

荒漠场景应用的车联网及其分簇路由算法

默罕莫德·默森, 许凯凯, 夏玮玮, 吴怡, 沈连丰

(东南大学 移动通信国家重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘要: 为了解决沙漠、戈壁等荒漠场景的车辆间及其与外界通信, 提出一种车辆自组织网络的体系结构并重点分析其分簇和路由算法。该算法根据网络中车辆所装备的通信终端类型和车辆定时发出的位置、速度和行驶方向等信息对车辆进行分簇。在簇内通信和簇间通信时, 簇头车辆为簇成员车辆选择最合适的路由; 在与外界通信时, 簇头车辆为簇成员车辆选择最近的装备卫星或地面移动通信终端的车辆进行转发。仿真结果表明, 该算法与传统的分簇路由算法相比具有更高的簇结构稳定性、更高的数据传输成功率以及更低的路由开销。

关键词: 车辆自组织网络; 分簇; 路由

中图分类号: TN923

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)10-0166-09

Vehicular ad hoc network and clustering routing algorithm applied in wilderness scenarios

MOHAMED Mohsen, XU Kai-kai, XIA Wei-wei, WU Yi, SHEN Lian-feng

(National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: To solve the communication problem among vehicles in wilderness scenarios such as desert and Gobi or between the vehicles and the outside, a special architecture of VANET was proposed and its clustering and routing algorithm was analyzed. Based on different types of communication terminals each vehicle equips and the location, speed and driving direction information of the periodic message, the vehicles are organized into different clusters. The head of each cluster chooses the best route for its members when they ask for inner-clustering communications or inter-clustering communications. It also searches the nearest vehicle which equips satellite communication terminals or land mobile communications terminals to forward messages when a member requests communicating with the outside of the network. Simulation results show that the proposed algorithm has higher network stability, higher data delivery ratio and less routing overhead.

Key words: VANET; clustering; routing

1 引言

随着经济的发展和汽车的普及, 车辆自组织网络 (VANET, vehicular ad hoc networks) 已成为人们

关注的焦点。早在 2003 年, 美国联邦通信委员会 (FCC, Federal Communications Commission) 就为车辆间通信划分了专用频段, 并制订了第一个车辆自组织网络通信标准 DSRC (dedicated short range

收稿日期: 2012-06-05; 修回日期: 2012-09-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61171081); 国家高技术研究发展计划 (“863”计划) 基金资助项目 (2008AA01Z205); 江苏省科技成果转化专项基金资助项目 (BA2010023); 教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目 (NCET-10-0018)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61171081); The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2008AA01Z205); The Specialized Development Foundation for the Achievement Transformation of Jiangsu Province (BA2010023); Program for New Century Excellent Talents in University of China (NCET-10-0018)

communications)；2009 年 IEEE 从 802.11 标准中扩充了主要用于车辆通信的新标准 IEEE 802.11p。车辆自组织网络通常简称为车联网，已成为近期的研究热点，其信息的可靠传输受到特别的重视。文献[1]推导出了城市环境下借助于路边辅助设施，车联网中上行和下行的连通性概率。文献[2]运用分布式学习算法动态地改变相邻车辆间的传输速率使数据能被更好地接收和聚合。文献[3]提出了一种 DSRC 控制信道的分布式跨层设计方法以保证 VANET 中安全信息的快速可靠传输。文献[4]设计了基于车辆探测消息的功率控制算法，车辆节点周期性地发送探测信息，分析网络中车辆数目及连通状态，继而自动调整发射功率来改变网络拥塞状况。当车辆较多且没有可供使用的公众通信网络时，车辆构成自组织网络具有重要的意义，成员间的信息交互通常通过网内的多跳传输来实现，因此 VANET 路由协议一直备受关注。文献[5]提出了 2 种路由算法 RBVT-R (road-based using vehicular traffic-reactive) 和 RBVT-P (road-based using vehicular traffic-proactive)，RBVT-R 中车辆收到源车辆发起的路由请求后将其存储一段时间，在存储时间内如果没有收到其他车辆的转发信息再进行转发，存储时间与其距源车辆的距离成反比，以此来确保距源车辆越远的节点越早转发；RBVT-P 中每辆车周期性地收集道路上所有车辆信息并存储，源车辆根据存储内容进行路由选择。文献[6]根据环境中车辆速度和密度的高低不同分别提出了 CBRF (connection-based restricted forwarding) 和 CLGF (connectionless geographic forwarding) 算法，在算法中确定了一个小于通信范围的距离 r ，小于 r 范围的车辆不参与下一跳路由寻找。文献[7]利用城市中的路边基础设施，车辆定时向路边单元发送信息，当需要通信时由路边单元负责进行路由选择。

随着车联网结构的不断扩大，分簇路由因其具有拓扑管理方便等特点吸引了很多研究者。在 CBRP (cluster based routing protocol) 的基础上，人们从不同的研究角度考虑提出了越来越多的分簇路由算法^[8~13]。文献[8]将自组织映射神经网络算法应用到 VANET 中，利用行驶车辆的参数选择合适的车辆组网。文献[9]中将 VANET 网络研究背景在地理上分割成统一大小的方格，每个方格内形成一个簇，该算法为了使簇头和簇头可以直接通信而将网格划分较小，导致网络中簇头数目过多。文献

