descobrir sua vizinhança Nv_k , o nodo deve identificar quais vizinhos estão na mesma via e possuem o mesmo sentido que ele. A formação de um agrupamento com nodos se movimentando em sentidos diferentes tornaria este agrupamento instável, pois logo os membros se separariam. A informação sobre o sentido torna-se ainda mais relevante no ambiente urbano, devido aos cruzamentos, elevados, rotatórias ou viadutos que comumente existem. Nestes locais, a informação de localização fornecida pelo *GPS*, não é suficiente, para determinar quais vizinhos são candidatos a membro de um agrupamento.

Uma vez que um nodo tenha descoberto dentre seus vizinhos quais trafegam com ele em um mesmo sentido sobre a via, este calcula seu peso Wv_k e o difunde. O nodo v_k com menor peso Wv_k em uma vizinhança se denomina líder e difunde sua escolha. Cada vizinho de v_k que ainda não se filiou a um líder solicita filiação a ele, formando o agrupamento. Cada agrupamento é identificado pelo identificador v_k do líder e cada membro mantém esta informação atualizada. Este processo se repete até que não existam mais nodos sem um líder. Uma vez formado o agrupamento cada nodo passa a executar o algoritmo de manutenção do agrupamento. O algoritmo para formação dos agrupamentos executado em cada nodo v_k é apresentado na Figura 2.

Antes de aceitar uma filiação o líder verifica a possibilidade de inclusão do novo membro, respeitando um limite máximo e pré-definido de δ membros por agrupamento. Este limite é importante devido às características físicas para o compartilhamento do canal de comunicação nas redes sem fio. Em uma rede sem fio, quanto maior o número de nodos

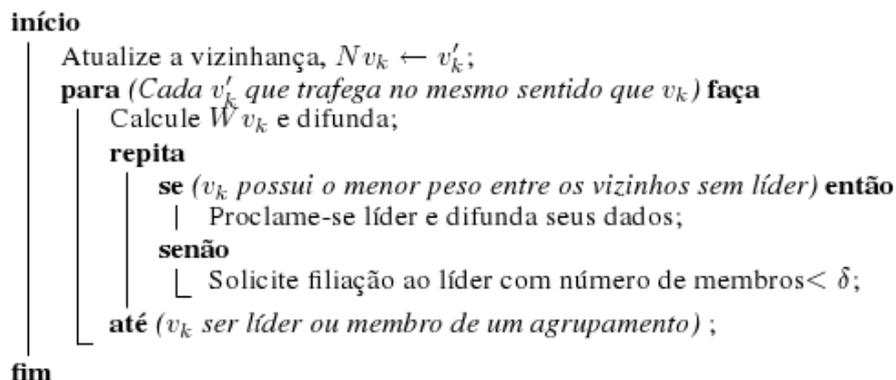


Figura 2. Algoritmo de formação dos agrupamentos.

que compartilham o mesmo canal de comunicação, maior a possibilidade de colisões e atrasos de mensagens. Assim, o valor δ deve ser ajustado a partir das necessidades de comunicação de cada tipo de aplicação.

A Figura 3 ilustra um agrupamento formado a partir de uma vizinhança Nv_k , constituída de nodos que trafegam sobre a via em diferentes sentidos. Cada veículo possui um vetor de direção, que é indicado por uma seta. Pode-se observar também um nodo v_k , localizado no centro do círculo pontilhado, considerado como líder. Este círculo tem raio de comunicação R e contém vários outros veículos com os quais v_k pode comunicar-se diretamente. Uma vez descartados os vizinhos de sentido diferente, o agrupamento é formado pelo nodo v_k e os veículos de cor mais escura.

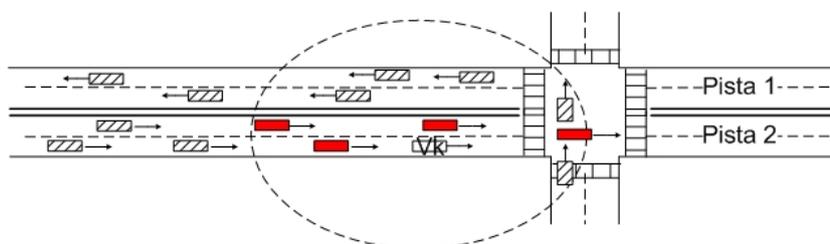


Figura 3. Exemplo de um agrupamento formado sobre a via.

