

基于区域分组的城市 VANETs 的安全信息广播协议^①

王秀峰^② 王春萌 崔 刚

(哈尔滨工业大学计算机学院 哈尔滨 150001)

摘要 为提高城市车辆自组织网络(VANETs)安全信息广播的有效性,提出了一种基于区域分组的安全信息广播协议(AGBP)。该协议采用正三角形法或正六边形法给中继节点每跳覆盖的区域平均分割,节点按照所在的区域分组。正三角形和正六边形顶点为中继节点的最佳位置,每一组内所有的节点根据自己和中继节点最佳位置的距离计算等待时延,由等待时延决定每一组内的中继节点并转发信息,因此信息可以同时沿着多个方向多条路转发。与传统的沿着一条道路转发信息的广播协议相比,该协议能够避免因分组不当造成信息冗余和碰撞,致使信息的传输效率下降,从而能够降低网络开销、链路时延和转发节点率,提高覆盖率。

关键词 车辆自组织网络(VANETs), 广播, 汽车分组

0 引言

为了抑制车辆自组织网络(vehicle ad hoc networks, VANETs)中的广播风暴,文献[1]提出基于位置选择中继节点以限制信息转发,文献[2]提出基于概率选择中继节点。文献[3]和[4]提出定向广播,按照道路、车辆位置、汽车行驶方向给汽车分组,而这种给汽车分组的广播协议会因汽车分组错误影响信息传输的可靠性和实时性。文献[5]按照发送者和接收者之间的角度给汽车分组,在道路交叉口处,如果两条路之间的角度小,那么在不同路上的汽车节点会被分在同一组,还会遇到上述同样问题。文献[6]基于道路分段给汽车分组,并且在道路交叉口处选择视线最好的节点作为中继节点,然后定向转发信息,确保在交叉口处信息能够向所有方向转发。此外,文献[3-6]在给车辆分组时为了记录车辆的位置、行驶方向和车间距离等需要维护邻居信

息导致网络开销大。本文提出了基于区域分组的安全信息广播协议(area-grouping based broadcast protocol for safety message dissemination, AGBP),该协议不考虑距离、节点位置、节点密度、汽车行驶方向、信息传输方向、节点行驶速度、道路交叉口这些因素,而是采用正三角形(equilateral triangle, Etriangle)法和正六边形(regular hexagon, Rhexagon)法给中继节点一跳所覆盖的范围平均划分成几个区域,按照区域给节点分组,图形顶点为中继节点的最佳位置,每一组内的节点分别计算与该组内中继节点最佳位置的距离和自己的等待时延(waiting time, WT)。最先转发信息节点的WT值最小,该节点被定义为中继节点,其它节点收到信息则不转发,这样限制其它节点重播。AGBP不维护邻居信息,不用识别交叉口,与传统广播协议相比,能够降低网络开销和转发节点率,减小链路时延,提高网络覆盖率。而且,AGBP可以适应多种交通流密度环境中的信息转发。

^① 国家自然科学基金(61272130)资助项目。

^② 女,1979 年生,博士;研究方向:车联网,移动自组网;联系人,E-mail: wxf@hit.edu.cn
(收稿日期:2015-03-04)

1 相关工作

VANETs 研究的最终目标是发展一个能实时进行可靠数据传输的车间通信系统, 实现驾乘人员安全和舒适的旅行^[7]。为了实现这一应用目的, Briesemeister 等人最早提出了面向 VANETs 的信息分发机制^[8]。Zhao 等人提出了车辆协助数据传输 (vehicle-assisted data delivery, VADD) 协议, 采用存储-携带-转发机制转发数据, 基于电子地图和交通统计信息, 使用最小包延迟选择转发路由^[9]。

针对城市密集交通流和稀疏交通流的信息转发, Zhao 等人提出了数据注入协议^[10], 该协议在城市市场景下沿着道路转发信息, 但是在交叉口设置中继器。Viriyasitavat 等人提出了城市汽车广播 (urban vehicular broadcast, UV-CAST) 协议^[11], 该协议由于维护邻居信息, 导致网络开销大。针对密集型城市交通流下的数据分发, Yi 等人提出了街道广播 (street broadcast, StreetCast) 协议^[12], 无基础设施, 减少硬件开销, 采用信标控制机制, 抑制信标冗余。文献[13]提出了基于节点密度的动态概率协议, 该协议能够在稀疏和密集模式下提供较好的信息可达率, 但没有解决隐藏节点和暴露节点对信息可靠性的影响, 而且在高动态变化网络中开销较大。

Yu 等人提出了基于广播节点和接收节点之间的距离抑制信息冗余的机制, 以适应不同的网络节点密度, 同时利用反向行驶的车辆转发信息^[14]。Yang 等人提出了基于车辆位置的自适应广播 (position-based adaptive broadcast, PAB)^[15]。该协议充分利用车辆的位置、速度和方向选择中继节点, 避免了高密度节点之间转发信息无序的竞争。Lee 等人提出带有交叉口识别算法 (intersection recognition algorithm, IRA) 的广播算法^[16], 该广播算法选择中继节点考虑了节点的位置和车辆的行驶方向, 减小了链路时延, 提高了转发率。

2 AGBP 协议

AGBP, 主要目标是在事故节点周围尽可能大的区域内, 以低延迟、低网络开销、高覆盖率和低转发节点率在多种交通流密度环境中分发信息。采用正三角形方法和正六边形方法分割平面区域, 按照汽车所在的区域给汽车分组, 因此 AGBP 通过两种方法实现, 分别命名为 AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon。

