

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.02.009

# 基于孤立点的全局最小MPR集选择算法

李绍帅, 文 鸿, 赵子龙, 沈小建, 欧阳旻

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 针对 OLSR 协议中采用贪婪算法选择最小 MPR 集存在的冗余问题, 提出了基于孤立点的全局最小 MPR 集选择算法。通过逐步剔除可达数最小的一跳节点, 产生新孤立点, 获取最小 MPR 集; 当可达数最小的一跳节点不唯一时, 考虑全局 MPR 节点的影响, 优化整个网络的 MPR 节点数量。仿真结果表明: 本文所提的 MPR 选择算法相对于基于贪心策略的 MPR 选择算法, 整个网络 MPR 节点数量减少 7%, 控制消息开销明显降低, 网络性能得到提高。

**关键词:** 孤立点; 最小 MPR 集; 优化链路状态路由协议; 冗余; 全局最优

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)02-0048-05

## Global Minimum MPR Set Selection Algorithm Based on Isolated Points

LI Shaoshuai, WEN Hong, ZHAO Zilong, SHEN Xiaojian, OUYANG Min

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Aiming at the redundancy problem in the OLSR protocol, a global minimum MPR set selection algorithm based on the isolated points is proposed. The algorithm generates a new isolated point by eliminating step by step the minimum reachable number of nodes and obtains the minimum MPR set. At the same time, the effect of the global MPR node is considered when the minimum reachable number of nodes are not unique, so as to optimize the number of MPR nodes in the whole network. Experimental results show that compared with the MPR selection algorithm based on greedy strategy, the proposed MPR selection algorithm decreases the number of MPR nodes in the whole network by 7%, reduces the network control message overhead significantly and improves the network performance.

**Keywords:** isolated points; minimal MPR set; optimized link state routing protocol; redundancy; global optimization

## 0 引言

优化链路状态路由 (optimized link state routing, OLSR) 协议是在经典链路状态路由协议的基础上, 专门为移动 Ad-Hoc 网络开发的表驱动路由协议<sup>[1]</sup>。OLSR 协议相对于经典链路状态路由协议所做的优化主要体现在: 一是采用多点中继 (multipoint relay,

MPR) 机制, 节点选择其邻节点中的部分节点作为 MPR 节点, 再通过 MPR 节点转发拓扑控制消息 (topology control, TC), 从而减少相同控制消息的重复转发, 避免广播风暴; 二是缩减控制消息的大小, 从而降低网络开销。由此可知, 在 OLSR 协议中, MPR 集越小, 控制消息开销越低, 网络性能越好。

目前关于 MPR 节点选择的研究分为 2 类: 一种

收稿日期: 2015-12-01

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (14JJ3123), 湖南省教育厅科研基金资助项目 (15K035, 15C0408, 14A037)

作者简介: 李绍帅 (1991-), 男, 河南新乡人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为无线 Mesh 网络,

E-mail: lss239@sina.cn

通信作者: 文 鸿 (1981-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要研究方向为下一代宽带无线通信网,

E-mail: wenhhut@163.com

是在贪心算法<sup>[2-5]</sup>的基础上进行优化;另一种是采用新策略<sup>[6-13]</sup>寻找MPR集。文献[5]利用贪心策略获得满足条件的MPR集,再对MPR节点进行排序,消除冗余节点,该算法简单高效,能在当前解中消除冗余,但不一定能获得最优解。文献[10]提出了基于遗传算法的MPR选择算法,先通过实验获得变异参数,再使用启发式策略和有针对性的遗传策略找到最优解,该算法的缺陷是变异操作需要由实验条件确定。文献[11]提出了基于候选解的改进蚁群算法,通过候选解更新信息素,在较短时间内收敛到最优解,但是算法初期,由于缺少足够的全局信息,盲目搜索所占的时间较长。文献[12]提出了将组合数和按位与运算相结合的方法来寻找最小冗余MPR集,但该算法的解空间搜寻时间复杂度很高。文献[13]提出了将全局因素加入MPR选择判据中,逐步消除剩余节点的MPR集冗余,但是该全局策略会造成部分MPR节点被长时间选用,从而得不到最小MPR集。

