

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.02.010

基于小波蚊子的车联网性能评价方法

王莉莉¹, 陈国彬¹, 张广泉^{2,3}

(1. 重庆工商大学融智学院, 重庆 400033; 2. 苏州大学计算机科学与技术学院, 苏州 215006;
3. 中国科学院计算机科学国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 数据传输可靠性已成为车联网研究的热点问题, 首先给出了车辆之间数据传输可靠性的评价方法, 并结合小波变换和群蚊子算法对数据评估模型进行求解, 同时通过引入分类机制和决策权来引导搜索方向, 以此加快算法收敛速度. 最后利用仿真实验平台深入研究了影响该算法的关键因素, 并讨论了数据包大小、车辆间距、发送功率和车辆速度与数据成功发送率之间的关系. 与其他算法比较, 该算法显示出较好适应性.

关键词: 车联网; 数据传输; 可靠性; 小波变换; 群蚊子算法

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2018)02-0271-06

The performance evacuation model of car networking based on wavelet mosquito

WANG Li-Li¹, CHEN Guo-Bin¹, ZHANG Guang-Quan^{2,3}

(1. Rongzhi College, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400033, China;
2. Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;
3. Computer Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The reliability of data transmission has become a hot issue of car networking. The reliability method of data transmission between cars is proposed in this paper, and it is solved with wavelet transform and multi-mosquito algorithm. At the same time, the search direction is introduced by the allocation mechanism and decision-making power to guide, which is in order to accelerate the convergence speed of this algorithm. Finally, the simulation experiments are conducted to study the key influence factors, and the relationships between packet size, vehicle spacing, transmit power, vehicle speed and data success rate. Compared to other algorithm, the result shows that this algorithm has better adaptability.

Keywords: Car networking; Data transmission; Reliability; Wavelet transform; Multi-Mosquito algorithm

1 引言

随着无线通信技术的迅速发展, 车联网越来越引起人们重视^[1-3]. 车联网是基于电子识别、定位和无线通讯技术, 实现了人与车之间的通讯, 使得车

辆运营监控、车辆实时参数获取与分析、远程协助与诊断等. 通过车联网将各自独立车辆互相连接在一起, 收集并处理交通道路网络中每辆车的信息, 并实现信息的共享. 在公路网中, 车辆间及车辆与固定接入点之间相互通信, 组成一个自组织的、结

收稿日期: 2017-07-11

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2011152); 中国科学院计算机科学国家重点实验室开放课题(CSYSKF0908); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ133103)

作者简介: 王莉莉(1981-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为物联网.

通讯作者: 陈国彬. E-mail: Webster898@hainan.net

构开放的网络 VANET. 车联网主要分为三层结构,即感知层、无线传输层和应用服务层.

如何提高车联网的数据传输可靠性率已成为车载网络中一个非常重要可靠而又亟待解决的究问题^[4-6]. 对此,很多学者提出大量解决方案和模型. 文献[7-9]针对传统平面路由结构中的单径路由技术,采用层次化路由结构中的多径路由技术来实现数据的可靠通信(大量车辆节点的存在使源端车辆节点与目的端车辆节点之间通常遍布多条路径),提高车联网中数据分组传递的可靠性,减少数据分组传输的数量. 范存群等^[10]根据贝叶斯决策的垂直切换方法,利用接入网络的信号强度、传输速率、误码率和网络阻塞率以及车辆终端的速度和运动趋势建立多条件相关的切换概率分布,并通过贝叶斯决策算法来得到后验概率和决策分类选择最优网络接入. 刘建航等^[11]利用车联网通信特点简化选车行为空间以减少计算复杂度,均衡目标车享有协助下载服务的前提下,有效地提高用户数据下载总量. 刘业等^[12]通过分析推导了高速公路路段上任意两车之间的连通概率、连通集直径长度以及连通集数目等连通性模型参数指标与车辆密度及传输距离之间关系的数学解析式,并根据车联网报文存储转发的特点,建立了一种车联网的报文格式,从而有效地控制广播报文的泛滥情形. 陈丽等^[13]通过综合考虑 AP 覆盖范围内的资源分配与 Internet 链接空洞区域的传输调度,将整个链接空洞区域节点间链接的时空变化模型化为拓扑图序列,并提出结合链接空洞区域的传输调度的资源分配近似算法来解决内容下载的效率问题,用来扩展 AP 通信范围、填补 Internet 链接空洞的目的. 王洪波等^[14]为了解决传统 DS 证据理论在证据合成过程中存在冲突证据分配不合理、融合方法收敛效果差以及多 BBM 的证据推理等问题,提出了一种基于等距映射的证据推理方法并通过计算低维证据体相似度来实现对车联网中多 BBM 证据体的证据推理.