3.2. Manutenção do agrupamento

A fase de manutenção inicia logo após a formação e se estende por todo o tempo de vida dos agrupamentos. Nesta fase são tratadas as refiliações, mudanças topológicas, fusões de agrupamentos e é implementado o mecanismo de passagem de custódia. É também durante a fase de manutenção que são escolhidos os nodos de borda.

Refiliações e mudanças topológicas: Uma refiliação ocorre quando um nodo membro perde contato com seu líder, devido à sua movimentação, a falha do líder ou a uma falha de comunicação, por exemplo. Ao perceber que não tem mais contato com seu líder, o nodo membro solicita filiação ao líder com menor peso Wv_k dentro de sua vizinhança. Caso não exista nenhum líder em sua vizinhança este nodo reinvoca o algoritmo de formação. Quando isso ocorre há uma mudança topológica da rede, ou seja há uma alteração do número de líderes dentro da rede e conseqüentemente de agrupamentos.

Fusão de agrupamentos: Quando um líder percebe outro líder em sua vizinhança, ele dispara um mecanismo de fusão de agrupamentos com o objetivo de diminuir o número

de agrupamentos. Na fusão de agrupamentos, o líder com menor número de membros no agrupamento (*menor cardinalidade*), filia-se ao líder com o maior número de membros (*maior cardinalidade*). Após a fusão o nodo que perdeu sua liderança tenta filiar-se a um novo líder, se não conseguir, executa o algoritmo de formação de agrupamentos.

O mecanismo de fusão tenta reduzir o número de agrupamentos, fundindo aqueles que tem seus líderes sobrepostos. Impedir esta superposição permite otimizar o uso dos canais, reduzir a interferência de comunicação entre agrupamentos vizinhos e conseqüentemente a perda de mensagens e atrasos na comunicação.

Passagem de custódia: O mecanismo de passagem de custódia segue o comportamento descrito a seguir: O nodo líder identifica um conjunto $Cv_k \subseteq Nv_k$, que contém apenas os nodos que possuem o mesmo líder v_k e é dado por $Cv_k = \cup\{v'_k | L(v'_k) = L(v_k), v_k \in Nv_k\}$, sendo $L(v_k)$ uma função que indica o líder do nodo v_k num instante t . O nodo líder calcula então um peso Wv'_k para cada um dos membros de seu agrupamento, baseado nas informações que este recebe juntamente com as mensagens de sinalização.

O líder verifica então se existe em seu agrupamento algum nodo melhor qualificado para a liderança, isto é, com um peso menor que o dele, levando em conta um fator $Wv'_k < Wv_k * \rho$, para $0 < \rho < 1$. Uma vez decidida a mudança, o líder difunde sua escolha para a vizinhança e muda seu estado para nodo membro. O novo líder muda seu estado e os demais nodos atualizam seus dados sobre o agrupamento.

O mecanismo de passagem de custódia visa aumentar a estabilidade dos agrupamentos, evitando partições ou refiliações. A Figura 4 ilustra o mecanismo numa situação onde os nodos 1, 2 e 3 evoluem mais rapidamente que os demais nodos do agrupamento. Na Figura 4(a) o nodo 5 é o líder do agrupamento, porém devido à movimentação dos nodos o veículo 2 passa a seguir a ser melhor qualificado para a função de líder. O mecanismo de passagem de custódia faz o nodo 5 transferir sua liderança para o nodo 2, como mostrado na Figura 4(b). Posteriormente o nodo 2 também percebe que outro nodo está melhor qualificado para a função e transfere a liderança para o nodo 6 (Figura 4(c)). Isto se repete até que não seja mais possível evitar a partição do agrupamento.

Uma limitação com este mecanismo é que os valores de Wv_k podem se alterar rapidamente dentro do agrupamento, causando muitas mudanças na liderança. Para evitar que isto ocorra muito freqüentemente, a constante ρ deve ser calibrada de acordo com o cenário de aplicação. As simulações efetuadas mostraram que o uso de valores muito baixos para ρ leva ao aumento da refiliações. Isto ocorre porque a reação do líder se torna mais lenta, diante da aceleração de um nodo na extremidade do agrupamento por exemplo, permitindo que este saia do raio de comunicação do líder. Porém, o uso de valores muito altos leva a mudanças muito rápidas na liderança. Estudos futuros devem permitir determinar uma faixa de valores adequada para cenários de tráfego urbano.

