



引用格式: 葛家丽, 吕文红, 付守艳, 等. 基于车辆簇的高速公路路侧单元部署研究[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(22): 9222-9228

Ge Jiali, Lü Wenhong, Fu Shouyan, et al. Highway road side unit deployment based on vehicle clusters[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(22): 9222-9228

基于车辆簇的高速公路路侧单元部署研究

葛家丽, 吕文红*, 付守艳, 屈衍玺

(山东科技大学交通学院, 青岛 266590)

摘 要 路侧单元部署受道路环境特点、车流特性和部署成本等因素影响。在研究单向四车道高速公路道路的路侧单元部署策略时, 为了保证部署网络可靠性并降低部署成本, 首先基于高速公路道路环境特点和车辆特性, 提出了一种改进 K -means 车辆聚类算法, 并从网络剩余能量、存活节点数和端到端时延三个方面与经典 K -means 算法进行比较, 验证结果表明, 提出改进算法性能更优; 然后提出研究采用的路侧单元均匀部署方案; 最后进行路侧单元部署研究: 通过 MATLAB 软件, 分析车辆密度与路侧单元通信半径、车辆连通率和平均车辆簇长度之间的关系, 确定最佳路侧单元部署间隔和通信半径, 从而为高速公路部署路侧单元提供依据。

关键词 智能交通; 路侧单元部署; 改进 K -means 聚类算法; 车辆簇; 车辆自组织网络; 连通率

中图法分类号 U491.8;

文献标志码 A

Highway Road Side Unit Deployment Based on Vehicle Clusters

GE Jia-li, LÜ Wen-hong*, FU Shou-yan, QU Yan-xi

(College of Transportation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

[Abstract] Road side unit (RSU) deployment is affected by road environment characteristics, traffic flow characteristics and costs, et al. The RSU deployment strategy of one-way four-lane highways was selected as the research object. An improved K -means vehicle clustering algorithm based on highway environment characteristics and vehicle characteristics was proposed to ensure the reliability of the network and reduce RSU deployment cost. In addition, three aspects of network residual energy, number of nodes alive and end-to-end delay of the improved K -means clustering algorithm were compared with that of the classic K -means algorithm. The results show that the proposed algorithm has better performance. Then, the RSU deployment scheme adopted in this research was put forward. Finally, the RSU deployment was studied by analyzing the relationship among vehicle density, RSU communication radius, vehicle connectivity rate and RSU deployment interval through MATLAB. The best RSU deployment interval and communication radius was identified, which could provide a basis for highway RSU deployment.

[Key words] intelligent transportation; road side unit deployment; improved K -means clustering algorithm; vehicle cluster; vehicular ad-hoc network; connectivity

路侧单元(road side unit, RSU)是车辆自组织网络(vehicular ad-hoc network, VANET)中必不可少的组成部分。RSU 的主要功能是与车辆信息交互, 为驾驶决策提供信息支持。随着智能交通系统(intelligent traffic system, ITS)的发展, RSU 研究受到越来越广泛的关注, 除了 RSU 功能外, RSU 部署也成为研究热点。从部署场景角度, 可以分为城市环境和高速公路环境。从性能需求角度, 可分为最小成本部署、最大覆盖率部署、最短通信时延部署、最大吞吐量部署以及最高连通性部署等, 目标是确定 RSU 部署位置、部署数量和部署间隔等。从分析影响因素角度, 可分为考虑行车轨迹、通信方式和车辆簇

特性等一种或几种影响因素。考虑车辆簇特性可以有效降低 RSU 部署成本, 保障信息传递安全性和时效性。现有的车辆聚类方法有基于网络拓扑, 基于道路环境, 基于车流特性和基于聚类算法等。

Kim 等^[1]考虑了城市 VANET 下, 基于静态位置、移动但不可控车辆和移动且完全可控车辆三种不同部署方法的组合部署策略, 首先将城市地图抽象成网格图, 将部署问题转化为带有基数约束的预算最大覆盖问题(BMCP-CC), 通过多项式时间近似算法求解, 并与单一部署策略相比, 该算法覆盖范围更大, 部署成本更小。Silva 等^[2]提出一种基于部分移动信息的 RSU 部署算法(PMCP-b), 首先将道

收稿日期: 2020-02-04; 修订日期: 2020-02-14

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(71801144); 中国博士后科学基金(2019M652437); 山东省重点研发计划(2018GHY115022)