2.1 汽车分组方法

2.1.1 正三角形法

(1) 正三角法分割平面区域

以一个中继节点为例, 建立直角坐标系, 如图 1 所示。坐标原点 $O(x, y)$ 为中继节点, 半径为无线传输半径 (250m), 两条直线 OL_1, OL_2, x 轴的负半轴把圆分成三等份, 每一份的角度为 $\frac{2\pi}{3}$, 按照逆时针顺序, 角度 $\alpha \in [-\frac{1}{3}\pi, \frac{1}{3}\pi]$, $\beta \in [\frac{1}{3}\pi, \pi]$, $\gamma \in [\pi, \frac{5}{3}\pi]$, 因此中继节点的一次发射所覆盖的区域被平均分成 3 份, 这 3 个区域里的汽车分别被定义为 3 个汽车组, 按照逆时针顺序, 角度 α 所在的区域里面的汽车为第 1 组, β 所在的区域里的汽车为第 2 组, γ 所在的区域里的汽车为第 3 组。角度 α, β, γ 角平分线为 OA, OB, OC, A, B, C 三个点构成了一个正三角形, 坐标分别为 $A(x + r, y), B(x - r \cdot \cos \frac{\pi}{3}, y + r \cdot \sin \frac{\pi}{3}), C(x - r \cdot \cos \frac{\pi}{3}, y - r \cdot \sin \frac{\pi}{3})$, 这三个点为下一跳中继节点的最佳位置, 如果恰好有汽车节点在这 3 个位置上, 那么这 3 个节点被定义为下一跳的中继节点。中继节点的确定将在下节中详细给出。

(2) 每一个汽车节点自己确定所属的汽车组

我们首先给出三等分平面区域的两条直线的点斜式方程, 直线 OL_1 的方程为

$$Y - y = (X - x) \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{3} \quad (1)$$

直线 OL_2 的方程为

$$Y - y = -(X - x) \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{3} \quad (2)$$

x 轴的直线方程为

$$y = 0 \quad (3)$$

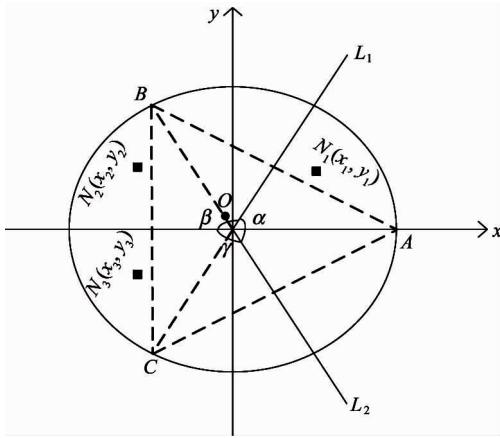


图 1 汽车的正三角法分组

定义 1 第一组的汽车节点集合为 S_1 , 任意汽车节点 $N_1(x_1, y_1)$, 如果满足条件

$$-(x_1 - x) \tan \frac{\pi}{3} \leqslant (y_1 - y) < (x_1 - x) \tan \frac{\pi}{3} \quad (4)$$

则 $N_1 \in S_1$ 。

定义 2 第二组的汽车节点集合为 S_2 , 任意汽车节点 $N_2(x_2, y_2)$, 如果满足条件

$$(y_2 - y) > 0 \text{ 且 } (y_2 - y) \geqslant (x_2 - x) \cdot \tan \frac{\pi}{3} \quad (5)$$

则 $N_2 \in S_2$ 。

定义 3 第三组的汽车节点集合为 S_3 , 任意汽车节点 $N_3(x_3, y_3)$, 如果满足条件

$$(y_3 - y) \leqslant 0 \text{ 且 } (y_3 - y) < -(x_3 - x) \tan \frac{\pi}{3} \quad (6)$$

则节点 $N_3 \in S_3$ 。

根据上述 3 个定义, 任意一个汽车节点可以判断自己属于哪一个汽车组。

2.1.2 正六边形法

(1) 正六边形法分割平面区域

如图 2 所示, 以一个中继节点位置 $O(x, y)$ 为坐标原点建立直角坐标系, 圆的半径为无线传输半径(250m), 图中直线 L_1, L_2 和 y 轴把中继节点一次发射信息所覆盖的区域平均分成 6 份, 按照逆时针顺序, 角度分别为 $\alpha \in [-\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{3})$, $\beta \in [\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2})$,

$$\gamma \in [\frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3}), \theta \in [\frac{2\pi}{3}, \frac{4\pi}{3}), \phi \in [\frac{4\pi}{3}, \frac{3\pi}{2}), \psi \in [\frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{3})$$

, 因此按照节点的位置所在的区域给节点分成相应的 6 组, 其中 α 角度所在的区域里的汽车被命名为第 1 组, β 所在区域里的汽车为第 2 组, γ 区域里的汽车为第 3 组, θ 区域里的汽车为第 4 组, ϕ 区域里的汽车为第 5 组, ψ 区域里汽车为第 6 组。这 6 个角度的角平分线分别为 OA, OB, OC, OD, OE, OF , 6 个点 $A(x + r, y), B(x + r \cdot \cos \frac{\pi}{3}, y + r \cdot \sin \frac{\pi}{3}), C(x - r \cdot \cos \frac{\pi}{3}, y + r \cdot \sin \frac{\pi}{3}), D(x - r, y), E(x - r \cdot \cos \frac{\pi}{3}, y - r \cdot \sin \frac{\pi}{3}), F(x + r \cdot \cos \frac{\pi}{3}, y - r \cdot \sin \frac{\pi}{3})$,