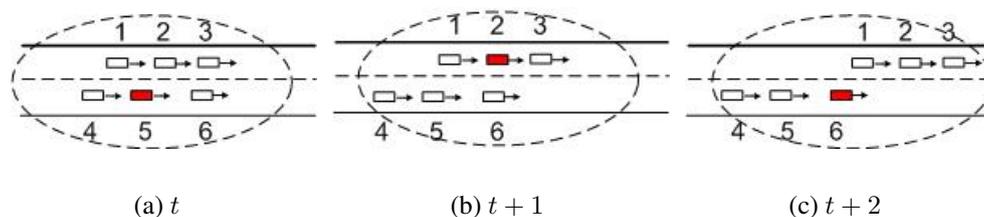


Figura 4. Mecanismo de passagem de custódia.

Algoritmo de manutenção de agrupamento: O algoritmo para a manutenção dos agrupamentos proposto no ARV é apresentado na Figura 5. Este algoritmo é executado de forma distribuída em cada um dos nodos da rede e inicia logo após a fase de formação dos agrupamentos ter sido finalizada pelo nodo.

```

início
  Receba mensagem de sinalização;
  se  $v_k$  é líder então
    se  $v_k$  ouve outro líder  $v'_k$  então
      se  $\text{card}(C'v_k) \geq \text{card}(Cv_k)$  e  $\text{card}(C'v_k) < \delta$  então
        Filie-se ao agrupamento vizinho  $C'v_k$  e difunda esta informação;
      senão
        Continue Líder;
    senão /*  $v_k$  não ouve outro líder */
      se  $(W(v'_k) < W(v_k) * \rho)$  então
        Transfira a Liderança para  $v'_k$  e difunda esta informação;
      senão
        Continue Líder;
  senão /*  $v_k$  não é líder */
    se ( $v_k$  ouve seu líder) então
      Continue Membro;
    senão /*  $v_k$  perdeu contato com seu líder */
      se ( $v_k$  ouve outros líderes que possuem um número de membros  $< \delta$ )
        então
           $v_k$  solicita filiação ao líder mais próximo;
           $v_k$  muda seu estado para Membro;
        senão
           $v_k$  executa o algoritmo de formação;
  Difunde mensagem de sinalização;
fim

```

Figura 5. Algoritmo para manutenção dos agrupamentos.

Nodos de borda: Os membros de um agrupamento podem comunicar-se diretamente entre si ou utilizar o nodo líder para rotear suas mensagens, caso não sejam mutuamente alcançáveis. No entanto para a comunicação inter-agrupamento é preciso que se estabeleça um caminho de comunicação (*backbone*) entre os líderes. A função de um nodo de borda é a de formar juntamente com os líderes este caminho de comunicação entre os agrupamentos. Uma vez que o foco deste artigo é apresentar uma heurística para a formação e manutenção dos agrupamentos, não descreveremos uma rotina para a escolha destes nodos.

3.3. Cálculo do peso Wv_k

Cada veículo v_k calcula seu peso Wv_k da seguinte forma:

Passo 1. Cálculo da distância entre dois veículos, para veículos vizinhos com o mesmo sentido de v_k .

$$dv'_k = \sqrt{(x(v_k) - x(v'_k))^2 + (y(v_k) - y(v'_k))^2}$$

Com $x(v_k)$ e $y(v_k)$ indicando a posição do veículo na via e dv'_k sendo a distância euclidiana entre estes dois veículos. A seguir calcula-se a posição relativa Pv_k de um veículo, em relação a seus vizinhos com mesmo sentido

$$Pv_k = \frac{1}{n} \sum_{v'_k \in Nv_k} dv'_k$$

O valor n indica o número de membros na vizinhança em Nv_k . O veículo com o menor valor Pv_k é aquele que se encontra mais próximo ao centro em relação aos membros de Nv_k .

Passo 2. Cálculo da velocidade média Mv_k de um veículo, em relação a seus vizinhos com mesmo sentido:

$$Mv_k = \frac{1}{n} \sum_{v'_k \in Nv_k} |V(v_k) - V(v'_k)|$$

Sendo V é a velocidade instantânea do veículo. A segunda componente Mv_k , busca encontrar um nodo com a menor diferença na velocidade média em relação aos demais vizinhos que trafegam no mesmo sentido sobre a via. Quanto menor o valor de Mv_k , mais estável o nodo será considerado. A penalização de nodos cuja velocidade esteja distante da média evita a escolha de um líder que logo perderia sua liderança.