但是,目前关于公路车联网多任务协助下载过程中盲区时空资源利用率低、下载服务不均衡以及数据传输较慢等问题,仍然需要进一步解决. 本文首先给出了车联网数据传输可靠性评估模型,同时结合小波变换和群蚊子算法对数据评估模型进行求解,最后通过仿真实验验证改了该模型的有效性.

2 可靠性评估模型

假设所有车辆均搭载有 GPS 定位系统、前向和后向红外线雷达、红外线信号接收设备和无线信号收发设备. 但车载设备随车速高速移动,使得网络结构不断地变化,无线信号也随之变化,这就使得数据的传输变得不稳定. 这里将 GPS、红外线雷达和红外线信号获得的数据记为参照数据,将无线信号接收器接收的数据记为待检测的数据.

令随机变量 $D_i (i=1, 2, \dots, N-1)$ 为任意连续两车之间的距离, $P_r\{D_i < d\}$ 为两车之间距离小于 d 的概率,当连续两车之间的车距大于车辆的通信半径 R 时,则此两辆车之间的通信链接是断开的,即此两辆车不能相互进行通信,则此两辆车不能通信的概率为:

$$P(a) = P_r\{D > R\} = e^{-dR} \quad (1)$$

随机变量 j 表示在同一方向上行驶且不能相互通信的车辆的链接数,则 N 个车辆中有 j 个链接断开的概率 $P_c(j)$ 为

$$P_c(j) = C_N^{j-1} P_d^j (1 - P_d)^{N-1-j} \quad (2)$$

通过观察车辆获得多组参照数据,将观测车辆的速度与位置信息可表示为

$$V_l = V_i + V_x \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_c = x_r + x_x \\ y_c = y_r + y_x \end{cases} \quad (4)$$

其中, V_l 为雷达等设备检测到的观测车辆的速度; V_i 为观测车辆的实际速度; V_x 为车载设备计算的相对速度,与观测车辆行驶方向相同即为正,相反即为负; x_c 和 y_c 为车载设备收集到的被观测车辆的 x 与 y 的坐标; x_r 和 y_r 为被观测车辆 x 与 y 的真实坐标; x_x 和 y_x 为相对于 xy 轴的值. 将参照数据与观测数据进行对比,过滤掉虚假信息,计算其平均值如下式.

$$\begin{cases} \bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \\ \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (5)$$

$$V_k = \frac{nL}{t} \quad (6)$$

其中, V_k 为车辆的空间平均速度,即在某一固定距离内,所有这一距离车辆在这一距离内行驶所用的时间. 为了保障车联网中数据的可靠性,本文将建

立一种在车联网环境下的新的混合信任模型,在车联网中数据的传输采用的是无线信道传输,无线信道属于一种复杂的时变信道,接受信号的功率和信号之和.

$$P(r) = |r|^{-n} \cdot S(r) \cdot R^2(r) \quad (7)$$

$$r(t) = s(t) + d(t) + n(t) \quad (8)$$

其中, $|r|$ 是被观测车辆与观测站的距离; $|r|^{-n}$ 表示空间的传播损耗和弥散; n 属于 $[3, 4]$, $S(r)$ 表示地形起伏、建筑物及障碍物的遮蔽等引起的阴影衰落; $R(r)$ 表示多径衰落,它是由各种反射物产生的直射波、反射波的相互干扰和串扰; $r(t)$ 为接受信号; $s(t)$ 为射波信号; $d(t)$ 为散波信号; $n(t)$ 为高斯噪声. 当被观测车辆距离观测站较远时,方位角和幅度的概率密度函数分别满足下式.

$$P(\theta) = \frac{1}{2\pi}, 0 \leq \theta \leq 2\pi \quad (9)$$

$$P(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, r \geq 0 \quad (10)$$

其中, σ 为标准差.

