

# 离散萤火虫算法在车载网的应用<sup>\*</sup>

黄 欣

(广西农业职业技术学院信息与机电工程系, 广西南宁 530007)

**摘要:**车载自组织网(Vehicular ad hoc network, VANET)是移动自组织网络之一,具有节点变动迅速、拓扑结构灵活、通信能力要求较高的特点。为提高车载自组织网络的可靠性,实现数据的安全共享和快速交互,将离散萤火虫(DFA)算法应用求解车载网络中具有服务质量约束的多播路由问题。根据VANET的路由特点,将该问题转化为延迟成本最小化约束优化问题,并将车载网络路径时延转化为萤火虫的荧光素值,然后将该算法用4个实例进行测试,并与Dijkstra最短路径算法、粒子群优化算法进行比较。研究表明:离散萤火虫算法性能更佳,可有效解决VANET中Steiner minimum tree(SMT)问题,成功取得最优路径。该算法在一定程度上稳定了网络拓扑结构,能够实时更新节点信息。

**关键词:**车载自组织网 萤火虫算法 服务质量 多播路由 网络拓扑

中图分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2019)04-0405-05

## 0 引言

车载自组织网(Vehicular ad hoc network, VANET)由若干无线节点和基站组成,不需要固定的基础设施,具有灵活、方便快捷、自学习的特点,极大地弥补了固定网络的不足。在实现通信的过程中,需要路由对网络资源进行分组转发,传统法的路由协议,如AODV<sup>[1-2]</sup>、DSR<sup>[3-4]</sup>、GPSR<sup>[5]</sup>已经无法满足复杂多变的车辆通信。此类问题引起了众多学者关注,并为此加以改进。黄保华等<sup>[6]</sup>为了提高车载自组织网通信链路的稳定性,提出一种AODV with GASA-FNN(GF-AODV)改进路由算法,有效地降低了平均延迟、能量消耗以及丢包概率。李璞等<sup>[7]</sup>针对DSR协议修复延迟、频繁泛洪问题,提出一种基于DSR协议的局部路由修复算法,提高了通信的可靠

性,有效地减少了网络延迟造成的影响。龚凯等<sup>[8]</sup>针对车辆通信质量问题,提出一种粒子群算法的GPSR协议优化算法(P-GPSR),对节点的各个参数进行综合优化,实验表明,该改进方案有效提高了路由效率,减少丢包率。虽然上述改进方案在传输延迟、路由维护负荷、链路稳定性等方面有所改善,但是还存在一些不足,仅仅考虑链路稳定而没有实时更新路由信息,特别是在选择下一跳节方面,缺乏适合的调节机制来选择网络拓扑。

目前,在解决VANET问题中,智能优化算法比传统方法更受欢迎。而萤火虫算法(FA)具有简单实现、鲁棒性等特点,已经成功应用于函数优化<sup>[9]</sup>、神经网络<sup>[10]</sup>等多个领域。本研究根据VANET的路由特点,将通信服务质量(Quality of service, QoS)的多播路由问题描述为网络寿命最大化或者延迟成本最小

<sup>\*</sup> 广西2016年度中青年骨干教师基础能力提升项目(KY2016YB684)资助。

### 【作者简介】

黄欣(1983—),男,副教授,主要从事计算机网络技术研究, E-mail: huangxin543@qq.com。

### 【引用本文】

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20190808.005

黄欣. 离散萤火虫算法在车载网的应用[J]. 广西科学, 2019, 26(4): 405-409.

HUANG X. Application of discrete firefly algorithms in vehicle-borne networks [J]. Guangxi Sciences, 2019, 26(4): 405-409.