, 构成了一个正六边形, 如果在这 6 个点的位置恰好有汽车节点, 那么这 6 个汽车节点为下一跳的中继节点, 因此这 6 个位置为中继节点的最佳位置。下一节详细给出中继节点的选择。

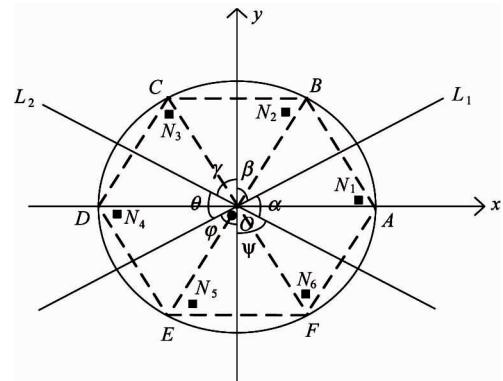


图 2 汽车的正六边形法分组

(2) 每个汽车确定自己所属的汽车组

我们首先给出直线 L_1 的点斜式直线方程

$$(Y - y) = (X - x) \cdot \tan \frac{\pi}{6} \quad (7)$$

直线 L_2 的点斜式直线方程

$$(Y - y) = -(X - x) \cdot \tan \frac{\pi}{6} \quad (8)$$

y 方程

$$x = 0 \quad (9)$$

定义 4 第 1 组的节点集合为 S_1 , 对于任意汽

车节点 $N_1(x_1, y_1)$, 如果满足条件

$$-(x_1 - x) \tan \frac{\pi}{6} \leq (y_1 - y) < (x_1 - x) \tan \frac{\pi}{6} \quad (10)$$

则节点 $N_1 \in S_1$ 。

定义 5 第 2 组的节点集合为 S_2 , 对于任意节点 $N_2(x_2, y_2)$, 如果满足条件

$$(x_2 - x) > 0 \text{ 且 } (y_2 - y) \geq (x_2 - x) \tan \frac{\pi}{6} \quad (11)$$

则 $N_2 \in S_2$ 。

定义 6 第 3 组的节点集合为 S_3 , 对于任意汽车节点 $N_3(x_3, y_3)$, 如果满足条件

$$(x_3 - x) \leq 0 \text{ 且 } (y_3 - y) > -(x_3 - x) \tan \frac{\pi}{6} \quad (12)$$

则 $N_3 \in S_3$ 。

定义 7 第 4 组的节点集合为 S_4 , 对于任意汽车节点 $N_4(x_4, y_4)$, 如果满足条件

$$(x_4 - x) \tan \frac{\pi}{6} < (y_4 - y) \leq -(x_4 - x) \tan \frac{\pi}{6} \quad (13)$$

则 $N_4 \in S_4$ 。

定义 8 第 5 组的节点集合为 S_5 , 对于任意汽车节点 $N_5(x_5, y_5)$, 如果满足条件:

$$(y_5 - y) \leq (x_5 - x) \tan \frac{\pi}{6} \text{ 且 } (x_5 - x) < 0 \quad (14)$$

则 $N_5 \in S_5$ 。

定义 9 令第 6 组的节点集合为 S_6 , 对于任意汽车节点 $N_6(x_6, y_6)$, 如果满足条件

$$(x_6 - x) \geq 0 \text{ 且 } (y_6 - y) < -(x_6 - x) \tan \frac{\pi}{6} \quad (15)$$

则 $N_6 \in S_6$ 。

由这几个定义, 中继节点一跳所覆盖的范围内的所有节点根据自己的位置可以确定自己属于哪个节点组。

2.2 中继节点的确定以及信息转发

2.2.1 AGBP-Etriangle 中继节点选择及信息分发

本文提出的 AGBP-Etriangle 规定中继节点直接

广播数据包给邻居节点, 数据包里包含位置信息, 当邻居节点收到数据包后, 根据中继节点的位置计算下一跳中继节点的最佳位置即 A, B, C 三个点的坐标, 并根据上述三个定义判断自己属于哪一个汽车组 (S_1, S_2, S_3) , 然后每个组内的所有节点分别计算和自己所在区域内的最佳中继节点位置的距离, 并根据等待转发信息时延公式(第 4 节给出)计算等待时延(WT), 然后开始倒计时, 当 WT 截止时转发信息, 第一个转发信息的节点被定义为该组的中继节点, 这表明 WT 值最小, 则最先转发信息。其它收到信息的节点不再转发, 确保每一组节点集合内只有一个中继节点转发信息, 限制中继点数量。

依据 WT 公式, WT 值越小的节点, 该节点的位置越趋近于该区域内中继节点最佳位置。如果 WT 为零, 表明该节点和最佳位置的距离为零, 这说明最佳的位置上恰好有节点, 这也支持上述结论, 正三角形三个顶点上的节点是最佳的中继节点。

图 3 为正三角形的三个顶点位置上恰好都有中继节点的特例, 给出了中继节点向周围的相关区域转发信息的方法。限于篇幅, 本文只给出信息按照正三角形向相关区域转发三次的图示, 再继续向外转发信息是同样的规则。把信息每向外转发一次定义为一跳, 图中给出了转发三跳(1, 2, 3 跳), 本文定义第 0 跳为信息在源中继节点处, 第 1 跳的中继节点为信息经过一跳向外转发需要的中继节点, 第 2 跳的中继节点为信息经过两跳转发需要的中继节