业务信息以帧格式进行传输,因此影响数据传输的可靠性是误帧率而不是误码率. 所以可以通过检测编码、纠错编码,应答、重发机制来提高传输可靠性. 假定在距离无线信号发射点为 d 的位置上接收到的信号强度 p_r 为服从指数分布的随机变量, p_r 的概率密度函数 $f(p_r)$.

$$f(p_r) = \frac{\exp\left[-\frac{p_r}{E(p_r)}\right]}{E(p_r)} \quad (11)$$

$$E(p_r) = \frac{P_s G_s G_r \lambda_c^2}{16\pi^2 d^2} \quad (12)$$

$$\lambda_c = c \cdot \lambda^{-1} \quad (13)$$

其中, $E(p_r)$ 为信号强度 p_r 的均值; P_s 为发射信号的车辆的无线发送功率; G_s 、 G_r 分别为信号发送天线增益和信号接收天线增益; λ_c 为无线信号的点波波长; c 为光速; f 表示无线号发送频率; d 表示收发车辆之间的距离,同向为正,异向为负. 当车辆接收到的警告消息的信号强度大于最小信号接收强度 p_{\min} , 则该消息能解码成功并能获取真实的数据,否则丢弃该数据. 因而警告消息在车联网中成功传输即为被观测车辆接收到的信号强度大于最小信号强度 p_{\min} , 则定义 $P(d)$ 为消息传输可靠性的标准.

$$P(d) = P(p_r > p_{\min}) = 1 - P(p_r \leq p_{\min}) = 1 - \int_0^{p_{\min}} f(p_r) d(p_r) = \exp\left(-\frac{p_{\min}}{E(p_r)}\right) \quad (14)$$

$$P(d) = \exp\left(\frac{-16\pi^2 d^2 p_{\min}}{P_s G_s G_r \lambda_c^2}\right) = \exp(K \cdot F \cdot d^2) \quad (15)$$

$$K = -\frac{16\pi^2}{\lambda_c^2}, C = \frac{p_{\min}}{P_s} \quad (16)$$

在车联网中定义一个系统参数,即消息可靠传输阈值 P_{TH} ,其大小可随系统的需求而进行设定,为了保证数据传输的可靠性,任意两个相距为 d 的车辆进行数据的传输的成功概率都不能低于该阈值,即

$$P(d) \geq P_{TH} \quad (17)$$

3 求解方法

由于各种反射物产生的直射波、反射波的相互干扰和串扰,使得数据的传输可靠性降低,为了提高数据的传输可靠性,本文将结合小波变换和群蚊子算法来降低噪声的影响,进而提高数据传输的可靠性.

群蚊子追踪算法^[15]是一个具有高度并行且复杂度较低的智能算法,采用信息动力学方程,利用最大最小公平性进行搜索,引入分类机制对群体进行分类,利用决策权概念构造领导力函数来对搜索方向进行引导,这使得算法收敛速度更快、并行性更高且能够避免陷入局部最优解,将此算法与小波变换^[16, 17]结合能更好的解决无线网络中数据传输可靠性问题,具体算法流程如下.