化约束问题,利用离散萤火虫算法求解 VANET 中 Steiner minimum tree (SMT)问题,即选择数据包传输的最佳节点。实验表明,与其他算法(Dijkstra 最短路径算法、粒子群优化算法)相比,该方案有效解决了 VANET 通信链路容易断裂问题,降低了网络延迟,并实现实时更新路由信息的功能。

## 1 VANET 的 QoS 模型

VANET 通常描述为无向带权图  $G=(V,E)$ ,  $V$  是节点集合,  $E$  是路径集合。针对 VANET 中节点运动方向灵活多变、节点间链路稳定性较差、计算成本较大的问题,将 VANET 中选择通信节点问题转化为选择最短路径的问题,其思想是利用欧式距离进行计算节点之间的距离,把 QoS 参数作为路径时延度量。即将 QoS 问题转化为延迟成本最小化约束优化问题,路径时延包括路径传输时延以及处理时延,路径时延计算公式<sup>[11]</sup>如下所示。

$$T(\text{path}(a,b)) = \sum_{e \in \text{path}(a,b)} T(e) + \sum_{v \in \text{path}(a,b)} T(v), \quad (1)$$

$$d(a,b) = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}, \quad (2)$$

其中,  $e$  表示两节点之间的路径,  $T(e)$  表示传输时延,  $v$  表示节点,  $T(v)$  表示处理时延,  $V$  集合中任意  $a, b$  节点,用  $\text{path}(a,b)$  表示两点之间路径,  $T(\text{path}(a,b))$  表示路径时延,  $d(a,b)$  表示节点  $a, b$  间距离。

在 VANET 中,数据从源节点传输到目的节点是采用多跳模式,其目的是寻找到时延最小的路径,即目标函数的计算公式为

$$f(x)_{\min} = T(\text{path}(a,b)). \quad (3)$$

## 2 离散萤火虫算法

萤火虫算法是根据萤火虫通过发光来传达信息的自然现象而提出的一种群智能优化算法,亮度越强表明其吸引力越大,向其靠拢的可能性就越大。VANET 中的 SMT 问题实际上是离散二进制问题,因此将利用离散型萤火虫(DFA)算法求解此问题。

### 2.1 解的构造

在 VANET 中,除了源节点及目的节点之外,其他都是候选节点。所有节点按照顺序进行编号,候选节点被编码为二进制字符串,取值 0 或者 1,0 表示该节点未被选择,1 表示该节点被选择。假设  $v_1 \sim v_7$

和 13 条边构成一个 VANET,  $v_1, v_5$  分别是源节点和目的节点,其他节点是候选节点, SMT 问题可以描述为在候选节点中选择若干个节点使得通信成本是最小的, DFA 算法就是用来搜索最佳候选点组成最短通信路径,一个可行解表示一个候选节点子集,则 1010 可以表示如图 1, 节点  $v_2, v_4$  被选择, 节点  $v_3, v_6, v_7$  未被选择。 DFA 算法用来搜索候选节点,不必考虑源节点和目的节点,其他根据概率进行选择若干个,但是选择的节点需要尽可能地减少网络通信成本,由此寻找到满意的解。如果节点链路断开,说明该解是非可行解。其解的结构可以表示成:

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}),$$

其中,  $i=1, 2, 3, \dots, m$ ;  $m$  是萤火虫种群大小;  $n$  是节点数。

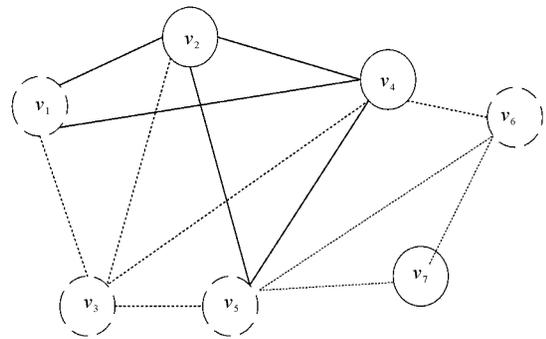


图 1 解的解码子图

Fig. 1 Decoded subgraph of solution

### 2.2 萤火虫个体间的距离计算

VANET 中 SMT 问题是离散组合优化问题,解向量变量中只有 0 或者 1,则采用计算比较简单的汉明距离公式进行计算萤火虫个体间的距离<sup>[12]</sup>,即两个解之间的距离。设个体  $i, j$  位置分别为  $x_i, x_j$ ,其距离记为