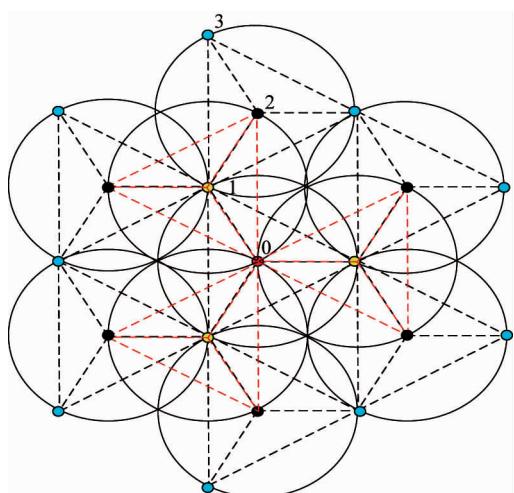


图 3 按照正三角形转发信息

点,第3跳选出的中继节点为数据信息经过三跳转发需要的中继节点,依此类推,事故信息就可以这样通过每一跳选出的中继节点向事故节点周围扩散到很远,直到没有车辆做中继节点为止。

从图3中可看出,如果信息每一跳向外转发所选择的中继节点恰好都是正三角形的三个顶点,那么每一跳能够选出新的中继节点个数遵循以下规律:第0跳:1个中继节点;第1跳:3个中继节点;第2跳:6个中继节点;第3跳:9个中继节点; \cdots ;第n跳: $3n$ 个中继节点。因此,信息每向外转发一次,每一跳的中继节点的个数和跳数之间的关系为 $3n$,其中n为跳数。这样限制了中继节点个数。

AGBP-Etriangle 规定已经转发过信息的中继节点再接收到同一条信息副本则不再转发,从而降低了信息碰撞,降低了信息重传冗余的机会,提高了数据信息传输的可靠性和实时性。

通过正三角形的规则向外扩散信息每一跳选出来的中继节点为 $3n$ 个,如果有一个中继节点不在最佳的位置上,那么每一组内按照WT值最小法确定的中继节点构成的三角形不是正三角形,每一跳选择的中继节点也是 $3n$ 个,即使这样也可以保证信息同时向三个不同的方向转发。最后,如果某一组或某两组内没有汽车节点,只要有一组内有汽车,信息也可以向外转发,这时信息转发的中继节点不再遵循 $3n$ 这个规律,而是少于 $3n$,所以每一跳选择 $3n$ 个节点转发信息是中继节点最多的情况。正三角形向外转发信息只是恰巧在最佳的三个位置上都有中继节点的特例。

2.2.2 AGBP-Rhexagon 中继节点选择及信息分发

在AGBP-Rhexagon中,中继节点直接广播数据包,在一跳范围内的所有邻居节点收到数据包后,根据数据包里中继节点的位置信息计算下一跳中继节点最佳位置的坐标(A, B, C, D, E, F 6个点),并根据上节中判断自己所属区域的6个定义,确定自己应该属于哪一个汽车组($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$),每个组里的所有汽车节点分别计算和自己所属的区域内最佳中继节点位置的距离,然后根据WT公式计算等待转发信息的时间,得到WT值之后开始倒计时,当WT为零时,转发信息,第一个重播信息的

汽车节点被定义为该组汽车的中继节点,其它收到同样信息的节点不再转发,确保每一组节点内只有一个中继节点转发信息,因此限制中继点个数,减少信息转发过程中的碰撞,减少信息因碰撞丢失。

如果恰好在6个最佳的中继节点的位置上有汽车节点,那么这6个节点构成了正六边形,图4给出了每一跳都按照正六边形的规则选择中继节点并且向外转发信息,篇幅所限,图4中只给出数据信息从源节点向周围转发3跳(1,2,3)的图示,再继续向外转发信息是同样的规则。本文把源节点定义为信息的第0跳的中继节点。有趣的是我们发现如果每一跳都按照正六边形转发信息,每一跳选出的中继节点个数和跳数之间有一定的规律。如图4所示,第0跳:1个中继节点;第1跳:6个中继节点;第2跳:12个中继节点;第3跳:18个中继节点; \cdots ;第n跳: $6n$ 个中继节点。因此,信息每向外转发一次,每一跳的中继节点的个数和跳数之间的关系为 $6n$,n为跳数。本文规定已经转发过信息的中继节点收到同样的数据信息副本时不再转发,这样限制了中继节点的个数,从而限制了信息重传的次数,抑制信息冗余。

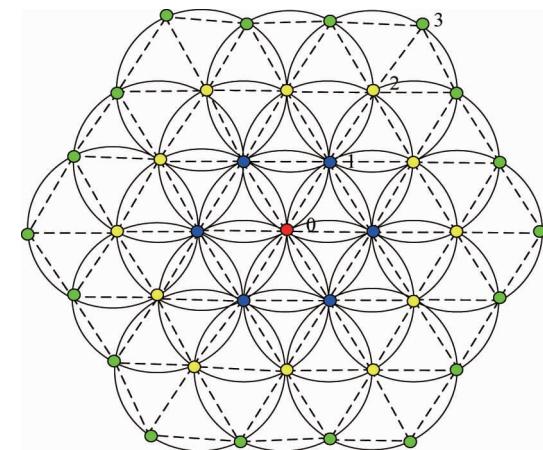


图4 按照正六边形转发信息

图4给出的每一跳按照正六边形转发信息是一个特例。这种情况是在6个组内的中继节点都在最佳的中继节点位置上,也就是每一个中继节点转发信息的等待时延(WT)值均为零。但是本文规定信息转发并不是每一跳都按照正六边形向外转发信