(1) 假设在车联网无线网络中有 N 个网络节点,并且设每个蚊子群体所使用的变量与两个 $n \times n$ 的矩阵 Z 、 C 组成, Z 表示蚊子性别,对应数据链路中数据是否成功传输, $z_{ij} = 1$ 表示蚊子执行追踪行为,对应数据链路的 i 节点与 j 节点数据传输成功, $z_{ij} = 0$ 表示蚊子不执行追踪行为,对应数据链路的 i 节点与 j 节点数据传输失败. 在 N 个网络节点中,设信号 $X \in R^{N \times 1}$,若存在满足式(18)的正交矩阵 ψ ,则称 X 在正交矩阵 ψ 上是稀疏的.

$$X = \psi_a = \sum_{i=1}^N \psi_i a_i \quad (18)$$

其中, $\psi \in R^{N \times N}$ 称为稀疏矩阵; $a = \psi^T X \in R^{N \times 1}$ 为 X 在稀疏矩阵下的变换系数,向量 a 中只有 K 个非零元素,其中 K 远小于 N ,称为稀疏向量.

(2) 将 $N \times 1$ 个信号 X 进行单层小波分解,得到 $\{A_1(k), D_1(k)\}$ 两个小波带系数. 假定 f_k 为信号 $f(t)$ 的离散采样数据,则 $f(t)$ 的正交小波变换分解公式如下.

$$\begin{cases} cA_1(k) = \sum_n h_0(n-2k)cA_0(n) \\ cD_1(k) = \sum_n h_1(n-2k)cA_0(n) \end{cases} \quad (19)$$

(3) 保留低频带系数,选取 $M \times N/2$ 维的观测矩阵 D 对高频带系数 $D_1(k)$ 进行测量,其中 D 服从高斯分布;

(4) 利用小波变换算法进行重构.在离散小波中, $V_j = V_{j-1} + W_{j-1}$ 表示空间上的信号,对于每一个空间上的信号 X 表示如下.

$$X(t) = \sum_K cA_0(k)\varphi_j, k(t) = \sum_K cA_1(k)\varphi_j - 1, k(t) + \sum_K cD_1(k)\tau_{j-1}, k(t) \quad (20)$$

其中, $A_1(k)$ 和 $D_1(k)$ 为尺度度量空间 j 对 $A_0(k)$ 进行分解得到的在尺度度量空间 $j-1$ 的两个系数.此时传感矩阵为 D ,测量矩阵为 $D_1(k)$,稀疏度为 K ,初始化残差 $r_0 = D_1(k)$,索引集 A 不为空集, $t=1$,输出 $D_1(k)$ 的近似值.

(5) 根据式(19)和(20),将 $D_1(k)$ 近似值与 $A_1(k)$ 通过小波变换重构信号 X^* .

$$WT_{f(m,n)} = \langle f(t), \varphi_{m,n}(t) \rangle = 2^{-\frac{m}{2}} \int f(t)\varphi(2^{-m}t-n)dt \quad (21)$$

$$\varphi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} \varphi(2^{-m}t-n) \quad (22)$$

(6) 利用蚊子群体查出数据异常点.矩阵 C 表示宿主对蚊子的信号吸引力,对应数据传输过程中的收发信号, $c_{ij} = 1$ 表示收发信号正常,即数据正常传输, $c_{ij} = 0$ 表示收发信号弱,即数据传输异常,可能发生数据的丢失等.计算捕食群体的搜索方向.

$$\begin{aligned} \frac{dc_{ij}}{dt} &= \lambda_1 \frac{\partial u_{ij}(t)}{\partial c_{ij}(t)} + \lambda_2 \frac{\partial J(t)}{\partial c_{ij}(t)} - \lambda_3 \frac{\partial P(t)}{\partial c_{ij}(t)} - \lambda_4 \frac{\partial Q(t)}{\partial c_{ij}(t)} + \beta dc_{ij}(t-1) \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \frac{dr_{ij}}{dt} &= \lambda_1 \frac{\partial u_{ij}(t)}{\partial r_{ij}(t)} + \lambda_2 \frac{\partial J(t)}{\partial r_{ij}(t)} - \lambda_3 \frac{\partial P(t)}{\partial r_{ij}(t)} - \lambda_4 \frac{\partial Q(t)}{\partial r_{ij}(t)} + \beta dr_{ij}(t-1) \end{aligned} \quad (24)$$

