

DOI: 10.7652/xjtuxb201904019

车联网中时延约束的路侧单元部署方案研究

贾宗璞, 杨焕焕, 谢果君

(河南理工大学计算机科学与技术学院, 454000, 河南焦作)

摘要: 针对车联网城市环境下限制数量的路侧单元(RSU)的最佳部署位置难以确定的问题,将RSU对车辆的覆盖转化为对区域内划分子路段的覆盖,通过各路段上车辆的密度和平均速度计算路段上的数据传输时延,设计基于Dijkstra的0-1覆盖矩阵求解算法,将时延约束的RSU部署问题(DBRD)转化为集合覆盖问题。提出改进遗传算法的RSU部署方案(IGARD),在限定RSU部署数的前提下从候选位置集中选出最佳部署位置以最大化时延内覆盖路段的数量。与传统的遗传算法相比,IGARD方案基于贪心算法的思想产生初始种群,新解产生时根据设计的交叉算子和变异算子执行交叉和变异操作,并在执行过程中对不满足约束条件的潜在解进行修复,这样不仅可以带约束条件的研究问题转化为无约束条件问题,避免了确定罚函数的困难,而且平衡了算法的集中搜索和多样性搜索能力。仿真结果表明:在相同的时延约束下,利用IGARD方案部署RSU可以将路段覆盖率提高5%以上。IGARD方案能够在时延约束下确定RSU的最佳部署位置,提高网络的性能,并为相同应用场景下的RSU部署提供一定的参考。

关键词: 车联网;路侧单元;时延约束;遗传算法

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2019)04-0128-08

A Deployment Scheme for Delay-Bounded Road Side Unit in VANET

JIA Zongpu, YANG Huanhuan, XIE Guojun

(School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: A Dijkstra based 0-1 covering matrix computing algorithm is designed through the vehicles density and average speed on the roads to solve the problem that the deployment location of number-limited RSU (road side unit) in urban VANET is difficult to determine. The algorithm converts the coverage of vehicles into coverage of divided sub-roads in the deployment area and the delay-bounded RSU deployment problem (DBRD) is converted into a set-covering problem. Then an RSU deployment scheme based on an improved genetic algorithm (IGARD) is proposed. The best deployment location is selected from candidates under the premise of limiting the number of RSUs to maximize the number of covering roads in the bounded delay. A comparison with the traditional genetic algorithm shows that IGARD scheme utilizes the idea of greedy algorithm to generate initial population, and uses the designed crossover operator as well as the mutation operator to execute the crossover operation and the mutation operation. Moreover, the potential solution is also repaired in the execution process. This not only turns the constrained optimization problem into an unconstrained problem and avoids the difficulty of selecting penalty function, but

收稿日期: 2018-08-27。 作者简介: 贾宗璞(1963—),男,教授,博士生导师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61300124);河南省科技攻关计划资助项目(132102210123)。

网络出版时间: 2019-01-24 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20190122.0917.010.html>

also balances the algorithm's ability of focused search and diversified search. Experimental results show that using IGARD scheme for RSU deployment gains an over 5% increase in the road coverage ratio under the same bounded delay. Therefore, IGARD scheme can get the best location among candidates, promote network performance, and provide reference for RSU deployment under the same scene.

Keywords: vehicular ad-hoc networks; road side unit deployment; delay-bounded; genetic algorithm

车辆自组织网络(VANET)存在着功能不一的交通安全类应用、交通协调管理类应用和娱乐类应用,它们对智能交通系统(ITS)的实现起着重要作用。车辆感知数据的收集和分发是这些应用的核心内容,但由于车联网中车辆移动性高、拓扑变化频繁,单独地车对车(V2V)通信往往效率较低,严重影响了车辆感知数据的获取^[1-3]。作为车联网中必不可少的道路基础设施单元,路侧单元(RSU)可以利用车对基础设施(V2I)通信降低智能车辆间的数据传输时延。然而,大量部署RSU不仅费用较高^[4],而且会受到候选部署点集合、交通特征、道路特征等诸多因素的影响^[5]。现有的关于RSU部署工作的研究主要是优化数据传输时延、RSU覆盖率和RSU部署费用等,以提高网络的性能。