Passo 3. Cálculo do peso Wv_k . O veículo v_k calcula seu Wv_k :

$$Wv_k = w_1 Pv_k + w_2 Mv_k \quad \sum w_i = 1$$

Os fatores w_1 e w_2 ponderam a centralidade e a velocidade relativa e devem ser ajustados segundo as necessidades da aplicação, por exemplo, em aplicações onde a centralidade seja mais importante, o fator w_1 deve ser maior que o fator w_2 .

Finalmente, uma vez calculado o peso Wv_k , cada veículo v_k o difunde, juntamente com as mensagens de sinalização.

4. Avaliação da proposta

Devido à natureza dinâmica das VANETs, na qual tanto membros quanto líderes de agrupamentos se movem rapidamente, o número de reafiliações e mudanças topológicas são indicadores da estabilidade da rede *ad hoc*. Assim, pode-se medir a eficiência de um algoritmo para formação e manutenção de agrupamentos observando seu desempenho em relação a estas duas características. Outro indicador de desempenho está ligado ao número de agrupamentos sobre a via, pois quanto menos agrupamentos maior será a possibilidade de reutilização dos canais de comunicação, reduzindo o número de colisões de pacotes. Além disso, um número menor de agrupamentos significa também menos saltos entre a origem o destino de uma mensagem e a redução no atraso na entrega desta mensagem, dado fundamental em aplicações de gerenciamento de tráfego em tempo real. Em consequência, para avaliação dos vários algoritmos, utilizou-se quatro métricas:

- M1. Número de agrupamentos envolvidos em cada mudança topológica;
- M2. Número de nodos envolvidos em cada reafiliação;
- M3. Número mínimo e máximo de mensagens trocadas pelos nodos durante a fase de manutenção dos agrupamentos.
- M4. Número médio de agrupamentos no intervalo de tempo;

4.1. Modelo de Simulação de Tráfego

O modelo de simulação do tráfego de veículos sobre a via é gerado pelo micro simulador de tráfego AIMSUN [TSS 2000]. Para que o teste dos algoritmos ocorra em regime permanente, a inicialização do sistema e a formação dos primeiros agrupamentos ocorre após 60 segundos de simulação do AIMSUN. Os dados contendo a movimentação dos nodos foram importados do micro simulador de tráfego para o Scilab [Scilab-Consortium 2008], onde todos os algoritmos foram implementados.

Para a avaliação apresentada assume-se que os veículos trafegam sobre um segmento de pista com duas faixas, sem cruzamentos, ambas com 1000 metros de comprimento. As faixas tem o mesmo sentido, mesmo limite de velocidade e a ultrapassagem é permitida em toda a extensão da via. Devido às limitações dos algoritmos *Menor-id* e WCA, que não levam em consideração o sentido de movimento dos nodos e para não prejudicar a comparação com eles, não foram realizadas simulações em uma via de mão dupla. Utilizam-se três densidades de tráfego via: tráfego esparsos de 1200 veículos/hora, tráfego médio de 2400 veículos/hora e tráfego denso de 3500 veículos/hora. Para cada caso de densidade de tráfego (esparsos, médio e denso), foram executadas cinco simulações com duração de dez minutos cada e diferentes características de chegadas de veículos. Os resultados exibiram pouca variação dos indicadores escolhidos. Por exemplo, o valor máximo de mudanças topológicas nas cinco simulações de um ambiente de tráfego denso resultou em: *Menor-ID*: (11,11,10,11,11); WCA: (11,9,10,10,11); e ARV: (1,1,1,2,1). A seguir, apresenta-se uma discussão sobre um ensaio de simulação para cada caso, escolhido como um caso médio (exclui-se o melhor e o pior caso, quando houver).

Em cada uma das simulações a quantidade de veículos pode variar, uma vez que a entrada e saída de veículos da via varia. Além disso, a densidade de nodos não é igual em todos os pontos da via. Cada veículo pode trafegar com velocidades entre 20 e 80 km/h. A cada segundo é feita uma medição, na qual se obtém as informações sobre todos os veículos na via.