[10]和文献[11]增加考虑驾驶人的驾车习惯和兴趣等因素，增加了网络中车辆的相关性，提高了网络生存时间。文献[12]研究了城市环境下的 VANET 和 3G 网络的融合，根据车辆的移动方向、3G 网络的信号强度和 VANET 装置的通信距离将网络分割成不同的区域，选择靠近区域中心位置的车辆为簇头车辆，当有车辆需要对外通信时，根据每个簇的簇头车辆速度、信号强度和链路稳定性选择网关车辆。文献[13]中为避免冲突延时将分簇大小约定为 k 辆车，每辆车使用一个单独的信道。

到目前为止研究人员都只是将 VANET 的研究背景锁定在城市或高速公路等人们经常活动的地方，伴随着经济的不断发展，人们的活动范围已逐渐延伸至沙漠、戈壁等人烟稀少的荒漠地区。这些地区路况极不规则，又缺乏固定的通信设施，给车辆的安全行驶带来严峻的考验甚至威胁人们的生命安全。虽然现在可用卫星或地面移动通信等方式解决车辆间的信息交互问题，但卫星通信价格昂贵、带宽受限，而地面移动通信系统又难以覆盖到这些荒漠地区，因此，对于沙漠等场景下车辆自组织网络的研究具有重要意义。

本文提出一种适用于沙漠、戈壁等荒漠环境的车辆自组织网络分簇路由算法，该算法可以提供稳定的分簇结构，在源车辆与目的车辆之间建立可靠的路由，同时可以充分利用自组网内部装备了卫星通信终端和地面移动终端的车辆建立自组织网络内部车辆与外部的通信。

2 系统模型和网络的逻辑结构

本文研究的车联网应用场景是在沙漠、戈壁等荒漠环境，与城市环境不同的是：没有道路、交通标志和建筑物等约束，车辆的运动呈不规则性；信息传输没有可供利用的基础设施。在本文的系统模型中做如下设计：每辆车都装备车联网通信终端，车辆可以通过该终端与其通信范围内的其他车辆进行通信，但无法与 VANET 外界进行信息交互；部分车上装备地面移动通信终端可以通过地面公共通信设施与外界网络（包括 Internet）连接；少量车上还装备卫星通信终端可以直接与卫星进行通信；极少量车上会同时装备这 2 种终端。所提车联网的系统模型如图 1 所示。

由图 1 可见，网络中车辆分割成不同的簇，每个簇中拥有一个簇头车辆和若干个簇成员车辆，簇

成员与簇头间最远距离为 k 跳通信范围，簇头车辆负责协调和管理簇内所有其他车辆；簇间车辆的信息传输可由簇头通过多跳传输来完成。为了方便网内车辆与外界进行通信，在簇头选举时优先选择装备了卫星通信终端或地面移动通信终端的车辆。这样，那些仅装备了车联网通信终端的车辆就可以借助于本簇或邻簇簇头车辆的转发与外界构成通信链路。

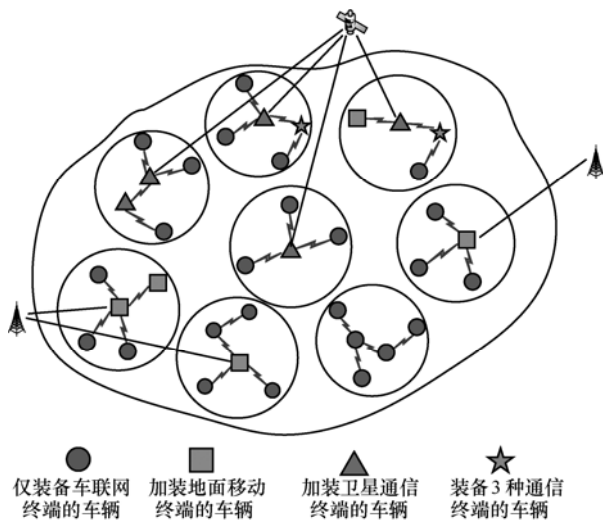


图 1 系统模型

可将图 1 的系统模型在逻辑上分为 3 层，形成该种网络的逻辑结构如图 2 所示。

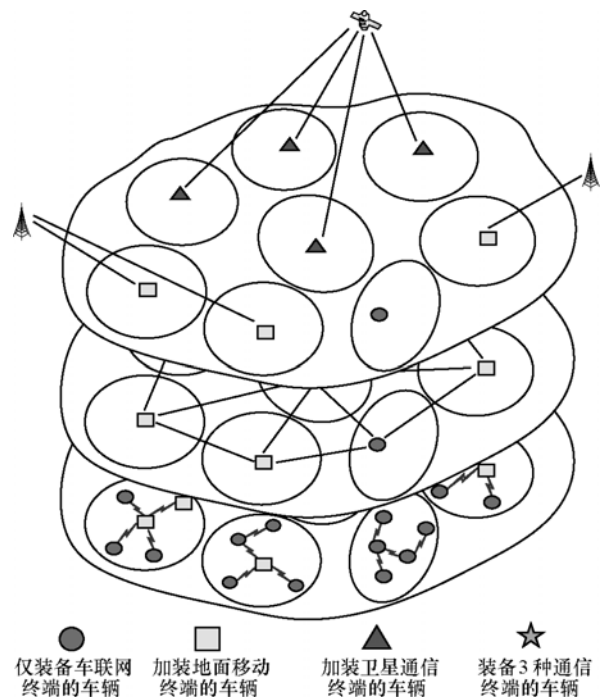


图 2 网络的逻辑结构

由图 2 可见：最底层为每个簇的簇头车辆与其簇成员构成的簇内通信网络；第 2 层为簇头车辆之间形成的 VANET 骨干网络；第 3 层由装备卫星通信终端或地面移动通信终端的簇头车辆组成，可以与卫星或地面移动通信基础设施等外界网络通信，称为外接网络层。