关于数据传输时延的研究主要是降低RSU-RSU传输时延和车辆-RSU传输时延^[6-7]。关于RSU部署费用的研究则是降低RSU的安装成本和维护成本^[8-9]。就RSU覆盖率的研究而言,Trullols等研究了基础设施节点部署问题,目标是最大化区域内与基础设施连接的车辆数和连通时间,提出的贪婪算法和分区算法在大规模场景下有很好的适用性,但计算车辆覆盖时需要获取车辆的详细行驶信息^[10]。Li等解决了车联网中预算和时延约束的RSU部署问题,其中有线RSU(c-RSU)和无线RSU(w-RSU)两种类型RSU的时延约束覆盖范围和部署代价完全不同,该问题的目标是在给定的预算和时延下确定RSU的最佳部署位置,最大化区域内接收c-RSU广播消息的车辆数^[11]。Zhu等设计了c街道模型并提出基于贪心策略的近似算法,实现了RSU对目标区域的最优覆盖,然后针对城市中地形复杂的区域,设计了Cue模型,提出基于shifting策略的近似算法,进而有效地解决了城市市场景下RSU的部署问题^[12]。Chi等提出了十字路口优先级的RSU部署方案,根据车辆密度、十字路口普遍度计算路口权重值,并结合贪婪、动态规划和混合法确定RSU的部署数和部署位置,在确保最大

连通性的同时降低RSU的部署成本^[13]。

以上大多数的研究主要将传输时延、部署费用等作为RSU部署的优化目标,以覆盖率为目标的部署主要考虑对车辆的覆盖,部署算法需要车辆的详细移动信息,这些信息不仅涉及用户的隐私^[14],而且较难获取。因此,本文将RSU对车辆的覆盖转化为对区域内划分子路段的覆盖,通过各路段上车辆的密度和平均速度求解路段上的数据传输时延,设计基于Dijkstra的0-1覆盖矩阵求解算法,将时延约束的RSU部署问题(DBRD)转化为集合覆盖问题。提出改进遗传算法的RSU部署方案(IGARD),在限定RSU部署数的前提下从候选位置集中选出最佳部署位置以最大化时延内覆盖路段数。与传统的遗传算法相比,IGARD方案基于贪心算法的思想产生初始种群,新解产生时根据设计的交叉算子和变异算子执行交叉和变异操作,且在执行过程中对不满足约束条件的潜在解进行修复。这样不仅可以带约束条件的研究问题转化为无约束条件问题,避免了确定罚函数的困难,而且平衡了算法的集中搜索和多样性搜索能力。仿真结果进一步证实了算法的有效性。

1 系统模型

1.1 问题模型

城市道路模型图可表示为无向图 $G=(V,E)$, V 是十字路口集合, $V=\{I_1,I_2,\dots,I_n\}$ 且满足 $|V|=n$, E 是相邻十字路口间的路段, $E=\{E_1,E_2,\dots,E_s\}$ 。设车辆和RSU的通信半径为 R ,相邻十字路口间的距离 $D=\{D_1,D_2,\dots,D_s\}$ 。对于 $D_i\in D$ 且 $D_i>R$ 的路段 E_i ,将其按照 R 的间距划分为若干个子路段。图1给出了 $n=9$ 时的城市道路模型图。

划分完成后形成另一无向图 $G_1=(V_1,E_1)$, $V_1=\{V,M\}$, $E_1=\{e(i,j),\forall i,j,i\in V_1,j\in V_1\}$, M 是 $E\in G(V,E)$ 划分时形成的顶点, $M=\{m_1,m_2,\dots,m_k\}$ 且 $|V_1|=N,|E_1|=m$ 。对 $e_{ij}\in E_1$ 有 $e(i,j)=\{l_{ij},\rho_{ij},v_{ij}\}$, l_{ij},ρ_{ij},v_{ij} 分别为路段 $e(i,j)$ 的欧氏距

离、车辆密度和平均速度。

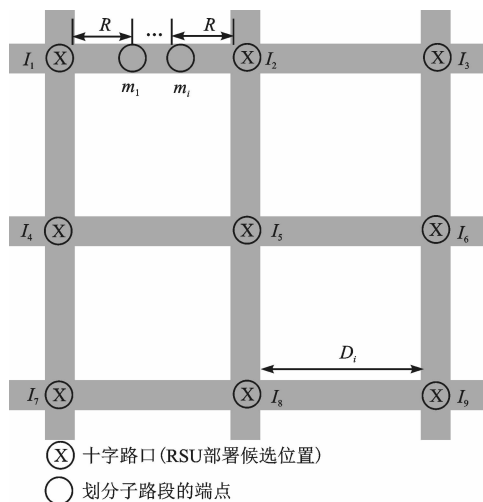


图1 城市道路模型图

1.2 通信模型

本文的场景是多个RSU和多个车辆组成的网络，网络通信场景如图2所示。图2中，虚线覆盖的区域为RSU的部署区域，RSU设施表示可供选择的RSU部署候选位置，含有通信链路的RSU设施表示在该处部署了RSU。本文的通信模型为圆盘通信模型，任意两个节点可以通信，当且仅当它们之间的欧氏距离小于或等于其通信半径 R 。以 i 和 j 为端点的路段 $e(i, j)$ 为例，根据文献[15]，其上的数据传输时延 $t(i, j)$ 可以表示为

$$t(i, j) = (1 - e^{-R\rho_{ij}}) \frac{l_{ij}t_{\text{hop}}}{R} + e^{-R\rho_{ij}} \frac{l_{ij}}{v_{ij}} \quad (1)$$