$$f_{ij} = \exp(-c_{ij}(t) \cdot x_{ij}(t) \cdot \epsilon) \quad (25)$$

$$J(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}(t) \quad (26)$$

$$P(t) = \alpha^2 \ln \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \exp\left[-\frac{u_{ij}^2(t)}{2\alpha^2}\right] - \alpha^2 \ln nm \quad (27)$$

$$Q(t) = \sum_{j=1}^n \left| \sum_{i=1}^n \epsilon x_{ij}(t) - 2 \right|^2 -$$

$$\sum_{i,j} \int_0^{u_{ij}} \{ [1 + \exp(-10x)]^{-1} - 0.5 \} dx \quad (28)$$

其中, $u_{ij}(t)$ 为个体效用函数; $J(t)$ 为群体效用函数; $P(t)$ 为最大最小公平性效用函数; $Q(t)$ 为个体交互函数.

(7) 选取最佳方向,更新群体的值,计算各群体间的交互函数,若某群体之间能相互交互,则表示此两车辆之间能互相链接,将互相链接的车辆输出,计算消息可靠性.

(8) 结束算法.

4 仿真分析

为了简化模型使得研究更方便,假设所有车辆上装载的无线通信单元性能完全相同,即每辆车上的无线发射信号和无线接收信号增益相同且 $G_s = G_r = 1$,无线信号电波波长 $\lambda_c = 0.0502$ m,光速 $c = 3.0 \times 10^8$ m,无线信道的频率 $f = 5.902$ GHz,车辆无线通信最小信号接收强度 $p_{\min} = -82$ dBm,消息可靠传输阈值 $P_{TH} = 0.94$.本文在城市某路段进行数据采集(采集周期为 1 s),收集了这一路段上 1000 s 内的车辆位置信息,并将其转化为所需的相对速度.图 1 为给出了经过本文所提算法之后与实际数据采集结果的比较图.从图中可以看出,本文所提的算法对信号的处理拟合情况较好,通过算法进行去噪处理,使得传输信号更加清晰,本文所提的算法在一定程度上能提高数据传输的可靠性.

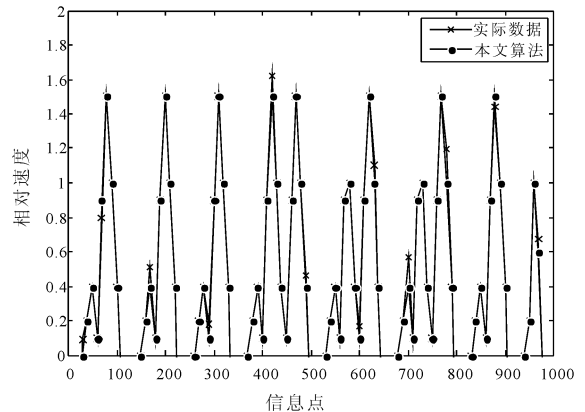


图 1 结果比较
Fig. 1 Results comparison

其次,图 2 描述的是数据包大小对数据传输成功率的影响,将遗传算法、小波变换和本文所提算法进行比较,从图 1 可以看出,本文所提算法的数据传输算法优于其它两种算法,数据包的大小对数据的传送是有明显的影响的,数据包越大,数据传

输的成功率就越低,为了提高车联网的数据传输可靠性,应考虑数据包的传送大小,选择适合数据包大小进行通信.