3 分簇及其管理

簇是本文模型的基础，簇头收集簇成员信息。当需要传输信息时，簇成员将信息发送至本簇的簇头车辆，簇头通过相邻簇头的多跳转发将信息送至目的车辆所在簇的簇头，最后由该簇头将信息转发至目的车辆。为此首先讨论簇的分类，然后讨论簇头的产生及维护。

3.1 簇的分类

如前所述，本文研究的车联网共有 4 种不同类型的车辆：仅装备车联网通信终端、装备车联网通信终端及地面移动通信终端、装备车联网通信终端及卫星通信终端、装备 3 种通信终端。为方便叙述，依次分别将它们称为 A、B、C、D 类车。除 A 类车外，其他几类车在一定条件下均可直接与外界通信。根据簇内车辆的种类数量可将簇结构分为 4 种，如图 3 所示。

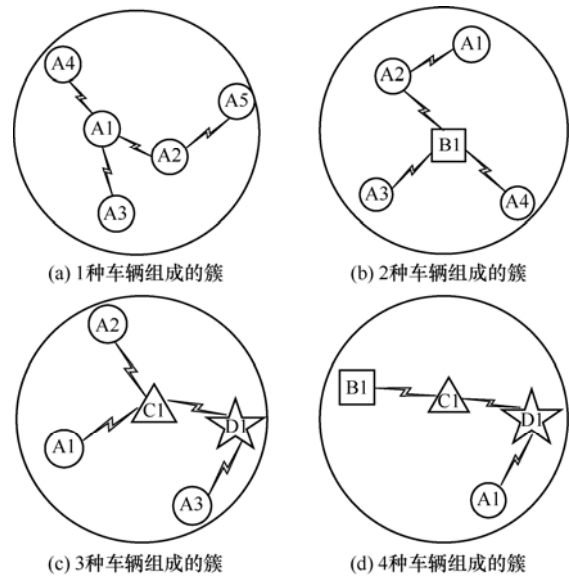


图 3 簇结构示意图

图 3(a)所示为单一车辆组成的簇，图中仅给出 A 类车辆形成的簇，其他车辆成簇情况亦然。因为簇中所有车辆类型相同，所以它们必须经过选举产生簇头。如果该簇处于远离 VANET 中其他簇所在

的位置，B、C、D 类车仍可借助本身装备的地面移动通信终端或卫星终端与网中其他车辆或与外界取得联系，而 A 类车则只能处于失去联系的状态。

图 3(b)所示为由 2 种类型车辆成簇的一种情形，其他情形亦然。当 A 类车与 B、C、D 类车形成簇时，通常选择后者为簇头。当有多辆 B、C、D 类车在一个簇中或由 B、C、D 中 2 种形成这种簇时，需经过选举产生簇头车辆。

图 3(c)和图 3(d)所示分别为由 3 种、4 种车辆成簇的一种情形，其他情形亦然。这 2 种情况都需要进行选举产生簇头车辆。

3.2 簇头选举和维护

3.2.1 簇头选举原则

在本系统中，依车载通信终端进行簇头选举时的优先级 P_i 为：卫星通信终端、地面通信终端、车联网通信终端。若一辆车上同时装备多种通信终端则以优先级最高的为准。在簇头选举时做如下假设：①每辆车都拥有一个全网唯一的 ID 号；②每辆车上都装备了 GPS 或其他卫星定位设备，可以通过周期性采集位置信息计算出其速度大小和方向；③网络中每辆车的最大速度大小为 V_{max} 。

若簇的范围过小，簇头车辆的数目就会增加，网络中的孤立车辆也会变多；若簇的范围过大，簇成员车辆数量就会增加，簇头车辆的负担也会增大，从而使簇内通信代价变大，同时簇头车辆与邻居簇头之间的通信跳数也会增加。因此，对分簇的大小需要有一定的约束，在本文中，设每个簇中簇成员车辆与簇头车辆之间的最大跳数为 k ，每个簇中簇成员车辆数最大为 N_{max} 。

在荒漠环境中，车辆的运动方向是不规则的。若簇头车辆与簇内大部分车辆的运动方向相反或相差较大，将会导致簇成员车辆很快离开本簇范围加入其他簇，这样就会增加簇维护开销。因此，在选取簇头时需要将车辆的运动方向考虑在内，尽量选择与大部分车辆行驶方向相近的车为簇头。同时车辆的速度大小也是重要的考虑因素，为了避免频繁的簇结构变化，成为簇头的车辆应该是那些运动速率相对较低的车辆。基于上述考虑，将每辆车成为簇头车辆的权值表示为

$$W_i = a \times \frac{N_i}{N_{max}} + b \times \frac{\sum_{j \in \Phi_i} \bar{V}_i \bar{V}_j}{N_i} + c \times \frac{V_{max} - |\bar{V}_i|}{V_{max}} \quad (1)$$

$$N_i = \begin{cases} N_i, N_i < N_{max} \\ N_{max}, N_i \geq N_{max} \end{cases} \quad (2)$$

