

求解最小 MPR 集的蚁群算法与仿真

钟珞, 赵先明, 夏红霞

(武汉理工大学 计算机科学与技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:在分析利用贪心策略启发式算法求解最小 MPR 集的缺陷基础上,引入蚁群算法对最小 MPR 集进行求解. 首先定义了节点及其出度和入度,并根据节点的出度和入度限制,给出了求解最小 MPR 集的蚁群算法. 然后,对蚁群算法的 3 种模型 Ant-Cycle、Ant-Quantity 和 Ant-Density 加以改进,并对这 3 种改进模型的收敛性进行分析与实验. 实验采用了圆形分布和理想均匀分布 2 种拓扑结构,前者实验结果表明 Ant-Cycle 模型的收敛速度较快,后者结果表明 Ant-Cycle 模型和 Ant-Density 模型各有优势. 因此,最小 MPR 集的蚁群算法的模型选择需依据拓扑结构确定. 最后,使用 OPNET 基于该算法对数据链的点对多点的点名呼叫工作方式模拟仿真,选择的统计量显示了节点的连通性和数据一致性,验证了该算法的合理性.

关键词:最小 MPR 集; 蚁群算法; OLSR 协议; OPNET

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2011)02-0166-06

An ant colony algorithm and simulation for solving minimum MPR sets

ZHONG Luo, ZHAO Xianming, XIA Hongxia

(Department of Computer Science and Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Based on analyzing the defects of a heuristic algorithm of greedy strategy, an ant colony algorithm was imported to solve the minimum MPR set. First of all, a node and its out and in-degrees were defined, and in accordance with the out and in-degree constraints of the node, ant colony algorithms were given based on the graphics to find the minimum MPR set. Then, three kinds of ant colony algorithm models, the Ant-Cycle, Ant-Quantity, and Ant-Density models, were improved, and the convergence curves of the three kinds of models were analyzed and tested. An ideal uniform topology and a circular distribution topology were both used in experiments. Former experimental results showed that the Ant-Cycle model was faster in convergence speed; the latter results showed that the Ant-Cycle and Ant-Density models both have advantages. Therefore, ant colony algorithm model selection of the minimum MPR set might be subject to topology. Finally, OPNET was used based on the above algorithm for simulation. It adopted the data link's point-to-multipoint calling mode. The selected statistics show connectivity and data consistency among the nodes, which means that the algorithm is reasonable.

Keywords: minimum MPR set; ant colony algorithm; OLSR (optimized link state routing protocol); OPNET

移动 Ad-hoc 网络, 又称为 MANET (mobile ad hoc network), 具有自创造、自组织和自管理的特点. 该网络不依赖于任何固定的网络设施, 而是通过移动节点间的相互协作来进行网络互联. OLSR 协议即最优链路状态路由协议, 是 MANET 工作组提出的一种先应式表驱动的路由协议. MANET 因其节点的移动性使得拓扑

结构不断变化, 需要对信息及时更新. 该协议使用 HELLO 和 TC 消息发现链路状态信息, 然后通过 MANET 广播链路状态信息, 使网络信息及时更新^[1-2]. 每个节点都维护和不断更新一系列的数据表. 这些数据表都是以周期发送的控制信息的内容为依据的, 在某节点发起数据发送请求时, 它只需要查找自己的路由表, 找到路径进行数据发送^[3].

OLSR 协议是用控制信息去感知和建立无线自组网, 同时用一种优化的方式去传递拓扑信息^[4-5], 在该协议中关键的概念就是 MPR. MPR 节点承担在

收稿日期: 2010-06-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61003130); 教育部高校行动计划资助项目 (2004XD-03).

通信作者: 赵先明. E-mail: freshzhaoxm@163.com.

全网中通告链路状态的责任,为了计算到目的节点的最短路由,只需在链路状态信息中包含MPR节点与其MS(MPR selector)节点之间的链路状态信息就足够了.那么要解决的一个关键问题就是求解节点的最小MPR集. A. Qayyum 等人证明了求解最小MPR问题是一个NP完全问题^[6].

MANET中,远距离节点之间的网络互连是通过多跳技术实现的.互连拓扑动态变化的特性,给该领域带来了许多难题.因此,路由问题是MANET技术的关键问题,也是它能够有效应用而必须解决的问题.因为无线网络比较灵活并且扩展性好,这些特性易导致网络拓扑发生动态变化,这样它与物理、链路、网络层之间相互影响的问题也随之而来.虽然路由算法有很多,但是基本上每种路由都有一定的缺陷.此时,必须基于网络的需求,引入蚁群算法来完成对路由协议的改善.