综上所述,本文提出了基于孤立点的全局最小MPR集选择算法(global minimum MPR set selection algorithm based on isolated points, IGMPR),剔除冗余一跳节点,得到最小MPR集。该算法是在保证单个节点的最小MPR集前提下,再对MPR集作进一步优化,即当多个节点的可达数一样时,引入全局MPR节点。

## 1 OLSR协议的MPR集

### 1.1 MPR集的定义

网络中某节点*i*的MPR集必须满足以下条件:该节点MPR集的每个节点均为一跳节点;该节点通过MPR集能覆盖所有的二跳节点。由此可抽象出,最小MPR集合问题为最小集合覆盖问题。定义 $N_1(i)$ 为节点*i*的一跳节点集, $N_2(i)$ 为节点*i*的二跳节点集,节点*i*的MPR集为*S*,则所求的MPR集应满足以下条件:

$$S \subset N_1(i); \quad (1)$$

$$\forall x \in N_2(i), \exists y \in S, x \in N_1(y)。 \quad (2)$$

可知,MPR集问题转换为求满足上述条件的*S*集合最小值问题。求解最小MPR集是一个完全多项式复杂程度的非确定性问题<sup>[14]</sup>,要找到最优解,需要一个指数时间算法来实现。OLSR协议采用基于贪心策略的MPR选择算法(MPR selection algorithm based on greedy strategy, GMPR),在较短的时间内能找到一个较好的解。

### 1.2 最小MPR集的选择

GMPR算法思想如下:首先将 $N_1(i)$ 中到 $N_2(i)$ 的唯一可达节点加入MPR集,然后在 $N_1(i)$ 的剩余节点中

依次选择可达数最大的节点加入到MPR集,直到 $N_2(i)$ 被完全覆盖。该策略的优点是计算简单、快速,易于实现,但选择可达数最大的节点会造成MPR集可能存在大量冗余。

图1为中心节点*i*计算MPR集的拓扑示意图。其中{*a, b, c, d, e, f*}为一跳节点集 $N_1(i)$ ,{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13}为二跳节点集 $N_2(i)$ 。根据GMPR算法,节点*a*提供到1的唯一可达性,此时将节点*a*加入MPR集;剩下的节点依据贪心策略,选择覆盖二跳节点最多的节点*d*为MPR;此时,二跳节点集还没有被完全覆盖,而剩下的节点可达数都为2,选密度大的节点*c*和*e*加入MPR集;二跳节点集被完全覆盖,节点*i*的MPR集为{*a, c, d, e*}。显然,该拓扑中节点*i*的最优MPR集为{*a, c, e*}。因此,由GMPR算法得到的MPR集存在冗余节点,不是最优解。

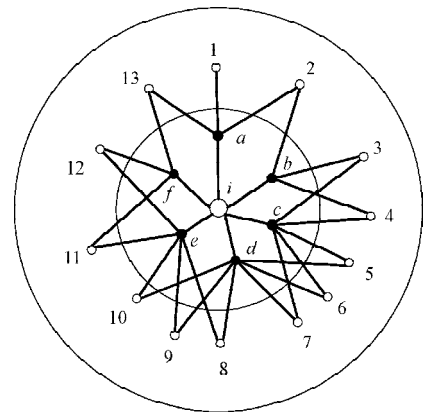


图1 计算MPR集的拓扑示意图

Fig. 1 The schematic topology of calculating MPR set

## 2 基于孤立点的全局最小MPR集选择算法介绍

GMPR算法选择可达数最大的节点,易导致MPR集冗余,致使网络开销增多。针对上述问题,本文从孤立点的特性出发,并加入全局MPR因素,来选择MPR集。

### 2.1 基于孤立点的MPR集选择策略

只能通过唯一的一跳节点到达中心节点的二跳节点为孤立点<sup>[15]</sup>。孤立点所对应的一跳节点必须添加进MPR集,因为除孤立点所对应的一跳节点,其它任一一跳节点被剔除时,在剩余的一跳节点集合中均能找到MPR集。在一跳节点中,可达数最小的节点往往是冗余节点,因此,本文将其剔除。当剔除一个或多个一跳节点时,其对应的二跳节点将会成为新孤立点。因此,基于孤立点的最小MPR集选择策略为:首先将所有孤立点对应的一跳节点加入