其中， N_i 为车辆 I 在 k 跳范围内的邻居车辆数， N_{max} 为本文限定的每个簇中最大的簇成员数， \bar{V}_i 为车辆 I 的车速， \bar{V}_j 为车辆 I 的 k 跳范围内的邻居车辆 J 的车速， V_{max} 为本文限定的车辆的最高速度， Φ_i 为车辆 I 的 k 跳邻居车辆集合， a 、 b 与 c 均在 0 与 1 之间取值，且其关系为

$$a + b + c = 1 \quad (3)$$

在逻辑结构中，簇头与邻居簇头之间可以直接通信，但在物理结构中邻居簇头车辆并不一定在本簇头车辆的通信范围之内，需要借助簇成员车辆的转发才行。因此，在分簇过程中不仅需要选举出簇头车辆，还需要产生出边界车辆，相邻簇间的通信将经由边界车辆。如图 4 所示，在由簇头车辆 B1、C1 形成的 2 个相邻簇中，A6、A7 即为它们的边界车辆，B1 与 C1 间的通信需由它们转发。

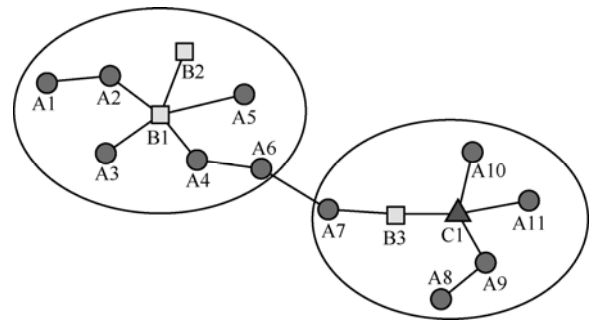


图 4 相邻簇间通信的物理链路

3.2.2 簇头选举过程

簇头选举过程具体如下。

1) 每辆车周期性地广播 HELLO (msg, hop_cnt) 消息并转发其他车辆的 HELLO 消息，以此获得其 k 跳范围内所有邻居车辆的信息。其中，msg 为本车的基本信息，包括 ID 号、簇头选举优先级 Prior、位置信息 loc、速度 \bar{V} ；hop_cnt 为跳数，在广播消息时将其置 0。每辆车在接收到其他车辆的 HELLO 消息后将 msg 信息保存，然后判断 hop_cnt，如为 k 则不再做任何处理，否则将 hop_cnt 值加 1 后转发。经过一段时间的交互后，每辆车都收集了其 k 跳范围内的邻居车辆信息。

2) 收集完信息后，每辆车根据式(1)计算自己的 W_i 值。若

$$P_i > P_j, \quad \forall_j \in \Phi_i \quad (4)$$

$$\begin{cases} P_i \geq P_j, \forall_j \in \Phi_i \\ W_i > W_j, \forall_j \in \Phi_i \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} P_i \geq P_j, \forall_j \in \Phi_i \\ W_i \geq W_j, \forall_j \in \Phi_i \\ N_{ID-i} < N_{ID-j}, \forall_j \in \Phi_i \end{cases} \quad (6)$$

中任一满足车辆 I 时，则它将自己升级为簇头车辆。其中： P_i 为车辆 I 的优先级， N_{ID-i} 为车辆 I 的 ID 编号。即 k 跳内优先级最高的车辆成为簇头车辆；若有优先级相同的则 W_i 值高的成为簇头车辆；若仍有相同的则 ID 号小的成为簇头车辆。

3) 车辆升级为簇头车辆后向外广播簇头消息 HEAD (CluID, head_msg, way_car, hop_cnt)，其中，CluID 为簇标号，head_msg 为簇头车辆信息，way_car 为经过的路由车辆信息，hop_cnt 为跳数。在初始发送时 way_car 设置为空，hop_cnt 设为 0。

收到 HEAD 消息的车辆将所有信息保存下来，然后判断 hop_cnt 的值，若为 k ，则不做任何处理；否则将本车的 msg 信息加入 way_car 中，将 hop_cnt 值加 1 后转发。

当收到同一 CluID 的多个消息时，判断它们的 hop_cnt 值，保留 hop_cnt 值小的信息。

当收到来自不同 CluID 的消息时，分析 head_msg 中簇头车辆的信息，保留优先级高的；若优先级相同，保留 hop_cnt 值小的；若仍有相同，则比较 head_msg 的速度信息，保留运动方向最接近的信息。

4) 车辆向第 3) 步中选出的簇头车辆发送入簇申请消息 APPLY (CluID, msg, way_car, hop_cnt)，其中，CluID 为簇标号，msg 为本车信息，way_car 为路由车辆信息，hop_cnt 为跳数。收到 APPLY 消息的其他车辆将自己的 msg 信息加入 way_car 中，将 hop_cnt 值加 1 后向簇头车辆转发。

5) 簇头车辆收到 APPLY 消息后，判断本簇成员数量是否小于 N_{max} ，如果小于则将该成员车辆的 msg 信息及 hop_cnt 保存至成员列表中，同时回发 ACCP 消息；否则直接回发 RFUS 消息拒绝加入。

6) 车辆收到簇头回复的 ACCP 消息后确认自己成功入簇，广播 MEMR (CluID, msg, way_car, dis_cnt, hop_cnt) 消息，不再参与分簇过程。其中，dis_cnt 为其距簇头车辆的跳数。

重复该过程直至所有的车辆都成为簇头或簇成员车辆。

分簇结束后，每辆车根据第 6) 收到的 MEMR 消息判断自己的一跳邻居节点中是否有其他簇的成员，如果有则将自己升级为边界车辆，同时向所在簇簇头车辆发送 BUND (msg, way_car, dis_cnt, hop_cnt) 消息。