$$hm\_d_{ij} = Hm\_distance(x_i, x_j). \quad (4)$$

### 2.3 DFA 在 VANET 中设计思想

在 VANET 问题中,采用的是离散型萤火虫优化算法作为寻找 SMT 问题中最优节点的搜索策略,即利用计算公式(1)得到路径时延,根据公式(3)可得到目标函数值,  $f$  越小,说明该节点是下一跳节点的机会就越大;反之,  $f$  越大,说明该节点高延时,距离较远,被选择的机会就越小。 DFA 算法在选择下一跳节点时并不是按照传统方式选择离目标节点最近邻居节点,而是根据网络路径时延的高低,动态地选择能够获得较好的状态节点传输数据。而这个过程就是通过 DFA 算法作为搜索策略实现的。

### 2.4 DFA 算法求解 SMT 问题过程

综上, 结合 DFA 算法, 求解 VANET 中 SMT 问题的步骤如下:

Step 1 初始化各个参数;

Step 2 根据公式(1)计算路径时延适应度值, 并根据式(1)、式(5)将其转化为萤火虫的荧光素值

$$l_i(t) = (1 - \rho)l_i(t - 1) + \gamma f(x_i(t)). \quad (5)$$

在算法迭代过程中, 经过萤火虫个体位置更新变换后, 可能会出现越界情况, 为保持种群的规模和多样性, 当开始新一轮迭代后, 在利用式(5)更新荧光素值之前, 对不满足的解进行重新赋值, 保证每次都可以找到可行解, 提高搜索速度;

Step 3 使用式(4)计算汉明距离, 在其动态决策域半径  $r_d^i(t)$  ( $0 < r_d^i(t) \leq r_s$ ) 内选择比萤火虫个体荧光素值  $l_i$  更大的个体形成其邻域集合  $N_i(t)$ ;

Step 4 计算萤火虫个体  $i$  向其  $N_i(t)$  内的个体  $j$  ( $j \in N_i(t)$ ) 靠拢的可能性  $p_{ij}(t)$

$$p_{ij}(t) = \frac{l_j(t) - l_i(t)}{\sum_{k \in N_i(t)} l_k(t) - l_i(t)}; \quad (6)$$

Step 5 随机生成  $0 \sim 1$  之间的变量  $r$ , 且  $r(k) \in \{r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_n\}$ , 萤火虫位置按照一定的概率, 即根据  $r(k)$  来选择位置更新; 在更新过程中, 解的每一维按照一定的概率进行变动, 使用式(7)实现位置更新:

$$x_{i,k}(t+1) = \begin{cases} x_{ik}(t), & \text{if } r(k) \leq p_1 \\ x_{jk}(t), & \text{if } p_1 < r(k) \leq p_2 \\ \text{round}(\text{rand}), & \text{if } r(k) > p_2 \end{cases} \quad (7)$$

Step 6 利用式(8)更新  $r_d^i$

$$r_d^i(t+1) = \min\{r, \max\{0, r_d^i(t) + \beta(n_i - |N_i(t)|)\}\}; \quad (8)$$

Step 7 重复 Step 2~Step 6, 直到满足终止条件(达到最大迭代次数), 就停止迭代。

在 DFA 中,  $\rho$  表示荧光素挥发因子,  $\gamma$  表示荧光素更新率,  $\beta$  表示动态决策域更新率,  $n_i$  表示  $N_i$  内包含的萤火虫数量的阈值,  $s$  表示移动步长,  $r_s$  表示感