MPR 集；再通过不断剔除可达数最小的一跳节点来形成新孤立点，并将所产生的新孤立点所对应的一跳节点加入 MPR 集，直到所有二跳节点被 MPR 集完全覆盖。

下面用图 1 来说明基于孤立点的最小 MPR 集选择策略的处理过程。二跳节点中的节点 1 是孤立点，因此将节点 1 所对应的一跳节点  $a$  加入 MPR 集。剩下的二跳节点中没有孤立点，则选择可达数最小的一跳节点进行处理。一跳节点  $b$  和  $f$  的可达数都为 2，此时剔除节点  $b$ ，则出现孤立点 3 和 4。将孤立点 3 对应的一跳节点  $c$  加入 MPR 集。在剩下的一跳节点中， $d$  的可达数为 3， $e$  的可达数为 5， $f$  的可达数为 2，剔除可达数最小的节点  $f$ ，此时出现孤立点 11 和 12，将 11 对应的一跳节点  $e$  加入 MPR。此时，所有二跳节点都已被覆盖。节点  $i$  的 MPR 集为  $\{a, c, e\}$ ，没有冗余节点，为该拓扑的最优解。

## 2.2 考虑全局因素的最小 MPR 集选择算法

中心节点  $i$  在选择 MPR 集时， $N_1(i)$  中已被其它节点选入其 MPR 集的节点为全局 MPR 节点。文献[13]提出的基于全局优化的 MPR 选择算法，首先将全局 MPR 节点加入自己的 MPR 集，然后在除去全局 MPR 节点的剩余一跳节点集中寻找最小 MPR 集，但是该算法容易使单个节点无法获得最小 MPR 集。本文对此进行改进，首先利用基于孤立点的最小 MPR 集选择策略以保证单节点的 MPR 集最小。在此基础上，当剔除可达数最小的节点不唯一时，将全局因素加入 MPR 的选择中。若被处理节点为非全局 MPR 节点，则直接剔除；否则保留。若非全局 MPR 节点都被剔除时，剩余一跳节点均为全局 MPR 节点，此时逐次剔除该集合中节点。本算法通过剔除最小可达数的一跳节点，可以找到最小 MPR 集，当最小可达数的一跳节点不唯一时，考虑全局 MPR 节点，以减少全局 MPR 节点的数量。

算法描述如下。

**步骤 1** 定义中心节点  $i$  的 MPR 集为  $S$ ，且初始化  $S$  为空。

**步骤 2** 若  $N_2(i)$  中存在孤立点，则将孤立点对应的一跳节点加入  $S$ 。

**步骤 3** 若  $N_2(i)$  中仍有未被  $S$  所覆盖的节点，作如下处理。

1) 计算  $N_1(i)$  中节点的可达数。

2) 若可达数最小的节点唯一，则不论该节点是否为全局 MPR 节点，都直接剔除该节点，返回步骤 2。

3) 若可达数最小的节点有多个。当被处理节点为非全局 MPR 节点时，则剔除该节点，返回步骤 2。

当被处理节点为全局 MPR 节点时，则继续处理下一个节点，若处理到最后一个节点发现都是全局 MPR 节点时，则剔除第一个节点，返回步骤 2。

**步骤 4** 若  $N_2(i)$  都已被  $S$  所覆盖，算法结束。

该算法以全局优化来避免局部最优，在选择本节点的 MPR 集时，考虑了一跳节点是否已被其他节点选为 MPR 节点。因此，获取一跳节点的全局 MPR 参数信息是算法实现的前提。相邻节点可通过广播的 Hello 消息得到相互的信息。因此，本文在 Hello 消息中定义 MSC 字段即携带该节点的 MPR 选择器个数，实现全局 MPR 信息的传播。初始阶段，不存在全局 MPR 信息，MPR 计算按照基于孤立点的 MPR 选择策略执行。网络出现全局 MPR 节点后，算法逐步进行全局优化，每当网络中某个节点的相邻区域和二跳相邻区域发生变化时，就会重新计算该节点的 MPR 集，并为其单独发送一条 Hello 消息，更新整个网络拓扑。