息,比如下边两种情况:(1)如果有一个节点不在最佳中继节点的位置上,即使在 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 6 个组都有中继节点,那么它们构成的六边形不再是正六边形,而是一般的六边形,但是每一跳的中继节点的个数仍然是 $6n$,还会满足上述的规律,每一跳的信息则由这 6 个节点向外转发;(2)这 6 个组内可能有一组或者几组内没有汽车,那么信息转发由其它组内的中继节点转发,这种情况每一跳的中继节点的个数和跳数之间的关系则不是 $6n$,而是小于 $6n$ 。本文并未规定在 AGBP-Rhexagon 中信息一定按照正六边形向外转发,按照正六边形转发只是一个特例。本文只是按照正六边形给中继节点一跳无线发射范围所能覆盖的汽车分组。

AGBP-Rhexagon 和 AGBP-Etriangle 信息分发的流程如图 5 所示。

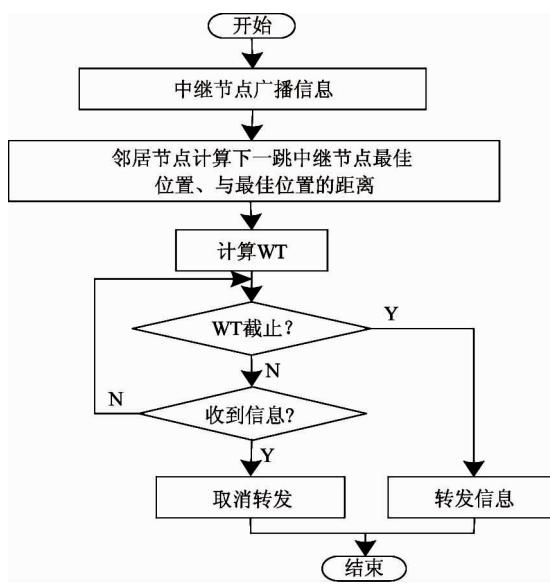


图 5 流程图

3 覆盖相同面积所用正六边形与正三角形个数的比较

由于正六边形相邻区域的中心间隔大,所以覆盖同一个区域,采用正六边形的个数比正三角形的个数少。

定理 1 一个区域面积为 S ,完全覆盖这个区域需要 m 个正六边形,需要 n 个正三角形,则 $m < n$ 。

证明:如图 1 示,等边三角形三边长为 AC, AB, BC , 而

$$AC = 2 \cdot r \cdot \cos \frac{\pi}{6} = \sqrt{3} \cdot r \quad (16)$$

采用下式计算一个正三角形的面积 S_3 :

$$S_3 = \frac{1}{2} \cdot AB \cdot AC \cdot \sin \frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot r^2 \quad (17)$$

一个正六边形的面积 S_6 的计算公式如下:

$$S_6 = 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \sin \frac{\pi}{3} = \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 \quad (18)$$

若 m 个正六边形与 n 个正三角形均能覆盖同一个区域 S , 则有

$$S = m \cdot S_6 = n \cdot S_3 = m \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 = n \cdot \frac{3\sqrt{3}}{4} r^2 \quad (19)$$

从而有

$$\frac{m}{n} = \frac{1}{2} \quad (20)$$

由此看来采用正六边形覆盖同样区域的面积所用的个数是正三角形个数的一半。

虽然从图 4 中看出,当最佳中继节点位置上恰巧都有中继节点时,使用正六边形法每一跳选出的中继节点比图 3 中正三角形法选出的中继节点多,但是因为覆盖同样的区域使用的正六边形的个数少,所以对于信息覆盖同一个区域来说,使用正六边形法给汽车分组和使用正三角形法给汽车分组并不意味着在信息转发过程中前者选出的中继节点个数会比后者的多。

4 节点转发信息等待时延(WT)的计算方法

AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon 采用 WT 公式计算信息转发的等待时延,邻居节点收到上一跳中继节点广播的数据包后,每个节点分别计算和自己所属区域范围内下一跳最佳中继节点位置的距离 dis ,然后采用下式计算自己的 WT:

$$WT = WT_{max} \cdot (1 - e^{-\frac{dis}{r}}) \quad (21)$$

WT_{max} 为最大等待时间,本文设置为 100ms。如果节点在最佳的位置上,那么 dis 的值为零,最佳位置上的节点为最理想的下一跳中继节点, WT 值为零。

5 性能分析

5.1 模拟场景和参数的设置

为了分析 AGBP 协议的性能,我们采用 NS2 模拟器进行模拟试验。本文采用 $1600m \times 1600m$ 的网格区域,其中每个小街区 $200m \times 200m$ 。采用 Vanet-MobiSim 产生车辆的真实轨迹。VanetMobiSim 在宏观和微观两个层面特征都是实际的汽车移动模型,并且支持交通灯、换道和速度变化。在模拟器中路宽设置为 $10m$,4 车道,双向车流,车速为 $5 \sim 20m/s$,加速因子为 $2m/s^2$,减速因子为 $4m/s^2$,车辆数目从 200 辆 ~ 600 辆变化,每 50 辆增加直至 600 辆,车辆密度由低到高的变化,采用多种交通密度来测试本文提出的广播协议,从而证明 AGBP 广播协议适用于各种城市交通密度场景的变化。VANETMobiSim 运行 200s 获得车辆轨迹文件。在 NS2 中的模拟时间为 200s,源节点在第 100s 时刻广播一次事故信息。本文设置信息包的大小为 $1k$,其中包含 <源节点的 ID 号,数据包的 ID 号,车辆位置 Pos>。