知半径,  $t$  是当前迭代次数。

## 3 实验及结果分析

### 3.1 实验环境以及参数设置

实验环境是 MATLAB 2015Ra, Inter(R) Xeon (R) CPU E5-1620 v3 @3.5 GHz, win8 操作系统。DFA 算法实验参数参见文献[12],  $\rho = 0.4, \gamma = 0.6, \beta = 0.08, n_i = 5, s = 0.03$ , 初始荧光素值  $l_0 = 5, p_1 = 0.15, p_2 = 0.85, m = 100$ , 初始动态决策域半径  $r_d^i(0) = r_s = 6$ 。设置最大迭代次数  $\text{iter\_max} = 500$ , 算法运行 30 次。

### 3.2 测试实例

如图 2 所示, 以 16 个节点组成的 VANET 为例<sup>[13]</sup>。其无向带权图  $G$  含有 32 条边, Ad Hoc 节点随机放置在  $400 \text{ m} \times 500 \text{ m}$  区域中。为了验证算法的性能, 在相同的 VANET 下, 使用不同的测试实例将 DFA 算法与 Dijkstra 最短路径算法<sup>[14]</sup>、粒子群优化算法<sup>[8]</sup>进行对比。

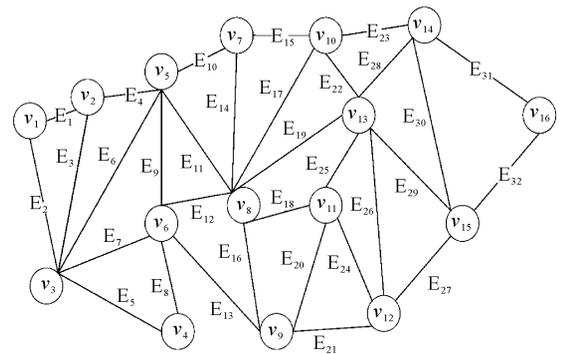


图 2 测试实例 VANET 图

Fig. 2 The VANET diagram of test cases

### 3.3 仿真结果

实验仿真结果如表 1 所示,  $Best$  表示在 Dijkstra 最短路径算法下找到的最优值, 当 DFA 算法找到的最优值与  $Best$  的差值的绝对值小于或等于求解精度 ( $10^{-5}$ ), 则记录寻优成功一次。

由表 1 中 SR 可知, 利用 DFA 算法都可以成功寻找 4 个实例的最优路径, 说明用该算法解决该 VANET 中 SMT 问题是有效的。

表 1 测试实例求解结果

Table 1 Solution results of test cases

实例 Sample	源节点 Source node	目的节点 Destiny node	节点序列 Node list	最优路径 Optimal path	最优值 Best	寻优成功率 SR (%)
1	$v_2$	$v_{15}$	$v_2, v_5, v_8, v_{13}, v_{15}$	$E_4 - E_{11} - E_{19} - E_{29}$	843.98	100
2	$v_2$	$v_{10}, v_{15}$	$v_2, v_5, v_7, v_{10}, v_{13}, v_{15}$	$E_4 - E_{10} - E_{15} - E_{22} - E_{29}$	887.52	100
3	$v_2$	$v_4, v_9, v_{10}, v_{15}$	$v_2, v_3, v_6, v_4, v_8, v_{10}, v_9, v_{12}, v_{15}$	$E_3 - E_7 - E_8 - E_{12} - E_{16} - E_{17} - E_{21} - E_{27}$	1 273.53	100
4	$v_2$	$v_3, v_4, v_9, v_{10}, v_{13}, v_{15}$	$v_2, v_5, v_6, v_4, v_8, v_{10}, v_9, v_{13}, v_{15}$	$E_4 - E_9 - E_8 - E_{12} - E_{16} - E_{17} - E_{22} - E_{29}$	1 303.45	100

为了对比 DFA 算法与 Dijkstra 最短路径算法<sup>[14]</sup>、粒子群优化算法<sup>[8]</sup>的优劣,本实验是以算法平均运行时间(Average running time, ART)、端到端平均时延时间(Average delay time, ADT)为度量。