## 3 仿真分析

本文通过修改基于 IGMP 选择算法的 OLSR 协议 (IGMPR\_OLSR) 的相关数据结构和功能，实现一跳节点是否为全局 MPR 节点的信息传递，为 MPR 集的选择提供依据。基于 NS2 平台，对 2 种协议 IGMPR\_OLSR 协议和基于 GMMP 选择算法的 OLSR 协议 (GMMPR\_OLSR) 进行仿真分析，测试了网络的整体 MPR 数、收发 TC 消息分组数、网络延时等性能。仿真场景设置为：在  $600\text{ m} \times 800\text{ m}$  的范围内有 50 个节点，使用 cbrgen 产生随机 cbr 数据流，cbr 封包的大小为 512 B，最大联机数为 10，发包率为 10 个/s，仿真时间为 30 s。在仿真过程的记录文件中，使用 awk 工具统计并分析出各项数据随时间的变化曲线，如图 2~4 所示。

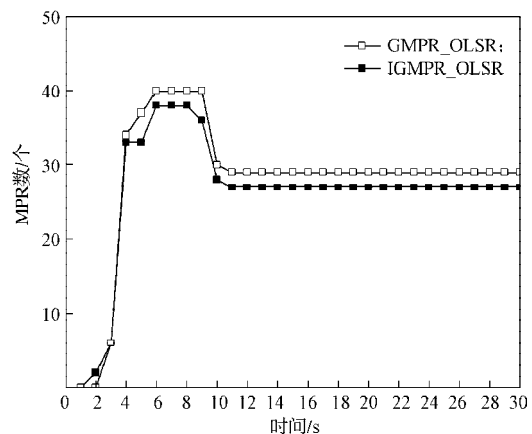


图 2 MPR 节点数量对比图

Fig. 2 The contrast diagram of MPR node numbers

由整个网络中的MPR节点数量对比图(见图2)可知:仿真进行到11 s时,路由协议收敛,网络达到稳定状态;GMPR\_OLSR协议的全局MPR节点数为29,本文所提的IGMPR\_OLSR协议的MPR节点数为27,此时IGMPR\_OLSR协议的全局MPR节点数降低了7%。

TC消息的发送数体现了网络中TC消息的洪泛初始规模,数值越小说明MPR集节点越少,冗余性越小;TC消息的接收数反应了MPR集对TC消息洪泛的影响,网络中接收的TC消息越少,则中间MPR节点转发TC消息数就越少。图3为收发TC消息分组数对比图。

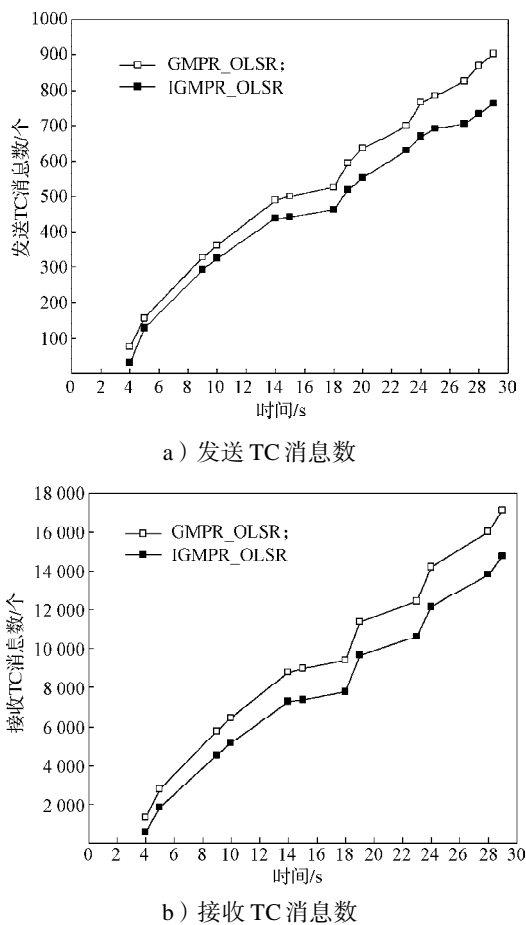


图3 收发TC消息分组数对比图

Fig. 3 The comparison diagram for number of packets to send and receive TC messages