式中： t_{hop} 为数据的一跳传输时延， $t_{\text{hop}} = p_{\text{size}}/s$ ， p_{size} 为

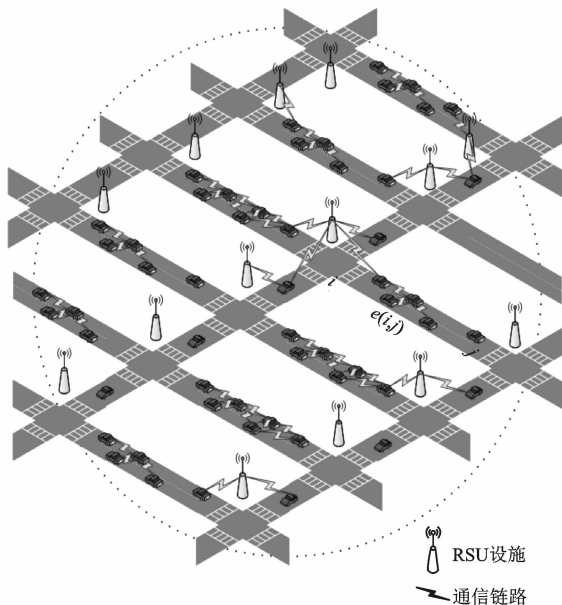


图2 网络通信场景图

数据包大小， s 为数据传输带宽。式(1)表明，道路 $e(i, j)$ 上有 $(1 - e^{-R\rho_{ij}})$ 的车辆车间距离小于等于 R ，它们使用转发方式传输数据，其余的 $e^{-R\rho_{ij}}$ 的车辆车间距离大于 R ，它们使用携带方式传输数据。另外，当 $l_{ij} > R$ 时，需将 $e(i, j)$ 划分为若干子路段，此时子路段上的数据传输时延仍旧由式(1)计算。

1.3 DBRD问题

RSU部署时选择十字路口为候选位置^[10]。本文目标是在 n 个候选位置中部署 r 个RSU，使时延 τ 内将数据传输至RSU的子路段总数最多。设 $e(i, j)$ 上车辆将数据传输至RSU的最小时延为 t_{ij} ($1 \leq j \leq m$)。对任一 $e_{ij} \in E_1$ ，定义0-1变量 x_i, y_j ，当 $t_{ij} \leq \tau$ 时， $y_j = 1$ ，否则 $y_j = 0$ ；在 I_i 处部署RSU时， $x_i = 1$ ，否则 $x_i = 0$ 。那么，DBRD问题可形式化为

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{j=1}^m y_j, \quad y_j \in \{0, 1\} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{i=1}^n x_i = r, \quad x_i \in \{0, 1\} \end{aligned} \quad (2)$$

定理1 DBRD问题是NP-hard问题。

证明 首先引入集合覆盖问题(SCP)^[16-17]。SCP问题表述如下：给定 n 个元素集合 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ ， E 的子集集合 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ ，求 E 的一个覆盖 C ，使 C 在 E 的所有覆盖中所含元素个数最少且 C 中元素并集为 E 。因为SCP问题是NP-hard问题，将DBRD问题转化为SCP问题后，即可证明DBRD问题是NP-hard问题。设在 I_i 处部署RSU时各子路段在 τ 内将数据传输至RSU的集合为 S_i ，则问题转化为 τ 限制的集合覆盖问题(τ -LSCP)

$$\begin{aligned} \max \quad & \bigcup_{i=1}^n (S_i x_i) \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{i=1}^n x_i = r, \quad x_i \in \{0, 1\} \end{aligned} \quad (3)$$