第一作者: 葛家丽(1993—), 女, 汉族, 山东临沂人, 硕士研究生。研究方向: 智能驾驶技术和智慧道路。E-mail: gejl3929@163.com。

* 通信作者: 吕文红(1968—), 女, 汉族, 山东济南人, 博士, 教授。研究方向: 交通规划和智慧交通。E-mail: zklwh@sdust.edu.cn。

路划分成相同大小的城市单元,通过相邻单元之间的迁移率来推断 RSU 的最优位置,并与不考虑车辆移动信息的部署策略(MCP-kp)和考虑全部车辆移动信息的部署策略(MCP-g)进行比较,结果表明,与 MCP-kp 相比,PMCP-b 覆盖率提高了 6.8%,与 MCP-g 相比,PMCP-b 覆盖率提高了 8.34%。Liu 等^[3]研究高速公路 VANET 环境中 RSU 部署问题,通过曲线拟合方法得到传输距离与连接概率簇之间的关系,推导出信息传输距离与时延的关系,分析最优 RSU 数与公路长度的关系。Wu 等^[4]研究高速公路多车道环境中 RSU 部署问题,考虑了直接通信和多跳通信两种通信模式,提出容量最大化部署策略(CMP),与均匀分布布置和热点布置相比,CMP 部署策略需要的 RSU 数量少,网络吞吐量更大。Zheng 等^[5]研究单向高速公路上单向出入口的双向连接问题,考虑车辆到达率、车速以及车辆通过出入口概率等因素,提出了连通性分析模型,基于该模型分析没有部署 RSU 和在出入口部署一个 RSU 时的网络连通性。丁正超等^[6]基于北京市路网地图和出租车移动轨迹数据,提出一种基于连接时长的 RSU 部署方案,并采用二进制粒子群算法求解,通过仿真与贪心算法相比较,车辆覆盖率和连接时长更优。奎晓燕等^[7]基于北京市的车载移动数据集,提出了综合考虑中心性和均匀性的 RSU 部署算法,以优化网络整体性能,以真实车载移动轨迹为基础的仿真实验结果表明,所提出的 RSU 部署算法可以有效提升网络性能。Ren 等^[8]针对城市场景提出了一种基于移动性和稳定性的聚类算法(MSCA),该算法利用了车辆移动方向、相对位置和链路寿命,通过更改车速和交通流量,评估 MSCA 算法的性能,评估结果表明,提出的算法平均簇头寿命和平均簇数方面性能更好。Dror 等^[9]提出了一种用于车辆自组织网络的分层聚类的算法(HCA),HCA 算法是一种快速的随机聚类 and 调度算法,处理信道访问并调度群集内的信息传输,并将该算法与 K-ConID 聚类算法进行比较,比较结果表明,该算法形成的车辆网络拓扑变化更稳定。Vodopivec 等^[10]、Bali 等^[11]、Cooper 等^[12]综述了大量 VANET 聚类算法,首先从不同角度,如网络拓扑、基础设施要求、节点移动性、车流密度、通信模式等,分别提出不同聚类算法分类方法,然后对每类算法进行详细描述,包括算法优缺点,现有解决方案和未来研究方向等。

本文基于经典 K-means 聚类算法,结合高速公路道路环境和车流特性,提出一种改进 K-means 聚类算法,基于该算法进行车辆聚类分析和 RSU 部署

研究。

1 高速公路环境分析

1.1 高速公路特征分析

相比普通道路,高速公路除了具备道路基本功能外,还具备其独特的特点,如:实行出入口控制,双向车流分隔行驶,基础设施、管理及服务完善,此外,高速公路的两个最大特点是车辆高速性和低密度性。根据《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》,高速公路车道设置明确的速度限制,最低时速为 60 km/h,最高时速为 120 km/h。当车速超过 100 km/h 时,应当与同车道的前车保持 100 m 以上的安全车距,车速低于 100 km/h 时,与同车道前车车距不得少于 50 m,这也保证了正常路况下高速公路的低密度性。

1.2 车辆特性分析

1.2.1 车流分析

根据调查研究结果可知,泊松分布适用于车流密度较低、车辆之间相互影响较小,且没有其他外界干扰因素的情况。因此,假设到达高速公路 RSU 附近的车辆数服从泊松分布,即在长度为 L 的路段上有 n 辆车的概率为

$$P(n, L) = \frac{(\lambda L)^n}{n!} e^{-\lambda L}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