由图3a可知,IGMPR\_OLSR协议发送TC消息数少于GMPR\_OLSR协议,而且差值越来越大,仿真到30 s时,GMPR\_OLSR协议发送TC消息数为903,IGMPR\_OLSR协议发送TC消息数为846,减少了57,减少量达6.3%。这说明IGMPR\_OLSR协议优化了MPR集的选择,通过减少全局MPR节点数,降低了TC消息的洪泛规模。由图3b可知,IGMPR\_OLSR协议接

收的TC消息数始终少于GMPR\_OLSR协议;仿真进行到30 s时,GMPR\_OLSR协议接收TC消息数为17 106个分组,IGMPR\_OLSR协议接收TC消息数为14 754个分组,减少了2 352个分组,减少量达13.8%,这说明IGMPR\_OLSR协议减少了中间MPR节点转发TC消息数,也意味着减少了TC消息的洪泛次数。2种TC消息数明显减少,也进一步说明了IGMPR\_OLSR协议对MPR集的优化效果。

平均端到端延迟是报文从源节点到目的节点的平均传输时间。图4为网络平均延迟对比图。由图可知,IGMPR\_OLSR协议的网络平均时延要小于GMPR\_OLSR协议;仿真进行到11 s路由协议收敛后,IGMPR\_OLSR协议的网络平均延迟减少量维持在0.5 ms左右,这说明IGMPR\_OLSR协议通过减少全局MPR节点的数量,减少了网络控制消息开销,从而降低了网络延迟,提高了网络性能。

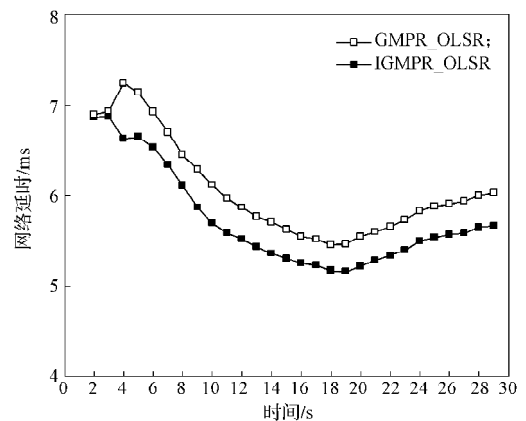


图4 网络延迟对比图

Fig. 4 The comparison diagram of network delay

## 4 结语

本文针对OLSR协议中采用贪婪算法选择最小MPR集存在的冗余问题,提出了基于孤立点的全局最小MPR选择算法,通过不断形成孤立点,找到最小MPR集,并从节点的全局MPR特性来优化MPR集的选择。利用NS2将本文所提IGMPR\_OLSR协议与基于贪婪策略选择MPR集的OLSR协议进行仿真分析,仿真结果表明:在全局MPR节点数量上,IGMPR\_OLSR协议能有效减少,降低了7%;网络中TC消息的发送量减少6.3%,接收量减少13.8%,降低了控制消息的开销和网络平均延迟,提高了网络的传输性能。在下一步的工作中,本课题组将研究在实际的网络环境中本算法的性能,并结合负载均衡的观点来尝试新的优化策略。