问题的目标为最大化RSU覆盖的子路段数量，即最大化 S_i 的并集，约束条件为RSU的部署数等于 r 。因此，DBRD问题是NP-hard问题。

1.4 数据传输延迟计算方法

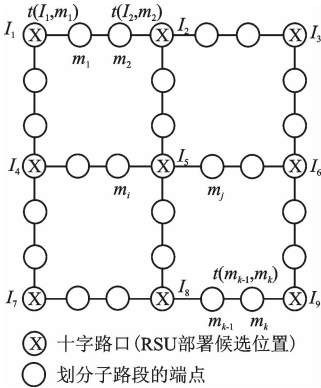
将DBRD问题转化为 τ -LSCP问题后，获取 S_i ($1 \leq i \leq n$)是求解 τ -LSCP问题的前提。设计0-1覆盖矩阵 T_{mi} ，当路段 $e(i, j)$ 上的车辆将数据传输至 i 处RSU的最小时延 $t_{ji} \leq \tau$ 时， $T_{ji} = 1$ ，否则 $T_{ji} = 0$ 。那么， S_i 可表示为

$$S_i = \bigcup_{j=1}^m (T_{ji} = 1) \quad (4)$$

因此,问题转化为求路段 $e(i, j)$ 上车辆将数据传输至 i 处 RSU 时最小时延 t_{ji} 的值。设路段 $e(i, j)$ 距离 i 处 RSU 的距离为 d_{ji} , 则 t_{ji} 为

$$t_{ji} = \begin{cases} t_{\text{hop}} = \frac{p_{\text{size}}}{s}, & 0 \leq d_{ji} \leq R \\ \min \left[\sum_{P_{jk} \in P} t(j, k) \right], & d_{ji} > R \end{cases} \quad (5)$$

式中: $P_{jk} \in P$ 为路段 $e(i, j)$ 上车辆将数据传输至 i 处 RSU 时的所有路径; $t(j, k)$ 为数据在 $e(j, k)$ 的传输时延。经 1.2 节中式(1)求解 $t(j, k)$ 后, 为无向图 $G_1 = (V_1, E_1)$ 的各条边附上相应的权值 $t(j, k)$, G_1 即为无向带权图。此时无向带权图表示的道路模型如图 3 所示, $n=9$ 。



步骤4 重复步骤2~步骤3至最大迭代次数结束。

2.1 编码

改进的遗传算法中个体使用 n 维 0-1 向量进行编码,当个体某一维位置取值为 1 时,表示该维度对应的列加入选中列集合。例如 $\{0,1,1,0\}$ 表示将第 2 列和第 3 列加入选中列集合。

2.2 产生初始种群

初始种群的产生通过贪心算法完成,这样可以避免过多无效解的出现。假设 τ -LSCP 问题的解向量为 $\mathbf{x}^j = \{x^j(1), x^j(2), \dots, x^j(n)\}$, 选中列集合为 D , 未选中列集合为 M , 选中列已覆盖行集合为 U , 则初始种群产生的步骤如下。

步骤1 初始化 $D = \phi$, $M = \{1, 2, \dots, n\}$, $\mathbf{x}^j = \{x^j(i) = \{0, \dots, 0\}, 1 \leq i \leq n, U = E_1\}$ 。

步骤2 记 S_i 表示第 i 列加入 D 后新覆盖的行,可用性价比 $Q(i) = |S_i \cap U|$ 表示。

步骤3 构造候选列集合 $R_{CL} = \{i \in M, \xi Q_{\max} \leq Q(i) \leq Q_{\max}\}$ 。 ξ 为 $(0, 1)$ 内的数,设置目的是平衡初始种群产生的随机性和贪婪性。

步骤4 从 R_{CL} 中任选一列 i 加入 D , 令 $M = M - \{i\}$, $x^j(i) = 1, U = U \cup S_i$ 。

步骤5 若 $|D| = r$, 结束并输出 $\mathbf{x}^j$, 否则转至步骤2。

步骤6 重复运行步骤1~步骤5,直至初始种群的数量达到 M ,并输出 $P = \{\mathbf{x}^1, \mathbf{x}^2, \dots, \mathbf{x}^M\}$ 。

2.3 适应度函数

本文适应度函数如下

$$f(x) = \left| \bigcup_{i=1}^n S_i \mathbf{x}^i \right| \quad (7)$$

式中: S_i 为第 i 列覆盖的行, $f(x)$ 为适应度,表示 S_i 并集元素数。因种群初始化时已剔除无效个体,故求解问题已转化为无约束问题,适应度函数即为本文目标函数。

2.4 选择、交叉和变异算子

本文使用轮盘赌选择法选择个体,基本思想是根据个体适应度大小进行选择操作。首先依据种群中个体的适应度计算其被遗传到下一代种群中的概率为

$$P(\mathbf{x}^i) = \frac{f(\mathbf{x}^i)}{\sum_{i=1}^M f(\mathbf{x}^i)} \quad (8)$$