式(1)中: λ 为车辆密度。则路段上的平均车辆节点数为

$$N = L\lambda \quad (2)$$

由于车辆到达服从泊松分布,车辆到达的时间间隔服从指数分布。假设车辆行驶速度相同,则车辆间的距离 x 也服从指数分布:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (3)$$

假设车辆通信覆盖范围为圆形,通信半径为 R_v ,如果车辆间能够通信,需满足车辆间距 x 小于车辆通信范围 R_v ,即 $x < R_v$,则车车通信概率为

$$P(x < R_v) = \int_0^{R_v} f(x) dx = 1 - e^{-\lambda R_v} \quad (4)$$

则车辆间不能通信(即 $x > R_v$)的概率为

$$P(x > R_v) = \int_{R_v}^{\infty} f(x) dx = e^{-\lambda R_v} \quad (5)$$

由于车辆间的距离分布是独立的,因此,当两辆车的车间距大于车辆通信半径,即 $x > R_v$ 时,能够车车通信的概率为

$$P_h(x > R_v) = (1 - e^{-\lambda R_v})^h \quad (6)$$

式(6)中: h 为两车之间能够车车通信的跳数。

1.2.2 车辆簇分析

考虑车辆簇后,由于车辆簇内每个节点均可获得簇头广播的信息,因此,车辆簇长度可以由簇内

车辆节点距离小于车辆通信半径的车辆间隔个数计算,则车辆簇内有 n 个车辆间隔的概率为

$$p(n) = (e^{-\lambda R_v})^2 (1 - e^{-\lambda R_v})^n \quad (7)$$

当 $x < R_v$ 时,车辆间隔的期望为

$$E(x | x < R_v) = \frac{\int_0^{R_v} x \lambda e^{-\lambda x} dx}{1 - e^{-\lambda R_v}} = \frac{1 - e^{-\lambda R_v} (\lambda R_v + 1)}{\lambda (1 - e^{-\lambda R_v})} \quad (8)$$

车辆簇长度期望值为

$$E(C) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n [p(i) \sum_{j=1}^i d_j]}{\sum_{i=1}^n p(i)} = \frac{1 - e^{-\lambda R_v} (\lambda R_v + 1)}{\lambda e^{-\lambda R_v} (1 - e^{-\lambda R_v})} \quad (9)$$

当 $x > R_v$ 时,车辆间隔的期望值为

$$E(x | x > R_v) = \frac{\int_{R_v}^{\infty} x \lambda e^{-\lambda x} dx}{e^{-\lambda R_v}} = R_v + \frac{1}{\lambda} \quad (10)$$

1.3 网络性能指标

1.3.1 网络剩余能量

网络节点在收发数据时需要消耗能量,当网络运行时间相同时,如果网络剩余能量越多,说明网络耗能越低,网络性能越好。

1.3.2 存活节点数

网络生命周期与网络能量损耗有关,也与网络节点分布情况有关,如果聚类效果不好,节点耗能不平衡,可能导致部分节点失效。因此,网络运行时间相同时,存活节点数越多,说明网络耗能越均衡,网络生命周期越长。

1.3.3 端到端时延

端到端时延是移动自组网中经常采用的一个网络性能度量参数,它指的是网络中应用层各节点平均的端到端时延。假设一组数据 P_i ,离开发送节点的时间为 T_{si} ,到达接收节点的时间为 T_{ri} ,则该组数据端到端时延为 $D = T_{ri} - T_{si}$,平均端到端时延为

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{ri} - T_{si})}{n} \quad (11)$$

1.3.4 连通率

网络连通率定义为高速公路路段内所有车辆均位于 RSU 通信范围内的概率。假设路段上有 N 辆车, M 个车辆簇,则该路段上车辆连通率为

$$p = \frac{\sum_{M=1}^{N-1} \sum_{m=1}^M p(m)}{N(N-1)} = \frac{2}{2}$$

$$\frac{1 - e^{-\lambda R_v} \left\{ N - 1 - \frac{1 - e^{-\lambda R_v}}{e^{-\lambda R_v}} [1 - (1 - e^{-\lambda R_v})^{N-1}] \right\}}{\frac{N(N-1)}{2}} \quad (12)$$