Cada veículo recebe um identificador único, crescente e seqüencial, gerado pelo próprio simulador AIMSUN. A consequência é que para o algoritmo de *Menor-id*, não haverá mudanças na topologia devido à entrada de nodos na pista. Este fator influencia o uso deste algoritmo no sentido de favorecer a diminuição das mudanças topológicas. Pois um veículo ao entrar na pista sempre tem um identificador maior do que os existentes.

Para o algoritmo ARV foi assumido nesta simulação que o número máximo de nodos δ em um agrupamento é de 15. Este valor deve ser ajustado futuramente às demandas de comunicação da aplicação, pois quanto maior o número de nodos, maior o atraso gerado na comunicação intra-agrupamento. Calibramos os fatores $w_1 = 0.5$ e $w_2 = 0.5$, por considerar que para este cenário ambos os fatores tem igual importância. Ajustou-se a constante para a passagem de custódia $\rho = 0.50$ de modo a evitar a transferência da liderança muito frequentemente. Na função geradora de peso do WCA os índices foram ajustados da seguinte forma: $w_1 = 0.7$, $w_2 = 0.2$, $w_3 = 0.05$ e $w_4 = 0.05$, conforme [Chatterjee et al. 2002]. O fator de envelhecimento P_v indica a perda de energia do nodo e é considerado irrelevante no caso de veículos, pois estes geram sua própria energia. Para o algoritmo *Menor-Id* não houve necessidade de ajustes, uma vez que apenas o valor do Id é significativo para o algoritmo.

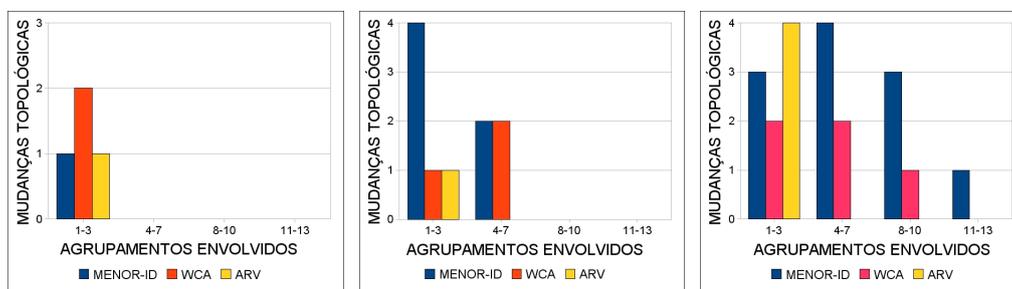
Todo veículo está equipado com um rádio transmissor, cujo raio de comunicação $R = 100$ metros. Assume-se que a comunicação entre os nodos ocorre como no TDMA *Time Division Multiple Access*, na qual cada nodo tem um intervalo de tempo para transmitir uma mensagem. Considera-se que não há colisões, atrasos, nem perda de mensagens.

4.2. Resultados dos experimentos e discussão

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos para os três algoritmos durante a simulação do ponto de vista do número de mudanças topológicas (Métrica M1) e do número de

agrupamentos envolvidos nestas. Consta-se que para todos os três cenários de tráfego o algoritmo ARV envolve apenas de 1 a 3 agrupamentos nas mudanças topológicas.

Os dois outros algoritmos (Menor-Id e WCA) envolvem em algumas situações um número maior de agrupamentos nos cenários de tráfego médio e denso. O aumento do número de agrupamentos envolvidos em cada mudança deve-se a dois motivos principais: aos critérios para a eleição do líder e a forma como é realizada a manutenção dos agrupamentos, que não consideram as características do ambiente das redes veiculares *ad hoc*, contrariamente ao algoritmo ARV. Deve-se notar ainda que os algoritmos *Menor-Id* e *WCA* restabelecem a topologia total da rede no momento que a eleição é invocada por um nodo. Este processo além de elevar consideravelmente a comunicação, pode causar grandes mudanças no conjunto dominante e por conseqüência muitas refiliações. O mesmo não ocorre no algoritmo ARV, pois quando um nodo invoca uma nova eleição, participam apenas seus vizinhos sem líder e portanto não há alteração de todo conjunto dominante.



(a) Tráfego esperso

(b) Tráfego médio

(c) Tráfego denso

Figura 6. Mudanças topológicas para os três tipos de densidade de tráfego.