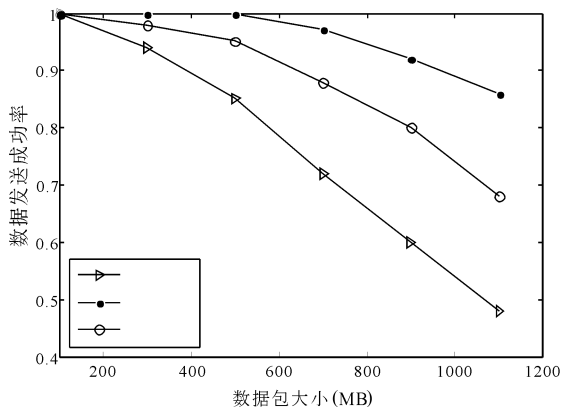


图 2 数据包大小对数据传输成功率的影响
Fig. 2 The effect of packet size on data success rate

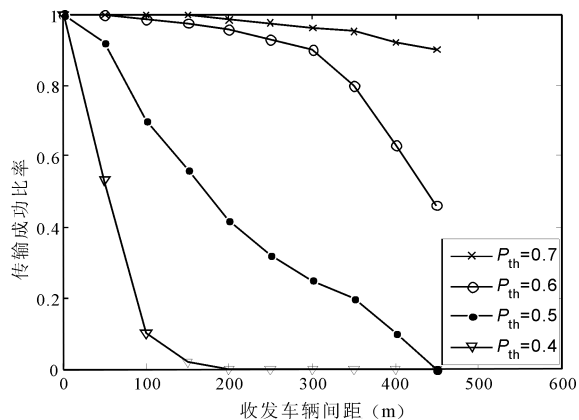


图 3 收发车辆间距对数据传输成功的影响
Fig. 3 The effect of transceiving vehicle spacing on the success of data transmission

由图 3 可以看出,消息是否能成功发送与收发车辆间距 d 有着很大的联系,即链路的传输可靠性随着车辆间距 d 的增大而减小,尤其当消息可靠传输阈值 $P_{TH}=0.2$ 时,链路的可靠性随着 d 的增大急剧减小;但当消息可靠传输阈值 $P_{TH}=0.8$ 时,虽然收发消息的车辆之间相距较远,成功传输的比率依然很大,由此可知,适当地增加发送功率能提高消息传输的可靠性.

由图 4 可以看出,收发车辆间的链路可靠性随着发送功率的增大而增大,当收发车辆间距较大时需要较大的发送功率才能成功的将数据传输,因而在对发送功率取最大值和最小值时,应全面考虑,既不能让数据无法成功传输又不能使功率过大,否则会产生时延,这也会影响数据的传输.从图 4 看来,最佳的发送功率区间是 5~30 dBm.

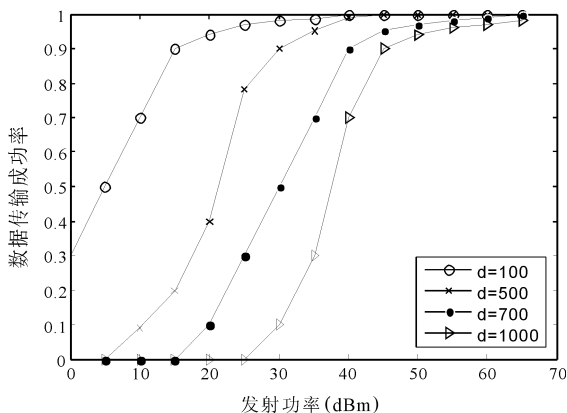


图 4 发送端发送功率对数据传输成功率的影响
Fig. 4 The effect of transmitting power on data transmission success rate

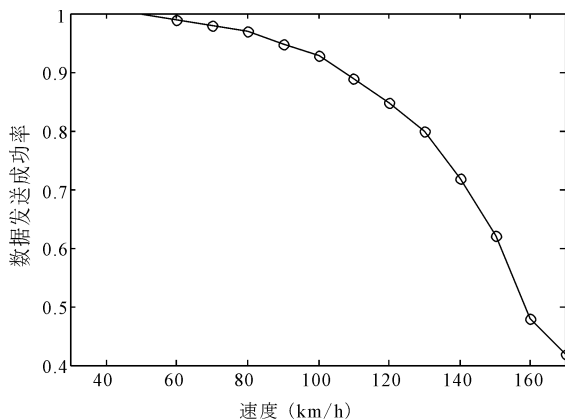


图 5 车辆速度对数据成功发送率的影响
Fig. 5 The effect of vehicle speed on data successful transmission rate

最后,图 5 描述了在发送功率一定的情况下车辆速度对数据成功发送的影响,由于车辆在路上随着交通状况的影响,车辆速度也会不断地变化,这就使得数据传输网络结构的变化,进而会影响数据的传输,从图 5 中可以看出,随着车辆速度的不断增加,数据发送的成功率就越低,因而为了保证数据传输的可靠性,当车辆速度增大时,可以通过适当地增大发送功率来使得数据成功发送.