式(12)中: $N = \lambda L$ 。

2 车辆聚类算法原理

2.1 经典 K-means 聚类算法原理

在基于划分方式的聚类算法中, K-means 算法是一种最常用的聚类算法,经典 K-mean 算法思想如下:

Step 1 初始化: 从待分析的数据集中随机选择 k 个对象,作为要分成的 k 个簇的初始均值或聚类中心, c_1, c_2, \dots, c_k 。

Step 2 计算距离: 分别计算其余数据对象到 k 个聚类中心的距离。一般距离采用欧式距离计算:

$$d(u, c_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (u_j - c_{ij})^2} \quad (13)$$

式(13)中: u 表示数据对象集; c_i 表示第 i 个聚类中心; m 表示数据集 u 内有 m 个数据对象。

Step 3 成簇: 将数据对象分配到与其最近的聚类中心所在的簇中,如果数据对象到多个聚类中心的距离相等,则可划分到其任意簇中。

Step 4 更新簇头: 计算每个簇内所有数据对象的距离平均值,作为 k 个簇新的聚类中心,并计算准则函数值或记录迭代次数。一般准则函数采用平方误差函数:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in c_i} \|x - x_i\|^2 \quad (14)$$

式(14)中: E 表示所有数据对象的平均方差和; x_i 表示平均值。

Step 5 判断准则函数是否收敛或者是否达到设定的最大迭代次数 如果是,结束。否则返回 Step 2,直至聚类结束。

经典 K-means 算法是一种无监督学习的聚类算法,其优点有算法思想简单,运算效率高,适用于处理簇间区别较大的数据;缺点为在 K-means 算法中,初始聚类中心 k 是任意给定的,且 k 对结果影响较大,如果初始值选择不合适或选取异常节点,聚类结果误差较大。

2.2 改进 K-means 聚类算法原理

针对经典 K-means 算法存在的缺点及高速公路场景下车路通信特点,在经典 K-means 算法基础上,主要从以下两个方面进行改进。

2.2.1 考虑簇头与 RSU 的距离选择簇头

假设某个车辆节点 i 到 RSU 的距离为 d_i , RSU 通信半径为 R_u , 选择初始簇头和更新簇头时, 只有当车辆节点 i 满足约束条件式 (15) 时才能作为簇头, 否则, 视作簇内普通成员节点。

$$d_i < R_u \quad (15)$$

2.2.2 考虑簇头与 RSU 节点间的通信能量确定簇头数个数

RSU 中消耗能量的主要模块是无线通信模块。根据 RSU 到车辆节点之间的距离不同, 能量模型分别采用两种模型, 即自由空间 (free space, FS) 模型和多路径衰落 (multi-path fading, MP) 模型, 近距离采用自由空间模型, 远距离采用多路径衰落模型。

节点间的距离与能耗成正比, 根据两个节点之间的距离是否大于设定的阈值 d_0 来选择模型, 阈值 d_0 由 RSU 通信范围 R_u 和车辆通信范围 R_v 确定。当两节点间距离 $D(i, j) \geq d_0$ 时, 选择多路径衰落模型; 当 $D(i, j) < d_0$ 时, 选择自由空间模型。节点 i 传输 β bit 数据包到节点 j 所需要的能量损耗为

$$E_{tx}(i, j) = \begin{cases} [\alpha_{tx} + \varepsilon_{fs} D_2(i, j)] \beta, & D(i, j) < d_0 \\ [\alpha_{tx} + \varepsilon_{mp} D^4(i, j)] \beta, & D(i, j) \geq d_0 \end{cases} \quad (16)$$

式 (16) 中: ε_{fs} 为自由空间模型的电路耗能放大系数; ε_{mp} 为多路径衰减空间模型的放大系数; α_{tx} 为传输能量损耗, α_{rx} 为接收能量损耗。其中, 阈值 d_0 为

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \quad (17)$$

节点 j 接收 β bit 数据的能量损耗公式如下:

$$E_{rx}(j) = \alpha_{rx} \beta \quad (18)$$

改进 K-means 聚类算法流程图, 如图 1 所示。

3 高速公路路侧单元部署方案

假设两个 E_c 表示车辆簇长度, RSU 之间的距离为 L_{RSU} , RSU 与车辆簇之间会存在以下三种位置关系:

情况 1 当 $L_{RSU} > E_c + 2R_u$ 时, 位置关系如图 2 (a) 所示。

该部署场景下, 路侧单元部署间隔较大, 部署数量少, 成本低, 但是车辆簇可能同时与路侧单元 A、B 断开连接, 破坏网络连通性, 导致信息中断, 数据传递时延大幅度增加。

情况 2 当 $L_{RSU} < E_c + 2R_u$ 时, 位置关系如图 2 (b) 所示。

该部署场景下, 车辆簇始终与路侧单元 A、B 保持连接, 网络连通性强, 但需要部署大量 RSU, 部署

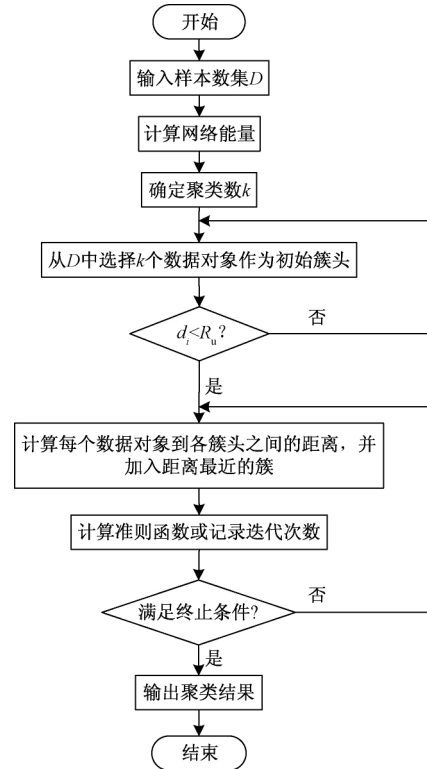


图 1 改进 K-means 聚类算法流程图

Fig. 1 Improved K-means clustering algorithm flowchart

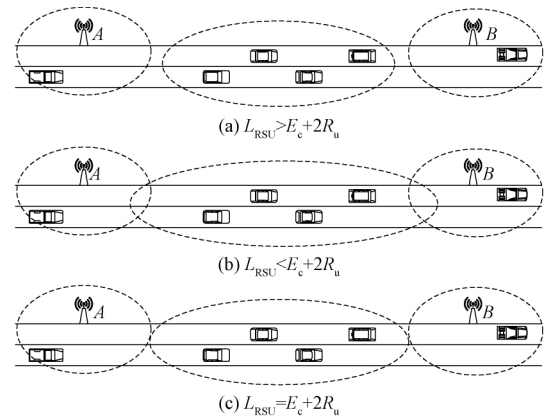


图 2 RSU 与车辆簇的位置关系

Fig. 2 Relative location among road side unit and vehicle cluster

成本较高。此外, 同一车辆可能同时接收多个 RSU 信息, 造成信息冗余或信号干扰等问题。

情况 3 当 $L_{RSU} = E_c + 2R_u$ 时, 位置关系如图 2 (c) 所示。

该部署场景下, 车辆簇在行驶过程中, 某一时间点上, 能且只能与一个 RSU 保持连接。与情况 1 和情况 2 相比, 情况 3 既能保证网络连通性, 又节省部署成本, 但难点在于如何确定合适的 RSU 部署间隔。因此, 研究基于情况 3 的部署场景, 研究车辆簇与 RSU 部署间隔之间的关系。

4 仿真结果分析

4.1 仿真场景及参数设置

选择高速公路单向四车道场景进行仿真。采用 MATLAB 进行仿真分析,道路、车辆及通信环境仿真参数设定如下:

4.1.1 道路参数设置

根据《公路工程技术标准》(JTG B01—2017),高速公路单向四车道宽度为 15 m,考虑现实情况中,设置应急车道及 RSU 安装可能距离路沿一定距离,因此设置仿真路宽为 20 m,其他详细道路环境仿真参数如表 1 所示。

表 1 道路环境仿真参数

Table 1 Road environment simulation parameters

参数	数值
仿真区域	1 500 m × 20 m
RSU 通信范围 R_u/m	200 ~ 500
RSU 部署位置	(500 0)

4.1.2 车辆参数设置

假设每辆车均具备无线通信功能,RSU 通信范围远大于高速公路车道宽度,因此,将车辆近似看作一维的直线运动。根据 1.1 节分析可以得出,高速公路单向四车道车辆正常行驶状态下,车辆数最多为 70 辆,设置通信半径 $R = R_u = R_v$,详细车辆参数设置见表 2 所示。