蚁群算法(ant colony optimization, ACO)是一种用来在图中寻找优化路径的机率型算法^[7],它通过个体之间的信息交流与相互协作最终找到最优解.蚁群算法是一种模拟进化算法,该方法具有正反馈、分布式计算和富于建设性的贪婪启发式搜索的特点,如蚂蚁活动范围、路径的选择、路径上信息量的更新以及蚂蚁之间的协同.由于蚁群中多个个体的运动是随机的,当群体规模较大时,要找出一条较好的路径需要较长的搜索时间.虽然人们已经针对不同的具体问题提出了许多不同类型的改进蚁群算法,但是这些算法模型的普适性不强,并且蚁群算法也不能直接应用于具体的优化问题,还必须加以改进和限制.

经过比较,本文选择蚁群算法来改进路由协议(optimized link state routing protocol, OLSR)的MPR(multipoint relays)技术,并用OPNET仿真工具进行仿真验证.

1 节点的最小MPR集求解

网络中各节点独立地计算自己的MPR集.如果节点的MPR集满足如下条件:

- 1) 节点与MPR之间必须是双向对称链路;
- 2) 节点所发送的分组通过MPR中继,能够到达所有的两跳邻居节点.

然后最小化MPR数量,得到节点的最小MPR集.那么,MPR就能有效地进行TC分组的转发.

图1是根据A. Qayyum等人的算法计算节点A的最小MPR集的拓扑示意图(内圆里面是A节点的一跳节点,矩形框代表二跳节点),可以得出最小

MPR为 $\{b, c, e\}$.而实际上节点A的最小MPR集合为 $\{b, d\}$.可见,该算法可以在较短时间里找到一个MPR集,但找到的解可能不是最优解.

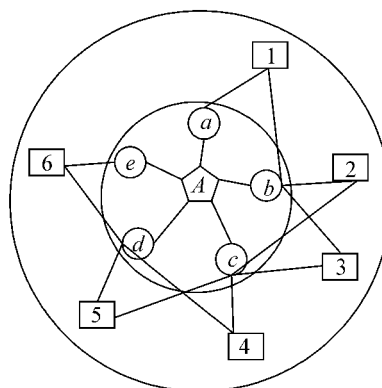


图1 基于贪心策略的启发式算法求MPR集
Fig.1 Using heuristic algorithm to seek MPR set

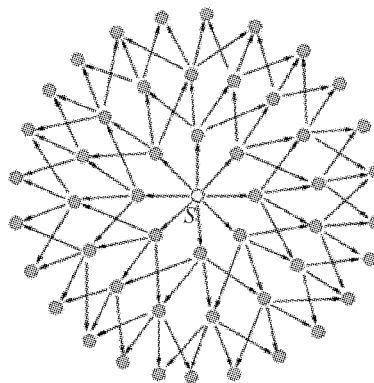


图2 实验中的拓扑结构(I)
Fig.2 Topology graph(I) in experiments

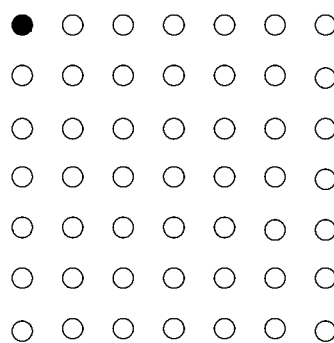


图3 实验中的拓扑结构(II)
Fig.3 Topology graph(II) in experiments

赵健等人通过对原MPR集合中节点的再次排序判断,除去了冗余节点,从而得到最小MPR集^[8];张信明等人采用遗传算法寻找最优MPR^[9],提出了一种基于遗传算法的具有收敛性的新算法,但若群体规模太小时,算法的优化性能不会很好,而且容易

陷入局部最优解.

2 基于蚁群算法求解最小 MPR 集

使用图 $G = (V, E, W)$ 描述本算法, 其中 $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ 是所有节点集合; $E = \{(i, j), i \neq j, i, j \in V\}$ 用于描述采用的邻接表集合; W_j 描述节点 j 的出度; $\tau_{ij}(t)$ 表示在 t 时刻节点 i 和 j 之间的信息量. 实验观察表明, 蚂蚁在运动过程中会留下一信息素, 其后面的蚂蚁可根据前边走过的蚂蚁所留下的信息量选择其要走的路径, 一条路径上的信息量越多, 蚂蚁选择这条路径的概率就越大^[7]. 当 $W_j = 0$ 时, 蚂蚁停止移动也即本次循环停止. 数组 $\text{In_d}[l]$ ($0 \leq l \leq n$) 用来记录每个节点的入度, 如果节点 l 不是二跳节点, 那么 $\text{In_d}[l] = 0$. 该算法的目标是求解节点的 MPR 集, 其流程图如图 4.