然后根据 $P(\mathbf{x}^i)$ 计算个体的累计概率

$$k = M - \sum_{i=1}^M \lfloor N(\mathbf{x}^i) \rfloor \quad (9)$$

最后在 $[0, 1]$ 内产生一个均匀分布的伪随机数 k 。

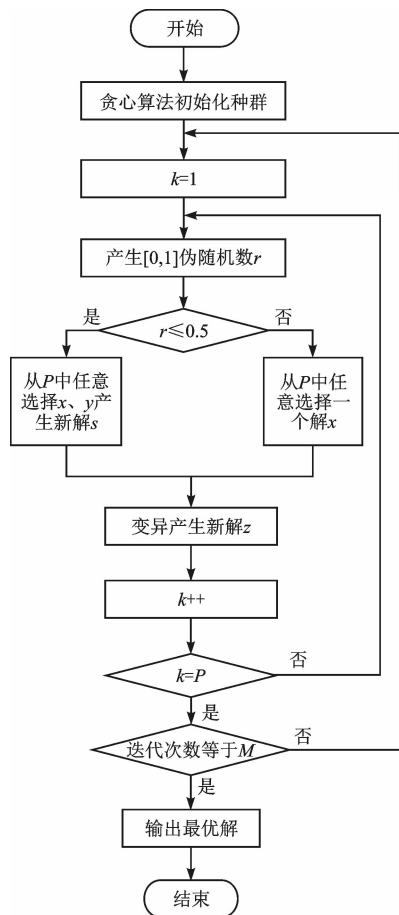


图5 IGARD 方案流程图

若 $k < q[1]$, 则选择个体 1, 否则选择个体 i , 使 $q[i-1] < k < q[i]$ 成立。重复产生 M 个伪随机数 k , 即得到大小为 M 的种群。

选择算子执行完毕后,交叉算子从下一代种群中随机选择 2 个解 $\mathbf{x}^i, \mathbf{x}^j$, 交叉产生解 $\mathbf{x}^s$ 。首先初始化解 $\mathbf{x}^s = \{x^s(i) = \{0, \dots, 0\}, 1 \leq i \leq n\}$ 。然后比较 $\mathbf{x}^i$ 和 $\mathbf{x}^j$, 若 $x^i(i) = x^j(i) = 1$, 令 $x^s(i) = 1$, 否则 $x^s(i) = 0$ 。因为交叉产生的解 $\mathbf{x}^s$ 中选中列数小于 r , 因此需要使用贪心算法进行修复。依据 $Q(i) = |S_i \cap U|$ 计算出解 $\mathbf{x}^s$ 中所有未选列的性价比,重复执行 2.2 节中步骤 3 和步骤 4, 直至解 $\mathbf{x}^s$ 满足 $|x^s(i) = 1| = r$ 。

变异算子对新解的产生起着重要作用。首先从下一代种群中随机选择一个解 $\mathbf{x}^i$ 。设 $\mathbf{x}^i$ 选中列集合为 D , 随机从 D 中删除 u 个列, 使这 u 个列变为未选中得到新解 $\mathbf{x}^z$, 其中 $u = \lceil 0.75r \rceil$ 。然后使用贪心算法对其修复。依据 $Q(i) = |S_i \cap U|$ 计算出解 $\mathbf{x}^z$ 中所有未选列的性价比。重复执行 2.2 节中的步骤 3 和步骤 4, 直至解 $\mathbf{x}^z$ 满足 $|x^z(i) = 1| = r$ 。

3 性能分析

本文通过仿真实验对 IGARD 方案的相关性能(路段覆盖率和 RSU 平均扩展通信范围)与其他部署方案进行了对比。仿真平台为 Visual Studio 2015,仿真语言为 C++,仿真环境为城市场景。实验默认参数见表 1,表中 $c \times c$ 表示 RSU 部署区域包含 c^2 个十字路口,相邻十字路口间的路段被划分为 3 个子路段,每个子路段长度为 R ,则部署区域为 $3R(c-1) \times 3R(c-1)$ 。

表 1 实验默认参数

参数	数值
部署区域	$5 \times 5, 6 \times 6, 7 \times 7, 8 \times 8, 9 \times 9$
通信半径 R/m	250
子路段数	120~432
车辆密度/ $\text{辆} \cdot \text{km}^{-1}$	1~30
平均速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	15~50
限定传输最大时延 τ/s	1~12
种群大小	100
迭代次数	200
数据包大小/ KB	1
数据传输率/ $\text{Mb} \cdot \text{s}^{-1}$	3