表 2 车辆仿真参数

Table 2 Vehicle simulation parameters

参数	数值
车速 $v/(m \cdot s^{-1})$	17 ~ 33
车辆数	10 ~ 70
车辆通信范围 R_v/m	200 ~ 500

4.1.3 通信环境参数设置

采用 IEEE 802.11p 通信协议,IEEE 802.11p 是专门针对智能交通中高速运动的车车之间以及车路之间的通信而制定的通信标准。详细通信环境参数设置见表 3 所示。

4.2 改进 K-means 聚类算法有效性分析

根据 2.2 节分析,高速公路车辆分布服从泊松分布,本研究采用 MATLAB 仿真软件进行车辆聚类分析,根据 4.1 节仿真场景参数设置,在 1 500 m × 20 m 的仿真路段区域内,以随机生成 20 个车辆节点为例,研究改进 K-means 聚类算法效果,车辆节点分布情况如图 3 所示。其中,横坐标是路段长度,纵坐标是路段宽度,RSU 坐标为(500 0)。

表 3 通信环境参数设置

Table 3 Communication environment parameter setting

项目	类型/数值
信道类型	WirelessChannel
网络接口类型	WirelessPhy
接口队列类型	PriQueue
链路层类型	LL
无线传输模型	TwoRayGround
路由类型	AODV
天线类型	OmniAntenna
传输协议	IEEE 802.11p
频段/GHz	5.8
数据流类型	CBR
用户数据报协议	UDP
数据传输速率 $/(Mbit \cdot s^{-1})$	2
带宽/Mbit	75
数据包大小/Bytes	1 000

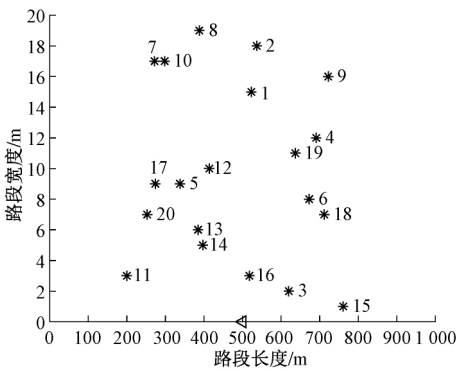


图 3 车辆节点分布

Fig. 3 Vehicle node distribution

4.2.1 簇头数与能量损耗关系

根据 2.2 节分析可知,每个簇中簇头能量消耗最高,因此如果簇头数量过多,网络耗能就会提高,造成能量浪费;如果簇头数量过少,会导致簇头节点通信负担重,节点易失效,网络生命周期短等问题。图 4 为 20 个车辆节点时,簇头数与能量损耗的关系,可以看出,当车辆 $N = 20$ 时,当 $k > 4$ 时,能量损耗较低。本研究取 $k = 4$ 时,比较经典 K-means 聚类算法和改进 K-means 聚类算法。

4.2.2 网络剩余能量

图 5 为网络剩余能量与周期数的关系,可知,当周期数相同时,采用改进 K-means 聚类算法的聚类网络剩余能量更多,说明改进后的聚类网络节点分布更合理,并且经典 K-means 聚类算法耗能更快,当周期数大于 200 时,网络耗能稳定。