### 3.4 算法平均运行时间

算法平均运行时间(ART)指算法达到最佳值的平均运行时间,4个实例的 ART 如图 3 所示。

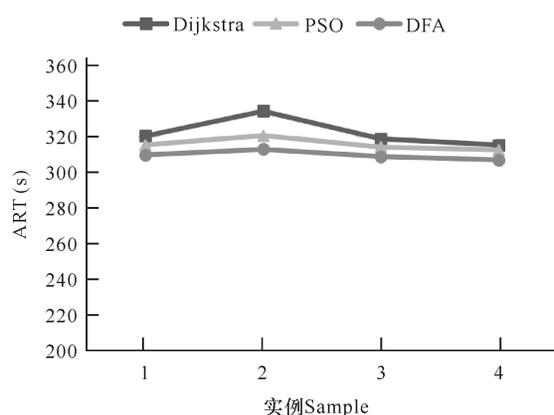


图 3 ART 变化图

Fig. 3 Chart of ART change

据图 3 可知,当源节点和目的节点数量增多时,3种算法的变化趋势基本一致,ART 先增后减,但是 4 个实例中 DFA 算法 ART 值优于其他两种算法;对于 DFA 算法来说,ART 值变化不大,说明该算法在解决 VANET 中的 SMT 问题中是可行的。

### 3.5 端到端平均时延时间

端到端平均时延时间(ADT)是指数据从源节点传输到目的节点的时间平均值。4 个实例运行 30 次时延时间的平均值如图 4 所示。

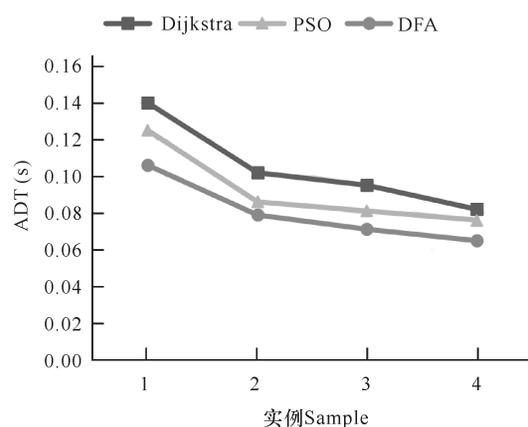


图 4 ADT 变化图

Fig. 4 Chart of ADT change

由图 4 可知,随着 VANET 中节点数的增加,3 种算法的 ADT 均呈现下降趋势。原因是节点数增

加则可以被选择的节点数也增加,数据就能更快速地传输到目的节点。另外,使用 DFA 算法根据路径时延转化为萤火虫荧光素值来选择下一跳节点,减少了数据传输过程的时延,进一步降低了数据包的端到端时延时间,也说明了在网络拓扑结构比较稳定的通信链路中,可以实时应用多播路由算法。

综上,用 DFA 算法求解 VANET 问题是可行有效的,且比 Dijkstra 最短路径算法和粒子群优化算法性能更佳,原因主要有:

第一,将 VANET 中多播路由问题简单化描述成为连续优化问题,其最终目标是 minimized 通信成本。实际上是解决 QoS 中多播路由中的 SMT 问题。

第二,基于经典萤火虫算法,提出了离散型萤火虫算法,并用二进制形式表示,将其作为寻找 VANET 中最优节点的搜索策略。

第三,在求解萤火虫算法个体之间距离时采用的是汉明距离公式求解,可直接对个体间二进制形式的解求解不同字符的个数,没有使用传统的欧氏距离公式,加快了算法的求解速度。

## 4 结论

在 QoS 约束 VANET 中,将 VANET 问题转化为图形问题,并将其转化为搜索 SMT 最短路径问题。由于最短路径的选择,实际上是稳固了通信链路,不经常变化的网络使得路由信息容易实时更新。用 DFA 算法搜索最短路径,即候选节点的选择,能够较大程度提升通信链路的稳定性,减少通信链路的时延。