3.2.3 簇的维护

分簇过程结束后，由于车辆的运动会造成簇结构的变化，因此需要不断对簇结构进行维护，直至车辆退出网络或网络消亡。

维护过程主要通过周期性检查邻居车辆列表和邻居簇列表状态实现，当普通簇成员车辆离开所在簇和加入新簇时并不会对簇结构产生影响，仅需在簇头车辆中修改簇成员列表即可。当边界车辆离开所在簇时，簇头车辆需重新选择新的边界车辆，选择条件与分簇过程中类似。当两辆簇头车辆由于运动靠近时导致簇的融合，此时会触发簇头竞争，竞争选举的条件与分簇过程中类似，竞争失败的簇头车辆发送簇消亡消息通知本簇成员更新簇头。当簇头车辆由于故障等失效时，簇内成员会重新选举产生新的簇头，选举过程与分簇过程中一致。

4 基于分簇的网络路由协议

将车联网的通信分为网内车辆间和网中车辆与外界 2 种情况，而前者又可分为同簇和不同簇间 2 种情况，为此提出一种基于分簇的 VANET 路由协议 (CBVRP, cluster based VANET routing protocol)，为便于比较，又将其称为 CBVRP 算法。下面分别对车联网的 3 种通信情况讨论该算法。

4.1 簇内路由

当簇成员车辆需要通信时，首先向本簇簇头车辆发出申请，簇头车辆收到申请后判断是网内通信请求，便首先在本簇簇成员列表中寻找目的车辆，若找到就根据存储的簇成员位置信息为源车辆和目的车辆选择一条最佳路由。若该路由需经过簇头车辆转发 (如图 4 中的 A1 车与 A4 车之间的通信)，则簇头车辆将路由申请转发至目的车辆；否则将最佳路由发至源车辆，源车辆与目的车辆间通过该路由进行通信，例如图 4 中的 A1 车与 A3 车，可直接经过 A2 车的转发进行通信而无需通过簇头车辆。

假设自组网中每辆车的位置可以用坐标 (x,y) 表示，则簇头车辆为车辆 I (x_i,y_i) 选择其下一跳车辆 J (x_j,y_j) 的标准为

$$\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq L \quad (7)$$

$$\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} > \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \quad (8)$$

$$\sqrt{(x_d - x_j)^2 + (y_d - y_j)^2} < \sqrt{(x_d - x_k)^2 + (y_d - y_k)^2} \quad (9)$$

式中： L 为车辆的通信距离， (x_d, y_d) 为目的车辆的位置， (x_k, y_k) 为满足式(7)的任意车辆的位置。

4.2 簇间路由

当簇头车辆在本簇成员列表中寻找不到目的车辆时，便向邻居簇头发起路由请求 RREQ 并等待路由响应，如果在等待时间阈值 t_r 内还未收到路由响应便重新发送 RREQ，若重发次数超过最大重发限制 r_{max} 则结束路由寻找过程，如图 5(a)所示。

邻居簇头的路由获取过程如图 5(b)所示。为减

少网络中的信息拥堵，并非所有收到 RREQ 的邻居簇都进行处理，只有那些位于路由请求簇头车辆下游处的邻居簇头车辆才会参与路由寻找的过程。此处下游簇头是指比请求簇头距目的车辆的距离更近的簇头车辆。

因此邻居簇头在收到 RREQ 消息后首先判断自己是否位于请求簇头的下游，若不是则抛弃该请求，否则进行如下处理。

- 1) 检查是否曾经收到过该请求，若收到则抛弃不继续处理。
- 2) 检查目的车辆是否在本簇，若不在则转至 4)。
- 3) 向目的车辆转发路由申请并等待目的车辆的 路由响应 RREP，同时转至 5)。