A Tabela 1 mostra o número de mudanças topológicas num cenário de tráfego denso para os três algoritmos. Apresenta-se os resultados para uma simulação (ver Figura 6(c)) e os valores totais para cinco simulações. Observa-se para o algoritmo ARV que 100% das mudanças topológicas ocorridas envolvem no máximo três agrupamentos, enquanto nas demais propostas estas mudanças além de ocorrerem em maior número, também afetam um número maior de agrupamentos.

Tabela 1. Mudanças topológicas nos três algoritmos para tráfego denso.

Agrupamentos Envolvidos	Para uma simulação						Para cinco simulações					
	Menor-Id		WCA		ARV		Menor-Id		WCA		ARV	
1-3	3	27,3 %	2	40%	4	100%	10	17,5 %	6	18,7%	13	100 %
4-7	4	36,4 %	2	40%	0	0%	21	36,8 %	12	37,5%	0	0 %
8-10	3	27,3 %	1	25%	0	0%	20	35,2 %	11	34,4%	0	0 %
11-13	1	9,1 %	0	0%	0	0%	6	10,5 %	3	9,4%	0	0 %

Na Figura 7 apresenta-se o número de refiliações para os três algoritmos durante a simulação (Métrica M2). Observa-se que o número de refiliação cresce para todas as propostas à medida que o tráfego se torna mais denso. Nos algoritmos de *Menor-Id* e *WCA*, o aumento da densidade do tráfego eleva consideravelmente o número de refiliações que envolvem grande número de nodos. Refiliações que envolvem poucos nodos, são em geral causadas pela saída de um nodo de um agrupamento para refiliar-se a um líder vizinho. No entanto, refiliações que envolvem um grande número de nodos, indicam que houve uma nova eleição e que grande parte dos líderes foi alterado, levando os nodos a trocarem

de líder. Este tipo de evento gera grandes perturbações na rede, aumentando a circulação de mensagens intra-agrupamento e inter-agrupamento

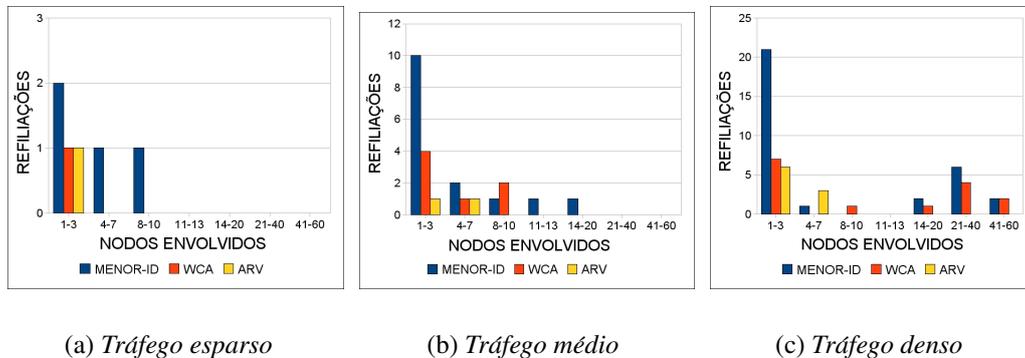


Figura 7. Refiliações para os três tipos de densidade de tráfego.

A partir das simulações feitas, constata-se que o algoritmo ARV apresenta maior estabilidade às variações do tráfego, tanto em relação às mudanças na topologia quanto ao número de refiliações. Observa-se também um aumento no número de mudanças topológicas e refiliações à medida que o tráfego se torna mais denso. Porém, tanto o número de mudanças topológicas e de agrupamentos envolvidos nestas mudanças quanto o número de refiliações são baixos, se comparados com as outras propostas.

A Tabela 2 mostra o número de refiliações para os três algoritmos no ambiente de tráfego denso (ver Figura 7(c)). Observa-se que os algoritmos de *Menor-Id* e WCA apresentam um grande número de refiliações e estas em geral envolvem muitos nodos. Note-se também que o algoritmo ARV apresenta o menor número de refiliações entre as três propostas e quando estas refiliações ocorrem, envolvem um baixo número de nodos.

Tabela 2. Refiliações nos três algoritmos para tráfego denso.