本文采用 10 次试验的数据对覆盖率、链路时延、网络开销和转发节点率 4 个特性分析,进而观察 AGBP 的性能。覆盖率是在指模拟区域内收到数据包汽车数量的百分比。时延是指一个数据包从源节点到目的节点所用的时间,它反映了数据传输的高效性。网络开销是指在模拟期间每个汽车接收到的数据包的数量,这个特性用来测量网络的可扩展性。转发节点率是指网络中重播来自源节点信息的汽车比例。最后,我们把 AGBP 协议和文献[16]提出的交叉口识别算法(IRA)紧急信息广播机制以及泛洪(flooding)协议进行了分析比较。

5.2 模拟结果

图 6 给出了 4 个协议在不同交通流密度场景下的覆盖率。随着汽车数量由低到高的变化,4 个协议的覆盖率总体呈上升趋势,这是合理的,因为随着车辆增多,交通流变密,网络的连接性越来越好,所以接收到数据包的汽车数量会增加。从图 6 中清楚地看出,IRA 的覆盖率比 AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon 低,但是比 flooding 协议高,IRA 的覆盖率

比 flooding 协议的覆盖率平均高 3.9% ,这主要是因为在 flooding 协议下,收到数据信息包的所有的车辆都转发,这样会导致数据包碰撞丢失,因此有的车辆收不到数据包,所以覆盖率降低。而 IRA 的覆盖率比 AGBP-Etriangle 平均低 0.08% 、比 AGBP-Rhexagon 的覆盖率平均低 0.07% ,这是因为采用正三角形和正六角形法按照汽车所在的区域给汽车分组,当建筑物阻挡不了无线信号时,AGBP 可以沿着不同的道路不同的方向选择中继节点并转发信息,能够减少信息碰撞,所以接收到数据包的汽车数量多,覆盖率比 IRA 和 flooding 协议高。覆盖率高意味着 AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon 选择的中继节点的策略比 IRA 好,并且对于不同的交通密度具有较高的容忍性。

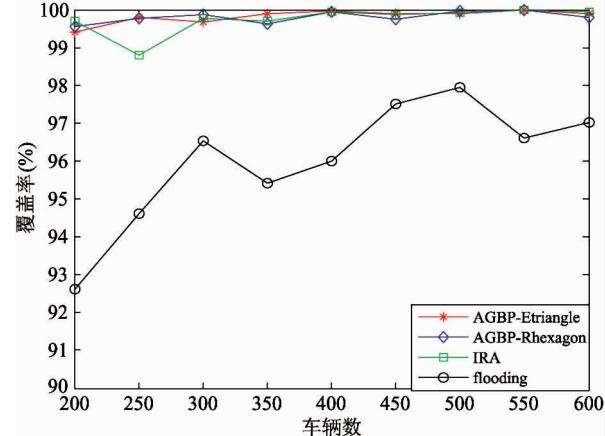


图 6 覆盖率

图 7 给出了所有协议的链路时延的比较。flooding 协议的链路时延最小,这是因为在 flooding 协议下接收到数据信息包的所有车辆全部转发信息,信息很快转发到模拟区域内最近的节点,IRA 的链路时延比 flooding 协议的链路时延平均高 309% ,IRA 比 AGBP-Etriangle 和 AGBP -Rhexagon 的链路时延都高,比 AGBP-Etriangle 平均高 18% ,比 AGBP-Rhexagon 链路时延平均高 20% ,这是因为 IRA 需要维护邻居列表,并且使用邻居列表来识别交叉口,所以浪费时间多,与 IRA 不同的是,AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon 不使用邻居列表、不用识别交叉口,而是采用正三角形和正六角形法给车辆分组,然后

由 WT 决定每一组内的中继节点的策略转发信息，信息可以同时沿着不同方向和不同的道路向事故节点周围扩散，所以浪费的时间少，链路时延低。低链路时延说明 AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon 的数据传播效率比 IRA 的高。