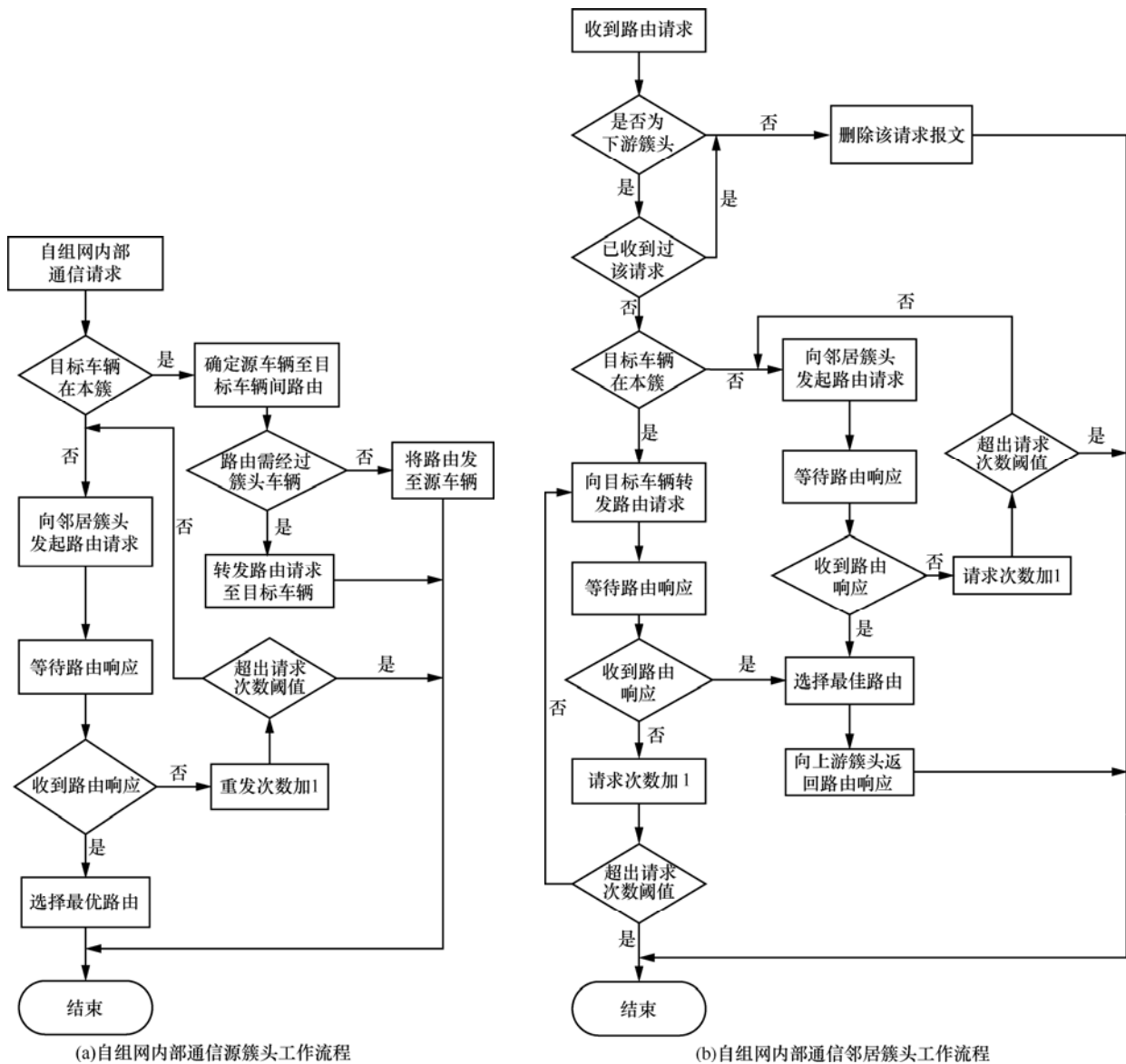


图 5 车辆自组网内部通信路由获取流程

4) 将自己的 msg 信息添加至 REEQ 消息中, 并将该消息继续向自己下游的邻居簇头转发并等待下游的路由响应。

5) 若等待时间 t_r 到达后若仍未收到路由响应则将重发次数加 1, 否则转至 7)。

6) 若超过重发次数限制 r_{max} , 则结束路由请求过程; 否则根据目的车辆是否在本簇中选择转至 3) 或 4)。

7) 若收到多个路由响应, 则从中选择一个距目的车辆跳数最少的路由并将自己的 msg 信息添加至 RREP 消息, 同时将该消息转发至上游簇头车辆。

如果路由请求失败, 可能是由于目的车辆所在簇与源车辆所在簇相距较远, 无法仅通过车联网通信终端建立路由, 此时可通过卫星通信终端或地面移动通信终端发起跨地区的路由寻找。如果仍然找不到, 则发送 REER 通知源车辆路由寻找失败。

4.3 簇成员与外界通信

在本文给出的车联网模型中, 仅有装备卫星通信设备的 C、D 类车可以始终与外界进行通信; 在可以连接地面公共通信网络时, B 类亦然, 而 D 类亦优先使用地面公共通信网络。因此, 如果需要与外界通信的簇成员车辆 (即源车辆) 是这 3 类中的一种, 则最佳情况是可使用地面公共通信网络进行直接通信, 而当没有地面公共通信网络可供使用时 C、D 类将通过卫星进行通信。否则, 源车辆需要发起路由寻找, 通过其他车辆的转发而建立与外界的路由。这种情况下源簇头车辆和邻居簇头车辆的路由获取过程相同。该路由寻找过程相当于在网络中泛洪寻找可以建链的 B、C、D 类车辆, 因此所有的邻居簇头车辆均需参与路由寻找。

收到外界通信请求的簇头车辆将进行如下处理。

1) 检查是否曾经收到过该请求, 若收到则抛弃不继续处理。

2) 检查自己装备的通信终端, 若簇头车辆自己为 A 类车, 则转至 5)。

3) 检查自己车辆上的地面移动通信终端是否可用, 如果可以转至 9)。

4) 检查本簇中是否有空闲可用的 B、D 类车, 如果有向它们转发路由申请并等待响应, 且转至 6)。

5) 向邻居簇头车辆转发路由申请并等待响应。

6) 若等待时间 t_r 到达后若仍未收到路由响应则将重发次数加 1, 否则转至 8)。

7) 若超过重发次数限制 r_{max} , 则结束路由请求

过程; 否则根据本簇内 B、D 类车情况选择转至 4) 或 5)。

8) 若收到多个路由响应, 则从中选择一个距源车辆跳数最少的路由响应。

9) 将本车的 msg 信息加入到路由响应中并向源车辆发送该路由响应。

若在该过程中未找到可用的装备地面移动通信终端的车辆, 则源车辆发起对装备卫星通信终端车辆的寻找, 寻找过程与上述类似。如果仍未找到则返回 REER 表明无法与外界进行通信。

4.4 路由维护

当路由建立后由于车辆的运动可能导致路由的断链, 此时, 断开处的车辆会暂时存储信息并以自己为源车辆向目的车辆重新发起路由申请, 如路由建立成功则将信息发送至目的车辆, 否则向源车辆发送传输失败信息, 由源车辆重新建立到目的车辆的路由。

5 仿真与结果分析

本节通过仿真将本文提出的 CBVRP 算法和 CBRP 算法进行性能比较。仿真中假设场景中每辆车的初始位置是随机的, 初始速度大小和方向也是随机的, 同时车辆的运动模型为随机运动模型, 即在到达目的点后不停留就立刻以一个新的随机大小和方向的速度向下一个目的点运动。仿真的场景参数如表 1 所示。CBVRP 算法中的系数设置为: 簇成员与簇头间最大跳数 $k=2$, 一个簇中的最大簇成员数 $N_{max}=10$, 簇头选举中权重 $a=0.4$ 、 $b=0.3$ 、 $c=0.3$ 。