Número de Nodos Envolvidos	Menor-Id		WCA		ARV	
1-3	21	65,6 %	7	46,7%	6	66,7 %
4-7	1	3,1 %	0	0%	3	33,3 %
8-10	0	0 %	1	11,1%	0	0 %
11-13	0	0 %	0	0%	0	0 %
14-20	2	6,3 %	1	6,7%	0	0 %
21-40	6	18,8 %	4	26,7%	0	0 %
41-60	2	6,3 %	2	13,3%	0	0 %

Destas simulações, observa-se que o algoritmo ARV proporciona um ambiente mais estável para a comunicação nas redes veiculares *ad hoc*, favorecendo assim seu uso em aplicações com restrições temporais. Este desempenho é devido principalmente aos mecanismos de formação e manutenção de agrupamentos propostos neste algoritmo que se adapta melhor às mudanças do tráfego urbano, reduzindo o número de refiliações e mudanças topológicas.

Outro aspecto importante da avaliação consiste em determinar o número de mensagens trocadas na rede pelos nodos, para formar e manter os agrupamentos (Métrica M3). No ambiente das VANETs a grande movimentação dos nodos leva a mudanças na topologia que precisam ser difundidas constantemente. Além disso, são enviadas periodicamente mensagens, como por exemplo as de segurança, conforto ou controle. A

Figura 8 mostra o resultado de uma simulação para um ambiente no qual todos os nodos do agrupamento difundem uma mensagem periodicamente. Este tipo de cenário pode ser encontrado em aplicações de tempo real, nas quais as informações tenham um tempo de validade (ex. posição do veículo). Assume-se então que cada nodo difunde periodicamente (ex. a cada T segundos) uma mensagem contendo dados (ex. posição e velocidade). Observa-se na Figura 8 que as três propostas tem um desempenho semelhante. No entanto

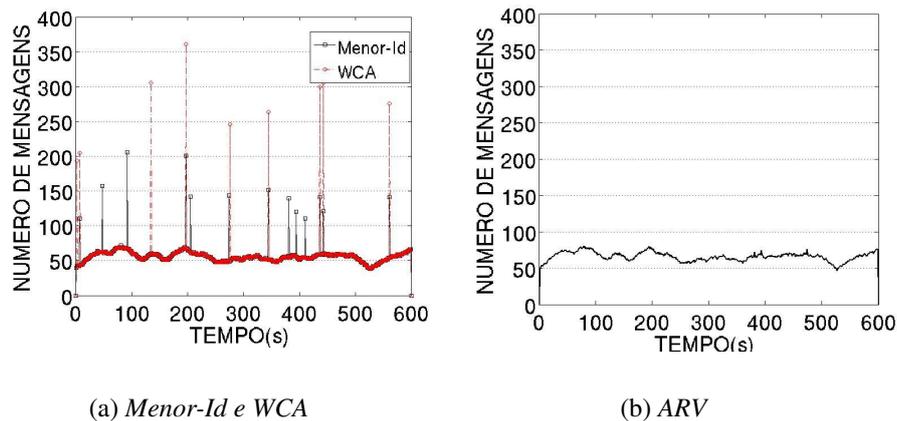


Figura 8. Carga de comunicação nos três algoritmos (Métrica M3).

os algoritmos de *Menor-Id* e *WCA* continuam apresentando picos. Estes picos indicam o número de mensagens trocadas pelos nodos quando uma fase de formação é reinvoçada, o que acarreta uma sobrecarga de comunicação momentânea da rede. Isto ocorre porque, apesar da constante troca de informações, os algoritmos de *Menor-Id* e *WCA* não as utilizam na manutenção dos conjuntos dominantes, ao contrário do que ocorre no algoritmo *ARV*. Assim, nota-se que apesar da comunicação ser semelhante para os três algoritmos em quase todo o tempo da simulação, o *ARV* não apresenta estes picos de comunicação, mostrando mais estabilidade e previsibilidade.

A Tabela 3 apresenta o número mínimo e máximo de agrupamentos formados sobre a via para os três algoritmos em cada um dos tipos de fluxo de tráfego (métrica M4). Observa-se com relação ao número de agrupamentos que os três algoritmos apresentam um desempenho muito semelhante em cada um dos cenários de fluxo. Note-se porém a grande diferença entre o número mínimo e máximo de agrupamentos em todos os algoritmos e fluxos. Estes valores são resultado do comportamento dos veículos na via e também sua entrada e saída não uniforme desta, fazendo com que ora adensem-se ora dispersem-se, reduzindo ou aumentando o número de agrupamentos.

Tabela 3. Número mínimo e máximo de agrupamentos para os três algoritmos.