5 结论

本文针对车联网数据传输可靠性问题进行研究.首先给出了车辆之间数据传输可靠性的评价模型,并结合小波变换和群蚊子算法对数据评估模型进行求解,同时通过引入分类机制和决策权来引导搜索方向,以此加快算法收敛速度.最后利用仿真实验平台深入研究了该算法与小波变换、遗传算法之间的性能状况,并讨论了数据包大小、车辆间距、发送功率和车辆速度与数据成功发送率之间的关

系. 在后续研究中, 可以考虑结合车联网数据的其他性能指标(如丢包抖动、时延抖动等)来完善车联网模型.

参考文献:

- [1] Trullols-Cruces O, Fiore M, Barcelo-Ordinas J M. Cooperative download in vehicular environments[J]. IEEE Trans Mobile Comput, 2012, 11: 663.
- [2] Stefan J, Michele S, Bastian B, *et al.* A vehicular networking perspective on estimating vehicle collision probability at intersections [J]. IEEE Trans Veh Technol, 2014, 63: 1802.
- [3] 陈丽, 李治军, 姜守旭. 车联网中传输调度与资源分配相结合的内容下载[J]. 软件学报, 2014, 25: 2362.
- [4] 刘建航, 孙江明, 毕经平, 等. 基于动态时槽的车联网协助下载方法研究[J]. 计算机学报, 2011, 34: 1378.
- [5] 刘业, 刘林峰, 郑隆, 等. 车联网 RSU 单元下行流量的性能研究[J]. 软件学报, 2015, 26: 1700.
- [6] Ye F, Roy S, Wang H. Efficient data dissemination in vehicular ad hoc networks[J]. IEEE J Sel Area Comm, 2012, 30:769.
- [7] Toor Y, Muhlethaler P, Laouiti A. Vehicle ad hoc networks: applications and related technical issues [J]. IEEE Comm Surv Tut, 2008, 10: 74.
- [8] 宋飞, 苏伟, 张宏科. 多路径并行传输中吞吐量的建模与分析[J]. 电子学报, 2010, 38: 887.
- [9] 范存群, 王尚广, 谷文哲, 等. 车联网下基于网络编码的高吞吐量多径路由算法[J]. 通信学报, 2013, 34: 133.
- [10] 范存群, 王尚广, 孙其博, 等. 车联网中基于贝叶斯决策的垂直切换方法研究[J]. 通信学报, 2013, 34: 34.
- [11] 刘建航, 毕经平, 葛雨明, 等. 一种基于协助下载方法的车联网选车策略[J]. 计算机学报, 2016, 39: 919.
- [12] 刘业, 吴国新. 基于 802. 11p/WAVE 的车联网连通性模型及其应用研究[J]. 通信学报, 2013, 34: 85.
- [13] 陈丽, 李治军, 姜守旭. 车联网中传输调度与资源分配相结合的内容下载[J]. 软件学报, 2014, 25: 2362.
- [14] 王洪波, 罗贺, 刘心报, 等. 车联网环境下基于等距映射的证据推理方法[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35: 1582.
- [15] 冯翔, 张进文, 虞慧群. 仿生蚊子追踪算法[J]. 计算机学报, 2014, 37: 1794.
- [16] 吕顺, 何小海, 杨龙, 等. 基于小波变换系数去冗余的图像无损压缩方法[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2015, 52: 85.
- [17] 赵学智, 叶邦彦. SVD 和小波变换的信号处理效果相似性及其机理分析[J]. 电子学报, 2008, 36: 1582.