在以后的工作中,将对 VANET 进行更深入地研究,尝试将其他智能算法作为搜索策略。

### 参考文献

- [1] DAS S R, BELDING-ROYER E M, PERKINS C E. Ad-hoc on-demand distance vector (AODV) routing [EB/OL]. [2019-02-04]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561>.
- [2] VERMA V K, SINGH S, PATHAK N P. Analysis of scalability for AODV routing protocol in wireless sensor networks [J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125(2): 748-750.
- [3] CHENG Y, ÇETINKAYA E K, STERBENZ J P G. Dynamic source routing (DSR) protocol implementation in ns-3 [C]// SIMUTOOLS 12 Proceedings of the 5th International ICST Conference on Simulation Tools and

- Techniques, Brussels, Belgium; International ICST Conference on Simulation TOOLS and Techniques, 2012; 367-374.
- [4] JOHNSON D B, MALTZ D A. Dynamic source routing in Ad Hoc wireless networks [M]// IMIELINSKI T, KORTH H F (eds). Mobile computing. The kluwer international series in engineering and computer science, Vol. 353. Boston: Springer, 1996: 153-181.
- [5] KARP B, KUNG H T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]. MobiCom'00 Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Boston, Massachusetts, USA, 2000: 243-254.
- [6] 黄保华, 莫家威, 吕琦. 基于模糊神经网络的稳定 AODV 协议改进方案[J]. 计算机工程与科学, 2018, 40(11): 1974-1982.
- [7] 李璞, 彭鹏菲. 基于 DSR 协议的局部路由修复算法[J]. 指挥控制与仿真, 2018, 40(1): 72-74.
- [8] 龚凯, 陈志, 岳文静. 基于粒子群算法的车载自组网 GPSR 协议优化[J]. 计算机技术与发展, 2018, 28(11): 184-188, 193.
- [9] 郗君甫. 基于动态自适应萤火虫优化算法[J]. 邢台职业技术学院学报, 2017, 34(5): 78-82.
- [10] 张明, 张树群, 雷兆宜. 改进的萤火虫算法在神经网络中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(5): 159-163.
- [11] 周杰英, 彭石, 刘映淋, 等. 车载自组网中一种自适应粒子群算法的研究[J]. 现代计算机: 专业版, 2017(11): 26-30.
- [12] 倪志伟, 肖宏旺, 伍章俊, 等. 基于改进离散型萤火虫群优化算法和分形维数的属性选择方法[J]. 模式识别与人工智能, 2013, 26(12): 1169-1178.
- [13] ZHANG X, ZHANG X, GU C. A micro-artificial bee colony based multicast routing in vehicular ad hoc networks [J]. Ad Hoc Networks, 2017, 58(2): 213-221.
- [14] ZHANG B, LIU Y, CHEN C. An efficient delay-constrained multicast routing algorithm [C]. International Conference on Communication Technology Proceedings. Beijing, China: IEEE, 2002.

## Application of Discrete Firefly Algorithms in Vehicle-borne Networks

HUANG Xin

(Department of Information and Electromechanical Engineering, Guangxi Agriculture Vocational and Technical College, Nanning, Guangxi, 530007, China)

**Abstract:** Vehicular ad hoc network (VANET) is one of the mobile ad hoc networks with the characteristics of rapid change of nodes, flexible topology and high communication capability. In order to improve the reliability of vehicular ad hoc network and realize safe data sharing and fast interaction, the discrete firefly (DFA) algorithm is applied to solve the multicast routing problem with quality of service constraints in the vehicle network. According to the routing characteristics of VANET, the problem is transformed into a constrained optimization problem with minimum delay cost, and the path delay of vehicular networks is transformed into the fluorescein value of firefly. The algorithm is then tested with four examples and compared with Dijkstra's shortest path algorithm and particle swarm optimization algorithm. The experimental results show that the discrete firefly algorithm has better performance and can effectively solve the SMT (Steiner minimum tree) problem in VANET and successfully obtain the optimal path. The algorithm stabilizes the network topology to a certain extent and can update node information in real time.

**Key words:** vehicular ad hoc network, discrete firefly algorithm, quality of service, multicast routing, network topology

责任编辑: 陆雁