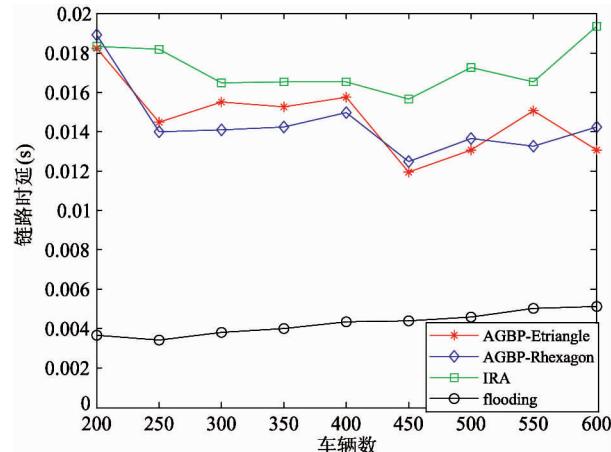


图 7 链路时延

图 8 给出了在车辆密度不同的情况下 4 个协议的节点转发率。从图中看出，IRA 的转发节点率比 AGBP-Etriangle 高，比 flooding 协议低，比 AGBP-Rhexagon 低。IRA 的转发节点率比 AGBP-Etriangle 平均高 0.4%，比 AGBP-Rhexagon 平均低 0.2%，比 flooding 协议的转发节点率平均低 39%。简单的泛洪协议的转发节点率最高，这是因为简单的泛洪协议中收到数据信息的汽车全部参与转发，所以转发节点率高。IRA 转发节点率比 AGBP-Etriangle 高，因为 IRA 在道路的交叉口处，除了信息来的方向，其它三个方向都会选择中继节点，而且信息在同一条道路上双向传输，所以需要双向选择中继节点，而 AGBP-Etriangle 采用正三角形法给汽车分组后，在每一组内选择中继节点，每一跳的中继节点最多为 $3n$ ，而且可以在不同的道路和不同方向选择中继节点，所以对于同一模拟区域而言，AGBP-Etriangle 转发节点率低。IRA 的转发节点率比 AGBP-Rhexagon 转发节点率低，这是因为对于覆盖同一个模拟区域来说，正六边形法给汽车分组后，选择中继节点，虽然可以在不同方向和不同道路的选择中继节点，但是每一跳选出来的中继节点个数最多为 $6n$ ，所以总

的转发节点率高，但是 IRA 比 AGBP-Rhexagon 只低 0.2%。

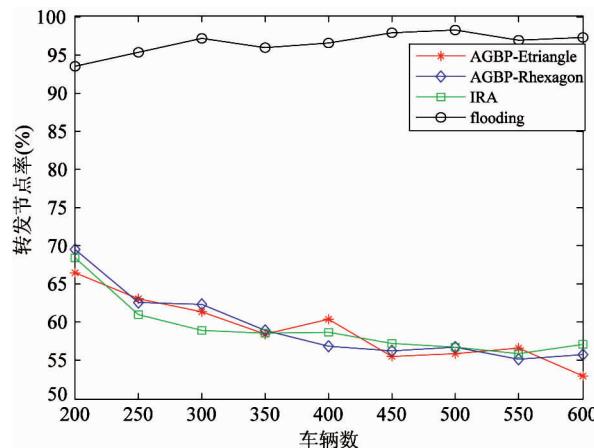


图 8 转发节点率

图 9 给出的是所有协议的数据包的网络开销，从图中可看出，AGBP-Etriangle、AGBP-Rhexagon 和 flooding 协议的数据包的网络开销比 IRA 低，这是因为 AGBP 协议采用正三角形和正六边形法给汽车分组，每一组内由 WT 确定中继节点的策略减少了转发节点的个数，减少了信息重传次数。而在 flooding 协议下所有接收到的信息的汽车节点全部参与转发，信息碰撞的机会多，这样会导致部分数据包丢失，所以在 flooding 协议下每辆汽车接收到的数据包少。从图中可看出，IRA 的数据包的网络开销比 AGBP-Etriangle 平均高 12%，比 AGBP-Rhexagon 平均高 11%，比 flooding 平均高 62%，这表明它的中继

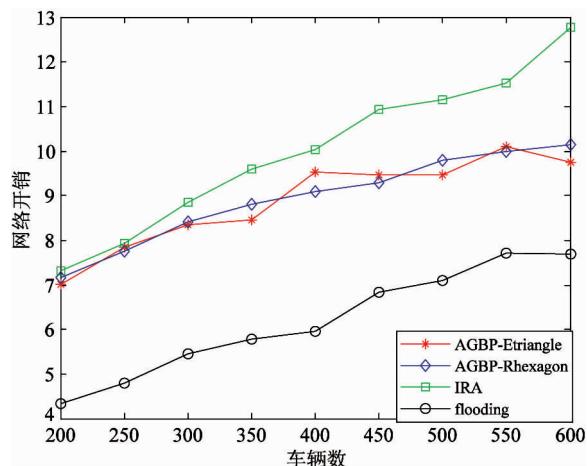


图 9 数据包的网络开销

节点选择的策略不如 AGBP 的好,导致数据包传输的次数增多。从图中可看出,AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon 数据包的网络开销随着节点密度的增加而轻微地增加,这说明 AGBP 广播协议具有很好的扩展性。

最后本文把 4 个协议的总的网络开销进行比较并给出了图 10 的分析结果。因为 IRA 协议采用 hello 信标维护邻居链表,所以总的网络开销应该包含 hello 信标的开销。而本文提出的 AGBP-Etriangle、AGBP-Rhexagon 协议以及 flooding 协议不使用 hello 信标,所以这三个协议的总的网络开销实际上是图 9 中给出的数据包网络开销。从图 10 中可看出 IRA 的总的网络开销比其它三个协议高很多。IRA 总的网络开销比 AGBP-Etriangle 总的网络开销平均高 17264%,比 AGBP-Rhexagon 总的网络开销平均高 17118%,比 flooding 总网络开销平均高 24449%。所以本文提出 AGBP-Etriangle 和 AGBP-Rhexagon 不使用 hello 信标,不用维护邻居列表记录邻居信息,这大大地降低了网络开销。

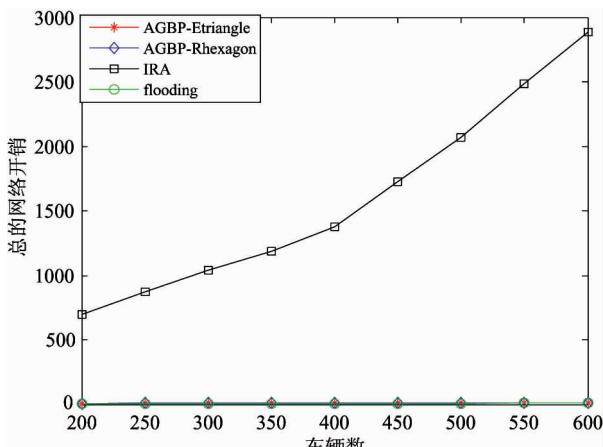


图 10 总的网络开销(包括 hello 信标)