为了更准确地模拟真实的城市环境,假设部署区域内各子路段上的车辆密度和车辆平均速度是不均匀分布的。靠近十字路口处的子路段上车辆密度相对较高,车辆平均速度相对较低。远离十字路口处的子路段上车辆密度相对较低,车辆平均速度相对较高。当部署区域为 8×8 时,区域内包含 336 个子路段,此时,车辆密度和平均速度的具体分布情况分别如图 6、图 7 所示。

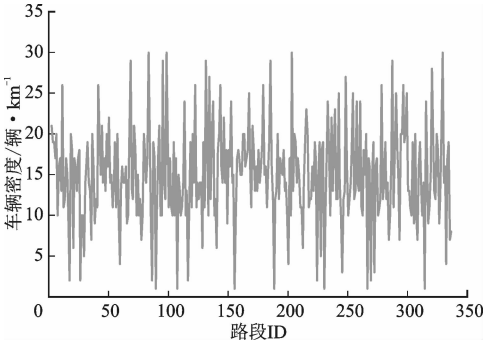


图 6 部署区域内各子路段上车辆密度的分布图

路段覆盖率是衡量部署方案有效性的指标,是部署方案性能的直接体现,表示为

$$R_{\text{cover}} = \frac{R_{\text{valid}}}{R_{\text{all}}}$$

(10)

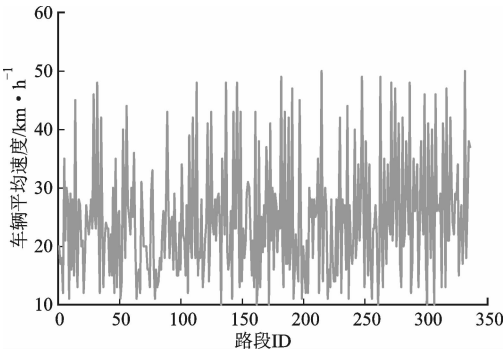


图 7 部署区域内各子路段上车辆平均速度的分布图

式中: R_{valid} 是 RSU 的有效覆盖路段,它等于总路段 R_{all} 减去被多个 RSU 重复覆盖的路段。

RSU 的平均扩展通信范围与路段上车辆的密度和平均速度相关,通过多跳转发 RSU 的直接通信范围得到扩大。该参数是单个 RSU 部署位置最优性的体现,可以间接反应出 RSU 覆盖区域的重复度

$$E_{\text{cover}} = \frac{R_{\text{valid}} - R_{\text{direct}}}{a}$$

(11)

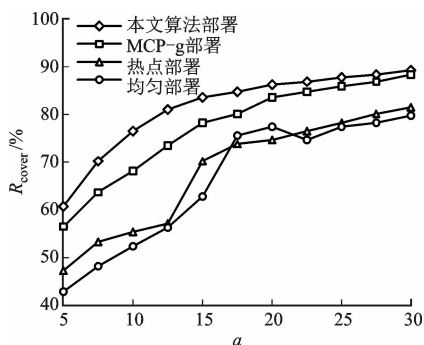
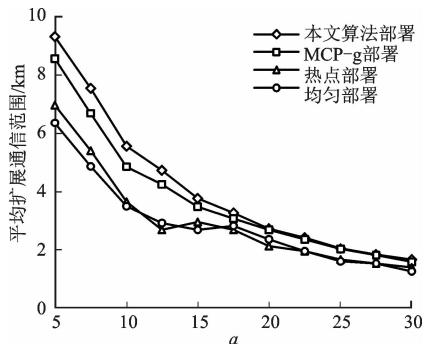
式中: R_{valid} 可由式(10)获得; R_{direct} 是 RSU 直接覆盖路段的总和; a 是 RSU 部署数。

在此与 RSU 的热点部署方案和均匀部署方案^[6]、MCP-g 部署方案^[13]对比了路段覆盖率和 RSU 的平均扩展通信范围。热点部署方案在覆盖路段最多的位置处部署 RSU,直至部署数为 r 。均匀部署方案将 n 个 RSU 候选位置分为 r 个区域,取各区域中点处为 RSU 部署位置。MCP-g 部署方案使用贪婪的启发式算法在各候选位置处选出 r 个使未覆盖路段覆盖最多的位置。将道路模型图转换为无向带权图后计算 0-1 覆盖矩阵,在其上运行 RSU 部署方案进而得到实验结果。

3.1 RSU 部署数对性能的影响

本组实验主要研究 RSU 部署数对实验结果的影响。设置部署区域为 8×8 ,数据传输最大时延 $\tau=6 \text{ s}$ 。图 8 和图 9 分别给出了 4 种方案关于路段覆盖率和 RSU 平均扩展通信范围的对比图。