表 1 仿真场景参数

场景参数	参数值
网络规模	3 000m×3 000m
通信范围	300m
数据分组长度	512byte
车辆数目	20~200
B、C、D 类车比例	15%、10%、5%

本节中仿真的性能指标如下。

1) 簇结构稳定性: 网络中簇结构的稳定程度, 可通过网络中簇结构的重组次数衡量, 重组次数越低网络中簇结构越稳定。

2) 数据传输成功率: 目的车辆收到的数据分组与源车辆发送的数据分组之比。

3) 路由开销: 网络中总路由分组大小与成功发送的总数据分组大小之比。

图 6 所示为网络中车辆数 100 时, 车辆自组网中簇结构重组次数随时间的变化情况。由图可见, CBRP 的簇结构稳定性较差, 这是因为 CBRP 算法中仅仅以车辆的 ID 号为依据进行簇头选举, 选举 ID 最小的簇头, 在车辆高速运动的情况下会导致簇头的频繁冲突变化, 而 CBVRP 在簇头选举时增加了对车辆移动性和邻居车辆数量的考虑, 降低了簇结构变化的可能, 因此具有较高的稳定性。

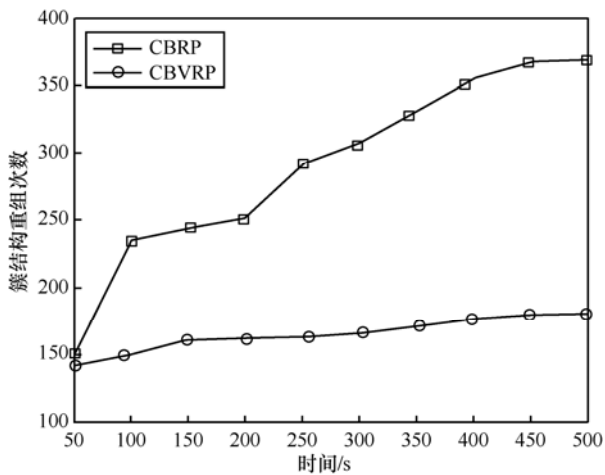


图 6 簇结构重组次数随时间变化关系

当网络中的车辆数从 20 变化至 200 时, 网络中数据传输成功率与车辆数的关系如图 7 所示。由图可见, CBVRP 的数据传输成功率比 CBRP 要高, 这也是因为 CBRP 产生的簇结构不稳定重新分簇频繁导致的。从图中还可以看出, 在车辆数较少时 2 种算法的数据传输成功率都较低, 这是由于在仿真

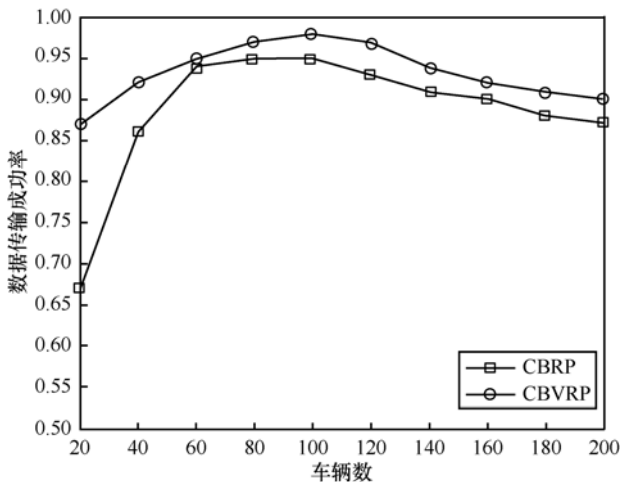


图 7 数据传输成功率与车辆数关系

中假设车辆在环境中的位置和运动都是随机的, 在车辆较少时, 会出现车辆分布较远超出其通信范围的情况, 因此会增加分组丢失率。但在本文提出的 CBVRP 算法中引入了卫星和地面移动通信终端的帮助, 在车辆间无法直接通信时可以通过卫星和地面移动装置取得联系, 因此还是可以获得相对较高的数据传输成功率。在车辆数较多的情况下, 2 种算法的传输率也呈现下降的趋势, 这是因为随着车辆数的增加, 路由的平均跳数增多, 路由情况变得复杂, 导致分组丢失情况也就随之变多。

图 8 所示为路由开销随车辆数变化关系。在车辆数增加的情况下 CBVRP 和 CBRP 的路由开销都变大, 这是因为车辆数的增加使得平均路由跳数增多, 路由拥塞情况增多, 路由情况变得复杂, 因此路由控制报文增多导致了路由开销的增加。在车辆数较少时, CBVRP 的路由开销比 CBRP 大, 这是因为 CBVRP 算法比 CBRP 复杂, 交互信息较多增加了路由开销, 但在车辆数增加时这一影响变小。同时由于 CBRP 在路由发现时采用的是“泛洪”的方式, 而 CBVRP 在簇头转发时考虑了车辆的位置情况, 仅在请求簇头车辆下游的簇头车辆才会参与路由过程, 因此 CBVRP 的路由开销要比 CBRP 小。