Tipo de Tráfego	Menor-Id	WCA	ARV
<i>ESPARSO</i>	3-10	3-10	3-11
<i>MÉDIO</i>	5-11	4-10	5-11
<i>DENSO</i>	6-12	7-11	7-12

5. Conclusões

Este artigo propõe um algoritmo baseado em peso, para a formação e manutenção de agrupamentos em redes VANETs. Esta proposta se utiliza das características de mobilidade dos veículos e seu comportamento no ambiente de tráfego para atingir seu objetivo.

As simulações mostraram que o algoritmo ARV se adapta bem melhor que outros algoritmos com mesmo intuito (Menor-id e WCA) ao ambiente das redes veiculares *ad hoc*, gerando poucas mudanças na topologia da rede e um baixo número de reafiliações. Conseqüentemente ele oferece a possibilidade de construção e manutenção de caminhos de comunicação mais estáveis entre os nodos, melhorando a conectividade entre membros de uma rede VANET e permitindo diversas aplicações, principalmente as com restrições temporais. Trabalhos futuros deverão propor um algoritmo para escolha e manutenção dos nodos de borda e mecanismos para a comunicação inter-agrupamentos. A agregação de informações ligadas às ações dos motoristas e de dispositivos de beira de pista, tais como semáforos por exemplo, para o cálculo do peso Wv_k em cada nodo, deverão ser investigadas para melhorar os algoritmos propostos.

Referências

- Basagni, S., Chlamtac, I., and Syrotiuk, V. (1999). Geographic messaging in wireless ad hoc networks. *IEEE 49th Vehicular Technology Conference*.
- Brickley, O., Shen, C., Klepal, M., Tabatabaei, A., and Pesch, D. (2007). A Data Dissemination Strategy for Cooperative Vehicular Systems. In *IEEE 65th Vehicular Technology Conference*.
- Chatterjee, M., Das, S., and Turgut, D. (2002). Wca: A weighted clustering algorithm for mobile ad hoc networks. *Cluster Computing*.
- Dhurandher, S. and Singh, G. (2005). Weight based adaptive clustering in wireless ad hoc networks. *IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, ICPWC*.
- Ephremides, A., Wieselthier, J., and Baker, D. (1987). A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling. *Proceedings of the IEEE*.
- Fan, P. (2007). Improving broadcasting performance clustering with stability for inter-vehicle communication. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- Gerla, M. and Tsai, J. (1995). Multicluster, mobile, multimedia radio network. *ACM/Baltzer Journal of Wireless Networks*.
- Hang, Su; Xi, Z. (2007). Clustering-based multi-channel mac protocols for qos-provisionings over vehicular ad hoc networks. *IEEE Transaction on Vehicular Technology*.
- Harri, J. e. a. (2007). Realistic mobility simulator for vehicular ad hoc networks. *Politecnico de Torino/EUROCOM - Research Report*.
- Ho, I., Leung, K. K., Polak, J. W., and Mangharam, R. (2007). Node connectivity in vehicular ad hoc networks with structured mobility. *32nd IEEE Conference on Local Computer Networks*.
- Lin, D., Kinney, L. L., and Kumar, K. S. P. (1977). Platoon modeling for traffic control. *16th Symposium on Adaptive Processes and A Special Symp. on Fuzzy Set Theory and Applications*.
- McQueen, B. and McQueen, J. (1999). *Intelligent Transp. Systems Architectures*. Artech House.
- Nadeem, T., Dashtinezhad, S., Liao, C., and Iftode, L. (2004). Trafficview: Traffic data dissemination using car-to-car communication. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 8(3):6–19.
- Ohta, T., Inoue, S., and Kakuda, Y. (2003). An adaptive multihop clustering scheme for highly mobile ad hoc networks. *The 6th International Symp. on Autonomous Decentralized Systems*.
- Scilab-Consortium (2008). The open source platform for numerical computation. <http://www.scilab.org/>.
- TSS (2000). Aimsun users manual. transport simulation systems. *Barcelona, Espanha*.
- Wang, Z., Liu, L., Zhou, M., and Ansari, N. (2008). A position-based clustering technique for ad hoc intervehicle communication. *Systems, Man, and Cybernetics, Applications and Reviews*.
- Yu, Wang; Weizhao, W. X.-Y. L. (2005). Distributed low-cost backbone formation for wireless ad hoc networks. *MobiHoc-05 Urbana-Champaign Illinois USA-ACM*.