## 参考文献:

- [1] 陈林星, 曾曦, 曹毅. 移动 Ad Hoc 网络自组织分组无线网络技术[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2012: 130-133.  
CHEN Linxing, ZENG Xi, CAO Yi. Mobile Ad Hoc Network: Self Organizing Packet Radio Network Technology[M]. 2nd ed. Beijing: Electronic Industry Press, 2012: 130-133.
- [2] 沈呈, 陆一飞, 夏勤, 等. 无线 Mesh 网中一种基于 MPR 当选频度的 OLSR 扩展路由协议[J]. 计算机科学, 2009, 36(12): 93-96.  
SHEN Cheng, LU Yifei, XIA Qin, et al. MPR Election Frequency Based Extended OLSR Protocol in Wireless Mesh Networks[J]. Computer Science, 2009, 36(12): 93-96.
- [3] BENABBOU A, BOUSHABA A, ZAHI A, et al. NCA: New Cooperative Algorithm for Reducing Topology Control Packets in OLSR[J]. Journal of Networks, 2015, 10(3): 125-133.
- [4] 兰鹏, 李二涛, 何桂仙. 基于改进 OLSR 路由协议的 Mesh 网络的研究[J]. 杭州电子科技大学学报, 2013, 33(4): 54-57.  
LAN Peng, LI Ertao, HE Guixian. Research of Mesh Network Based on the Improved OLSR Routing Protocol [J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2013, 33(4): 54-57.
- [5] 赵健, 孙俊锁. OLSR 路由协议的改进及其 NS2 仿真分析[J]. 计算机仿真, 2008, 25(1): 161-163.  
ZHAO Jian, SUN Junsuo. Simulation and Analysis of an Improved OLSR Routing Protocol Based on NS2[J]. Computer Simulation, 2008, 25(1): 161-163.
- [6] ECHCHAACHOUI A, OUACHA A, HABBANI A, et al. Enhanced MPR Selection Process in OLSR Based on Agitation of Nodes[J]. International Journal of Advancements in Computing Technology, 2013, 5(10): 166-174.
- [7] 钟路, 赵先明, 夏红霞. 求解最小 MPR 集的蚁群算法与仿真[J]. 智能系统学报, 2011, 6(2): 166-171.  
ZHONG Luo, ZHAO Xianming, XIA Hongxia. An Ant Colony Algorithm and Simulation for Solving Minimum MPR Sets[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2011, 6(2): 166-171.
- [8] WANG Anbao, ZHU Bin. Improving MPR Selection Algorithm in OLSR Protocol Based on Node Localization Technology[J]. Journal of Networks, 2014, 9(7): 1674-1681.
- [9] KOTS A, KUMAR M. The Fuzzy Based QMPR Selection for OLSR Routing Protocol[J]. Wireless Networks, 2014, 20(1): 1-10.
- [10] 张信明, 曾依灵, 干国政, 等. 用遗传算法寻找 OLSR 协议的最小 MPR 集[J]. 软件学报, 2006, 17(4): 932-938.  
ZHANG Xinming, ZENG Yiling, GAN Guozheng, et al. Finding the Minimum MPR Set in OLSR Protocol with Genetic Algorithms[J]. Journal of Software, 2006, 17(4): 932-938.
- [11] 张禾良, 熊焰, 苗付友. 最小 MPR 集选取问题的改进蚁群优化算法[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(1): 126-129.  
ZHANG Heliang, XIONG Yan, MIAO Fuyou. Minimum MPR Set Selection: An Improved Ant Colony Optimization Approach[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2012, 33(1): 126-129.
- [12] 张洪, 高杨. 一种新型 MPR 集选择算法[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2015, 34(1): 38-40.  
ZHANG Hong, GAO Yang. New Chosen Algorithm of MPRs[J]. Journal of Chengdu University (Natural Science Edition), 2015, 34(1): 38-40.
- [13] 刘杰, 王玲, 王杉, 等. 基于 OLSR 协议的最小 MPR 集选择算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(2): 305-308, 339.  
LIU Jie, WANG Ling, WANG Shan, et al. Minimum MPR Set Selection Algorithm Based on OLSR Protocol[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(2): 305-308, 339.
- [14] QAYYUM A, VIENNOT L, LAOUITI A. Multipoint Relaying for Flooding Broadcast Messages in Mobile Wireless Networks[C]//Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Washington: IEEE, 2002: 3866-3875.
- [15] BUSSON A, MITTON N, FLEURY E. Analysis of the Multi-Point Relay Selection in OLSR and Implications[M]. New York: Springer, 2006: 387-396.

(责任编辑: 邓彬)