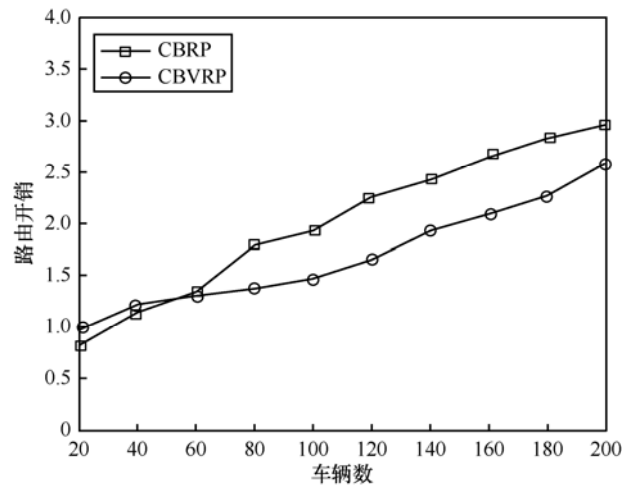


图 8 路由开销与车辆数关系

6 结束语

本文提出一种适用于沙漠、戈壁等荒漠场景的车联网结构及其分簇和路由算法 CBVRP。算法根据网络中车辆所装备的通信终端类型和车辆定时发出的位置、速度和行驶方向等信息对车辆进行分簇并划为 4 种类型; 在簇内通信和簇间通信时, 簇

头车辆为簇成员车辆选择最合适的路由；在与外界通信时，簇头车辆为簇成员车辆泛洪寻找能够建立与外部通信的车辆，即首先选择最近且可与外部联接的地面移动通信终端车辆进行转发，在没有地面公共通信系统可供使用时则选择最近的装备有卫星通信终端的车辆。仿真结果表明，该算法与传统的分簇路由算法相比，具有更高的簇结构稳定性、更高的数据传输成功率以及更低的路由开销。

参考文献：

- [1] ZHANG W, CHEN Y, YANG Y, *et al.* Multi-hop connectivity probability in infrastructure-based vehicular networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2012, 30(4): 740-747.
- [2] YU B, XU C, GUO M. Adaptive forwarding delay control for VANET data aggregation[J]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2012, 23(1): 11-18.
- [3] MA X, ZHANG J, YIN X, *et al.* Design and analysis of a robust broadcast scheme for VANET safety-related service[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2012, 61(1): 46-61.
- [4] 吴怡, 沈连丰, 邵震洪等. 基于探测信息的车辆自组织网络功率控制算法[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2011, 41(4): 659-664.
WU Y, SHEN L F, SHAO Z H, *et al.* Power control algorithm based on probe message in vehicular ad hoc network[J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2011, 41(4): 659-664.
- [5] NZOUONTA J, RAJGURE N, WANG G, *et al.* VANET routing on city roads using real-time vehicular traffic information[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(7): 3609-3626.
- [6] WANG W, XIE F, CHATTERJEE M. Small-scale and large-scale routing in vehicular ad hoc networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(9): 5200-5213.
- [7] SALEET H, LANGAR R, NAIK K, *et al.* Intersection-based geographical routing protocol for VANETs: a proposal and analysis[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2011, 60(9): 4560-4575.
- [8] 吴怡, 杨琼, 吴庆祥等. 一种基于自组织映射神经网络的VANET组网算法[J]. *通信学报*, 2011, 32(12): 136-145.
WU Y, YANG Q, WU Q X, *et al.* A networking algorithm based on self-organizing map neural network for VANET[J]. *Journal on Communications*, 2011, 32(12): 136-145.
- [9] SONG T, XIA W, SONG T, *et al.* A cluster-based directional routing protocol in VANET[A]. *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Communication Technology[C]*. 2010. 1172-1175.
- [10] LI Y, ZHAO M, WANG W. Intermittently connected vehicle-to-vehicle networks: detection and analysis[A]. *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011)[C]*. 2011. 1-6.
- [11] CHENG S, HORNG G, CHOU C. Using cellular automata to form car society in vehicular ad hoc networks[J]. *IEEE Transactions on*

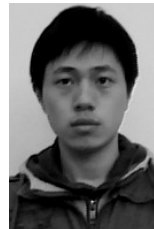
Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(4): 1374-1384.

- [12] BENSLIMANE A, TALEB T, SIVARAJ R. Dynamic clustering-based adaptive mobile gateway management in integrated VANET-3G heterogeneous wireless networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2011, 29(3): 559-570.
- [13] LAI Y, LIN P, LIAO W, *et al.* A region-based clustering mechanism for channel access in vehicular ad hoc networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2011, 29(1): 83-93.

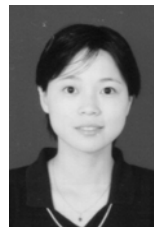
作者简介：



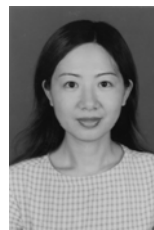
默罕莫德·默森(1974-), 男, 也门共和国人, 东南大学博士生, 主要研究方向为车联网、自组织网络、短距离无线通信。



许凯凯(1988-), 男, 江苏常州人, 东南大学硕士生, 主要研究方向为车辆自组织网络。



夏玮玮(1975-), 女, 江苏句容人, 博士, 东南大学副研究员, 主要研究方向为无线网络资源管理和性能评估、无线自组织网络等。



吴怡(1970-), 女, 辽宁葫芦岛人, 东南大学博士生, 主要研究方向为无线自组织网络、网络编码等。



沈连丰(1952-), 男, 江苏邳州人, 东南大学教授、博士生导师, 主要研究方向为移动互联网、移动自组织网络、短距离无线通信与泛在网络等。