由图 8、图 9 可知,RSU 部署数增加时,4 种方案的路段覆盖率都逐渐增加,RSU 平均扩展通信范围都逐渐下降,但本文方案优于其他 3 种方案。这是因为 RSU 部署数的增加使更多的路段被覆盖,提高了路段覆盖率,但重复覆盖路段也逐渐增加,进而降低了 RSU 平均扩展通信范围。同时由于 V2V 通信的存在,RSU 的平均扩展通信范围一定大于其直接通信范围。MCP-g 部署方案虽然考虑到了重

图8 a 对路段覆盖率的影響图9 a 对RSU平均扩展通信范围的影响

复覆盖的路段,但在部署过程中只考虑单个位置的覆盖路段数会导致部署方案具有很大的局限性。热点部署方案基于贪心算法的思想部署RSU,但未考虑重复覆盖的路段。均匀部署方案基于分治的思想部署RSU,容易忽略部署的热点位置。因此,这两种方案的性能低于本文算法。

3.2 限定传输最大时延对性能的影响

本组实验主要研究限定传输最大时延对实验结果的影响。设置部署区域为 8×8 , a 为15。图10和图11分别给出了4种方案关于路段覆盖率和RSU平均扩展通信范围的对比图。

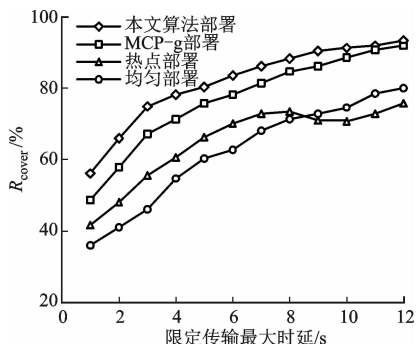


图10 限定传输最大时延对路段覆盖率的影响

由图10、图11可知,限定传输最大时延增加时,路段覆盖率和RSU平均扩展通信范围均逐渐增大,且表现出几乎相同的生长趋势,但本文方案优

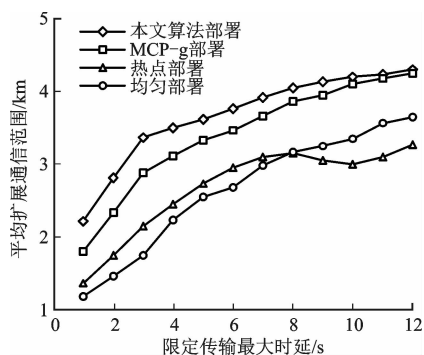


图11 限定传输最大时延对RSU平均扩展通信范围的影响

于其他3种方案。这是因为在部署区域和RSU部署数一定时,路段覆盖率和RSU平均扩展通信范围只取决于RSU有效覆盖的路段。限定传输最大时延的增加使更多路段的车辆可以在时延内将数据传输至RSU,提高了路段覆盖率和RSU平均扩展通信范围。本文使用贪心算法产生初始种群,经过了选择、交叉、变异、染色体修复等一系列循环迭代,从全局考虑总覆盖路段部署RSU,而不局限于考虑单个位置的新覆盖路段数,因而与其他3种部署方案相比,获得了更优的部署位置。

3.3 部署区域对性能的影响

本组实验主要研究部署区域大小对实验结果的影响。设置 a 为15,数据限定传输最大时延 $\tau=6$ s。图12和图13分别给出了4种方案关于路段覆盖率和RSU平均扩展通信范围的对比图。

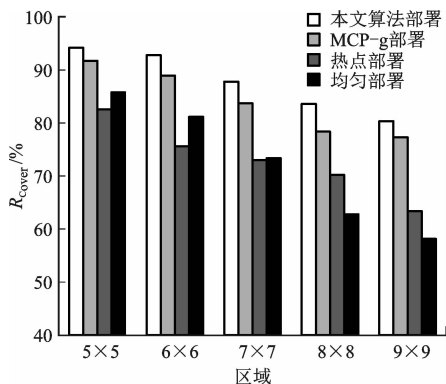


图12 部署区域对路段覆盖率的影响

由图12、图13可知,部署区域面积增大时,路段覆盖率逐渐下降,RSU平均扩展通信范围逐渐增加,且本文方案的性能优于其他3种方案。这是因为部署区域增大时,RSU有效覆盖的路段增加,提高了RSU的平均扩展通信范围,但其增加低于区域内子路段的增加,使得路段覆盖率逐渐降低。MCP-g部署方案与热点部署方案只考虑单个RSU