4.2.3 存活节点数

图 6 为网络存活节点数与周期数的关系,可以看出与经典 K-means 算法相比,当周期数相同时,基于改进 K-means 聚类算法的聚类网络中存活节点数

更多,且经典 K -means 聚类算法节点死亡更快,说明基于改进 K -means 聚类算法的簇内节点分布更均衡。

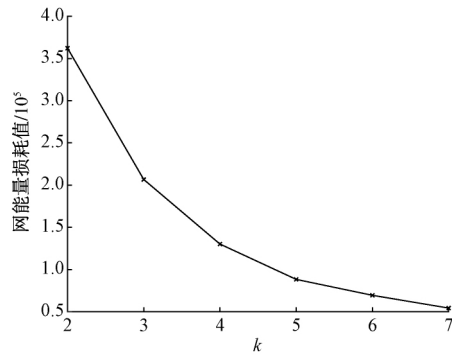


图4 能量损耗与簇头数的关系

Fig. 4 Relationship between energy loss and cluster heads

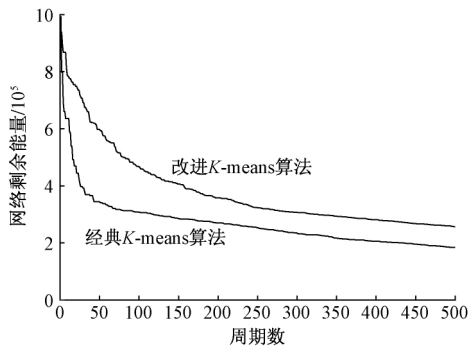


图5 网络剩余能量与周期数的关系

Fig. 5 Relationship between network residual energy and cycles

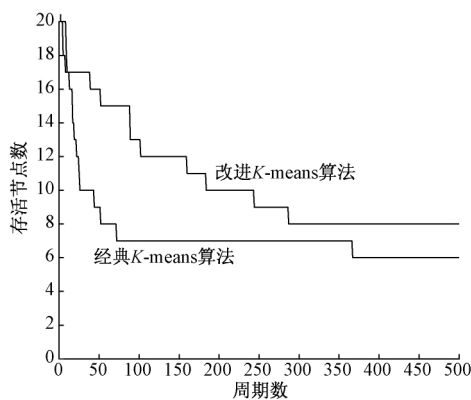


图6 网络存活节点数与周期数

Fig. 6 Relationship between number of nodes alive and cycles

4.2.4 端到端时延

端到端时延为RSU到簇头以及簇头到簇内所有节点信息传输的总时延。相同车流密度下,端到端时延越小,说明聚类越合理,网络通信效率越高。图7为20个车辆节点与1个RSU通信构成车路通信网络,网络运行周期数为500次后,得到的平均端到端时延。由图7可知,相同车辆密度情况下,基于

改进 K -means 聚类算法的网络端到端时延更小,且随着车辆密度增大,改进 K -means 聚类算法优势更明显。

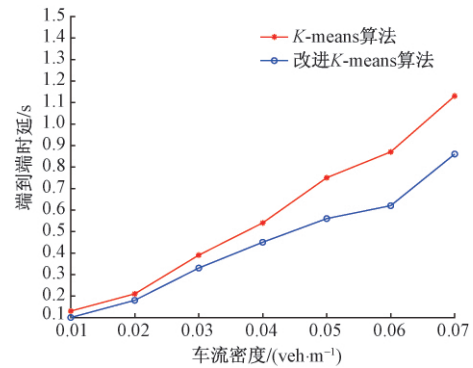


图7 车辆密度与端到端时延的关系

Fig. 7 Relationship between vehicle density and end-to-end delay

综上所述,改进 K -means 聚类算法比经典 K -means 聚类算法更适用于稀疏高速公路场景的车路协同网络,网络耗能更低,端到端时延更小,网络生命周期更长。

4.3 高速公路路侧单元部署分析

基于上述提出的改进 K -means 车辆聚类方法以及4.1节设置的仿真环境,研究RSU部署。

4.3.1 车辆密度与车辆连通率的关系

基于MATLAB软件,仿真1000次,得出网络连通率受车辆密度影响,如图8所示。由图8可知:①当通信半径相同时,车辆密度越高,车辆连通率越高,当通信半径 $R > 400$ m时,低车辆密度时网络连通率大于70%;②车辆密度相同时,通信半径越大,网络连通率越高,当车辆密度 $\lambda > 0.04$ veh/m且 $R > 200$ m时,网络连通率均大于80%。

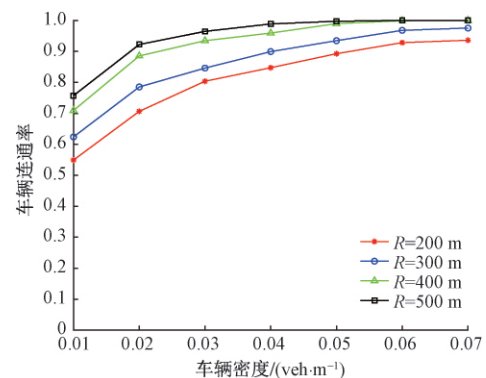


图8 车辆密度和网络连通率关系

Fig. 8 Relationship between vehicle density and vehicle connectivity

4.3.2 车辆密度与平均车辆簇长度关系

根据1.2节分析,仿真1000次,得出通信半

径 R 与车辆簇长度之间的关系,如图9所示。由图9可以看出:①平均车辆簇长度随着车辆密度的变化而变化,当车流密度相同时,通信半径越大,平均车辆簇长度越长;②通信半径相同时,车流密度越大,平均车辆簇长度越长,这也与实际情况相符。