6 结 论

本文提出了基于区域分组的安全信息广播协议(AGBP),实现了安全信息面向转发节点周围的高效分发。本协议采用正三角形法和正六边形法给汽车分组,在每一组内通过等待时延决定下一跳的中继节点。这种按照区域给汽车分组的方法,当无线

信号能够同时覆盖几条街道时,使得中继节点可以沿着不同方向、不同道路选择,不用考虑汽车的行驶方向、行驶速度、信息传输方向以及中继节点和广播节点之间的距离、道路交叉口等因素,这样选择中继节点限制了中继节点的个数,降低了在密集型场景下的信息冗余,能够使信息在事故节点周围同时沿着不同的方向和不同的道路尽快扩散,与目前沿着道路转发信息并且在道路交叉口处可以向不同方向转发信息的广播协议相比,AGBP 广播协议有效地提高了信息转发的效率、降低了链路时延,并且具有较好的覆盖率。

AGBP 不使用维护邻居信息的方法识别道路交叉口,所以大大地降低了网络开销。总之,AGBP 与 IRA 相比具有低延迟、低转发节点率特点和较高的覆盖率。

参 考 文 献

- [1] Korkmaz G, Eylem E. Urban multihop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems. In: Proceedings of ACM Vehicular Ad Hoc Network , PA, Philadelphia, 2004. 76-85
- [2] Wisitpongphan N, Tonguz O K, Parikh J S, et al. Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks. *IEEE Wireless Communication*, 2007, 14(6):84-94
- [3] Sun, M, Feng W, Lai T, et al. GPS-based message broadcasting for inter-vehicle communication. In: Proceedings of 52nd Vehicular Technology Conference, Boston, USA, 2000, 6. 2685-2692
- [4] Lai P Y, Wang X H, Lu N, et al. A reliable broadcast routing scheme based on mobility prediction for VANET. In: Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Xi'an, China, 2009. 1083-1087
- [5] Khakbaz S, Fathy M. A reliable broadcast method for vehicular ad hoc networks considering fragmentation and intersection problems. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services, and Technologies, Cardiff, Wales, UK, 2008. 379- 384
- [6] Tung L C, Gerla M. An efficient road-based directional broadcast protocol for urban vanets. In: Proceedings of

- 2010 IEEE Vehicular Networking Conference, Jersey City, USA, 2010. 9-16
- [7] Mohammad S A, Rasheed A, Qayyum A. Vanet architectures and protocol stacks: a survey. In: Proceedings of Communication Technologies for Vehicles, Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Heidelberg, Germany, 2011. 65. 95-105
- [8] Linda B, Lorenz S, Gunter H. Disseminating messages among highly mobile hosts based on inter-vehicle communication. In: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, USA, 2000. 522- 527
- [9] Zhao J, Cao G. Vadd: vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications , Barcelona, Spain, 2006. 1-12
- [10] Zhao J, Zhang Y, Cao G. Data pouring and buffering on the road: a new data dissemination paradigm for vehicular ad hoc networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2007, 56(6) : 3266-3277
- [11] Viriyasitavat W, Tonguz O, Bai F. Uv-cast: an urban vehicular broadcast protocol. *IEEE Communications Magazine*, 2011, 49(11) : 116-124
- [12] Yi C W, Chuang Y T, Yeh H H, et al. Streetcast: an urban broadcast protocol for vehicular ad-hoc networks. In: Proceedings of the 71st IEEE Vehicular Technology Conference, Taipei, China, 2010. 1-5
- [13] Fracchia R, Meo M. Analysis and design of warning delivery service in inter-vehicular networks. *IEEE Transaction on Mobile Computing*, 2008, 7(7) : 832-845
- [14] Yu Q, Heijenk G. Abiding geocast for warning message dissemination in vehicular ad hoc networks. In: Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications Workshops, Beijing, China, 2008. 400-404
- [15] Yang Y T, Chou L D. Position-based adaptive broadcast for inter-vehicle communications. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Beijing, China, 2008. 19-23
- [16] Lee K, Cho K, Kim J, et al. An Efficient propagation method for emergency messages in urban vanets. In: Proceedings of the 13th International Conference, NEW2AN 2013 and 6th Conference, ruSMART 2013, St. Petersburg, Russia, 2013, 8121. 397-406

An area-grouping based protocol for safety message broadcast in urban VANETs

Wang Xiufeng, Wang Chunmeng, Cui Gang

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract

To improve the effectiveness of the safety message broadcast in urban vehicle ad hoc networks (VANETs), an area-grouping based broadcast protocol for safety message dissemination (AGBP) is proposed. The AGBP adopts the equilateral triangle method or the regular hexagon method to equally segment the area the relay node covers per hop, and groups vehicles according to the area in which they are. The vertexes of equilateral triangles and regular hexagons are the best position of the relay node, and all nodes in each group calculate the waiting time (WT) according to the distance from them to the best position of the relay node. The WT decides the relay node for forwarding messages in each group, so messages can be disseminated along many directions and roads at the same time. Compared with the traditional broadcast protocol along only one road, the AGBP can avoid the data redundancy and collision caused by misclassification, so it can decrease the overhead, the link delay and the ratio of forwarding nodes, and improve the coverage.

key words: vehicle ad hoc networks (VANETs), broadcast, grouping vehicles