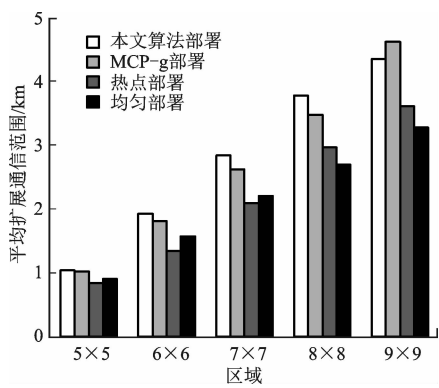


图 13 部署区域对 RSU 平均扩展通信范围的影响

部署后覆盖的路段,容易产生局部最优解。均匀部署方案虽从全局考虑部署位置,但缺少贪婪性。因此,这 3 种方案的性能均低于本文算法。

4 结 论

本文研究了 RSU 的部署问题,证明了该问题是 NP-hard 问题且可以转化为集合覆盖问题求解。为获取候选位置集中各元素覆盖的子路段数,设计了 0-1 覆盖矩阵和基于 Dijkstra 的求解算法。针对转化后的 τ -LSCP 问题,提出基于改进遗传算法的 RSU 部署方案,以最大化时延内将数据传输至 RSU 的子路段数。使用贪心算法产生初始种群,按照设定的交叉算子、变异算子执行交叉和变异操作并修复染色体,循环迭代求得 RSU 的部署位置。仿真结果表明,利用本文方案部署 RSU 可以提高路段覆盖率,进而提高网络的性能。

参考文献:

[1] 刘冰艺, 吴黎兵, 贾东耀, 等. 基于移动云服务的车联网数据上传策略 [J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(4): 811-823.

LIU Bingyi, WU Libing, JIA Dongyao, et al. Data uplink strategy in mobile cloud service based vehicular ad hoc network [J]. Computer Technology and Development, 2016, 53(4): 811-823.

[2] 陈丽, 李治军, 姜守旭, 等. 车载 Ad Hoc 网络中基于移动网关的数据传输 [J]. 计算机学报, 2012, 35(3): 454-463.

CHEN Li, LI Zhijun, JIANG Shouxu, et al. MGF: mobile gateway based forwarding for infrastructure-to-vehicle data delivery in vehicular ad hoc networks [J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(3): 454-463.

[3] 朱金奇, 马春梅, 刘明, 等. 车载自组织网络中基于停车骨干网络的数据传输 [J]. 软件学报, 2016, 27

(2): 432-450.

ZHU Jinqi, MA Chunmei, LIU Ming, et al. Data delivery for vehicular Ad Hoc networks based on parking backbone [J]. Journal of Software, 2016, 27(2): 432-450.

[4] DIETZEL S, PETIT J, KARGL F, et al. In-network aggregation for vehicular Ad Hoc networks [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(4): 1909-1932.

[5] 姜海涛, 张宏, 李千目. 车载时延容忍网络路由协议研究 [J]. 通信学报, 2013, 34(3): 76-84.

JIANG Haitao, ZHANG Hong, LI Qianmu. Research on routing protocol of vehicular delay-tolerant networks [J]. Journal on Communications, 2013, 34(3): 76-84.

[6] PATRA M, MISHRA S, MURTHY C S R. An analytic hierarchy process based approach for optimal roadside unit placement in vehicular ad hoc networks [C]// Proceedings of the 2014 79th IEEE Vehicular Technology Conference. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2014: 1-5.

[7] ASLAM B, AMJAD F, ZOU C C. Optimal roadside units placement in urban areas for vehicular networks [C]// Proceedings of the 2012 IEEE Symposium on Computers and Communications. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2012: 423-429.

[8] KIM D, VELASCO Y, WANG 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.

[9] NIKOOKARAN N, KARAKOSTAS G, TODD T. Combining capital and operating expenditure costs in vehicular roadside unit placement [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2017, 66(8): 7317-7331.

[10] TRULLOLS O, FIORE M, CASETTI C, et al. Planning roadside infrastructure for information dissemination in intelligent transportation systems [J]. Computer Communications, 2010, 33(4): 432-442.

[11] LI Peng, HUANG Chuanhe, LIU Qin. BCDP: budget constrained and delay-bounded placement for hybrid roadside units in vehicular ad hoc networks [J]. Sensors, 2014, 14(12): 22564-22594.

[12] 朱钧宇, 黄传河, 范茜莹, 等. 城市环境车联网中基于近似算法的 RSU 部署方案 [J]. 通信学报, 2018, 39(1): 78-89.

(下转第 166 页)