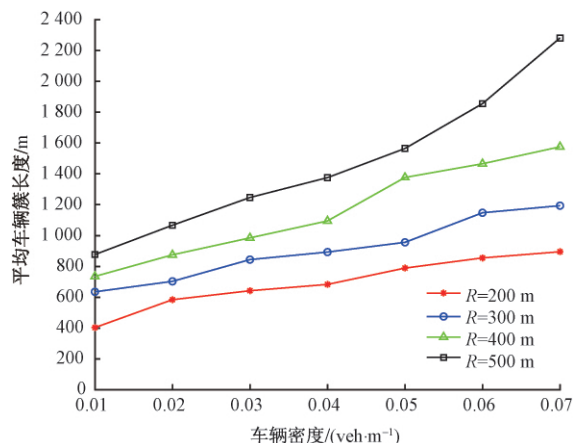


图9 车辆密度与平均车辆簇长度关系

Fig. 9 Relationship between vehicle density and average vehicle cluster length

根据第3节情况3可知:部署间隔为平均车辆簇长度加2个RSU通信半径 R ,即 $L_{\text{RSU}} = E_c + 2R$,因此,图9结果可以为高速公路部署RSU提供部署间隔依据。

5 结论

针对高速公路道路环境特点和车辆特性,提出了一种基于改进 K -means聚类算法的车辆聚类方法,并从网络剩余能量、存活节点数和端到端时延三个方面与经典 K -means算法进行比较,结果表明,研究提出的改进 K -means聚类算法网络耗能更小,节点聚类分布更均衡,网络端到端时延更小。然后基于提出改进 K -means聚类算法进行车辆聚类,并通过MATLAB软件仿真,分析RSU通信半径、车辆密度、车辆连通率、平均车辆簇长度之间的关系,从而得出RSU通信半径和部署间隔,可以为高速公路RSU部署提供依据。

参考文献

- Kim D, Velasco Y, Wei W, et al. A new comprehensive RSU installation strategy for cost-efficient VANET deployment[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, 66(5): 4200-4211.
- Silva C M, Aquino A L L, Meira W. Deployment of roadside units based on partial mobility information[J]. Computer Communications, 2015, 60: 28-39.
- Liu C Y, Huang H J, Du H W. Optimal RSUs deployment with delay bound along high-ways in VANET[J]. Journal of Combinatorial Optimization, 2017, 33(4): 1168-1182.
- Wu T J, Liao W J, Chang C J. A cost-effective strategy for road-side unit placement in vehicular networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2012, 60(8): 2295-2303.
- Zheng J, Wang Y. Connectivity analysis of vehicles moving on a highway with an entry and exit[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 65(5): 4476-4486.
- 丁正超,魏振春,冯琳. 车载自组织网络中基于连接时长的RSU部署方案[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 87-93.
Ding Zhengchao, Wei Zhenchun, Feng Lin. Deployment scheme of RSU based on connection time in VANET[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(4): 87-93.
- 奎晓燕,杜华坤,肖雪峰,等. 基于真实车载移动数据的RSU部署算法[J]. 北京邮电大学学报, 2015, 38(1): 114-118.
Kui Xiaoyan, Du Huakun, Xiao Xuefeng, et al. Realistic vehicular mobility trace driven RSU deployment scheme[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015, 38(1): 114-118.
- Ren M, Khoukhi L, Labiod H, et al. A new mobility-based clustering algorithm for vehicular ad hoc networks (VANETs)[C]//2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. Istanbul: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016, 1203-1208.
- Dror E, Avin C, Lotker Z. Fast randomized algorithm for hierarchical clustering in Vehicular Ad-Hoc Networks[C]//The 10th IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop. Sicily: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011: 1-8.
- Vodopivec S, Bester J, Kos A. A survey on clustering algorithms for vehicular ad-hoc networks[C]//35th International Conference on Telecommunications & Signal Processing. Prague: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012, 52-56.
- Bali R S, Kumar N, Rodrigues J J P C. Clustering in vehicular ad hoc networks: taxonomy, challenges and solutions[J]. Vehicular Communications, 2014, 1(3): 134-152.
- Cooper C, Franklin D, Ros M, et al. A Comparative survey of VANET clustering techniques[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 19(1): 657-681.