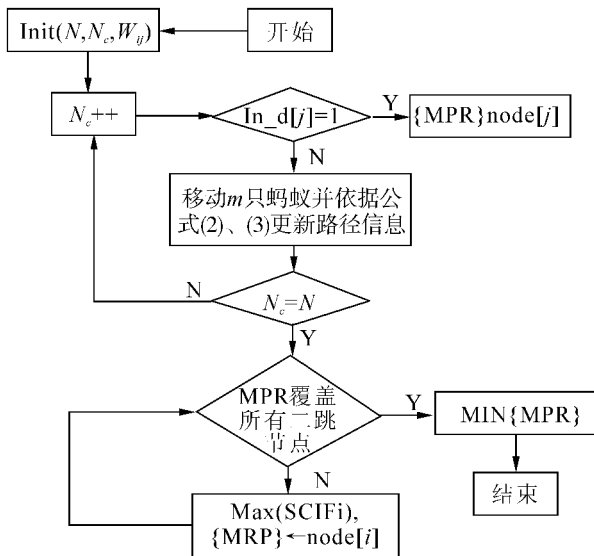


图4 基于蚁群算法求解最小 MPR 集的流程图

Fig.4 The flow chart of solving minimal MPR set

说明:

1) 对每个蚂蚁 $k(k = 1, 2, \dots, m)$ 按概率 $p_{ij}^k(t)$ 移至下一符合条件的节点 j . 这里的概率 $p_{ij}^k(t)$ 为

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [w_{ik}(t)]^\beta}{\sum_{S \in \text{allowed}_k} [\tau_{is}(t)]^\beta [w_{is}(t)]^\beta}, & j \in \text{allowed}_k, \\ 0, & \text{else.} \end{cases}$$

式中: allowed_k 表示蚂蚁 k 下一步允许走过的节点的集合; α 为信息启发因子; β 为期望启发因子.

2) 更新路径上的信息强度. 为了避免残留信息素过多引起残留信息淹没启发信息, 在每只蚂蚁走完 n 个节点后, 要对各路径上的信息量作更新:

$$\tau(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t),$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_i^m \Delta\tau_{ij}^k(t).$$

式中: ρ 是信息素挥发参数, 其中 $0 < \rho < 1$; $\Delta\tau_{ij}^k(t)$ 表示蚂蚁 k 在本次循环中在路径 (i, j) 上留下的信息量.

3) N_c 为迭代次数, m 为蚂蚁数量. CIF_i 代表从节点 i 到二跳节点上所有路径上的信息量.

3 改进的蚁群算法模型

在此对上述蚁群算法的模型进行相应的修改.

在 Ant-Cycle 模型中,

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q \cdot S_k, & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环中经过路径 } (i, j); \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

式中: Q 表示信息素强度, 它在一定程度上影响算法的收敛速度; S_k 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中节点的总出度.

在 Ant-Quantity 模型中,

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q \cdot S_k, & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在时间 } t \text{ 和 } t+1 \text{ 之间经过路径 } (i, j); \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

在 Ant-Density 模型中,

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q, & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在时间 } t \text{ 和 } t+1 \text{ 之间经过路径 } (i, j); \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

这 3 种模型各有优劣, 应根据具体的问题来选择相应的模型. 假设蚂蚁的数量为 m , 节点的数量为 n , 循环次数为 N_c , 那么当 n 足够大时, 该蚁群算法的时间复杂度仍然为 $T(n) = O(N_c \cdot n^2 \cdot m)$. 与基于贪心策略的启发式算法相比, 该算法的收敛速度较慢^[10], 但能保证所求 MPR 集合是最小的.

在 Matlab 实验中, 采用 2 种拓扑结构进行实验. 第 1 种拓扑结构为圆形分布, 即采取与 A. Qayyum 等人相同的拓扑结构 (如图 2 所示): 共有 50 个节点, 求节点 S 的最小 MPR 集. 本实验中, 设定 $m = 20$, $\rho = 0.1$, $Q = 1.2$, 经过多次实验确定参数 $\alpha = 1.5$, $\beta = 2.5$ (效果比较好), 分别用改进后的蚁群算法的 3 种模型进行实验, 得出的收敛曲线如图 5 所示. 第 2 种拓扑结构是理想的均匀分布 (如图 3 所示), 求黑色节点的最小 MPR 集. 在实验中, 同样设定 $m = 20$, $\rho = 0.1$, $Q = 1.2$, $\alpha = 1.5$, $\beta = 2.5$, 再分别用改进后的蚁群算法的 3 种模型进行实验, 得出的收敛曲线如图 6 所示.

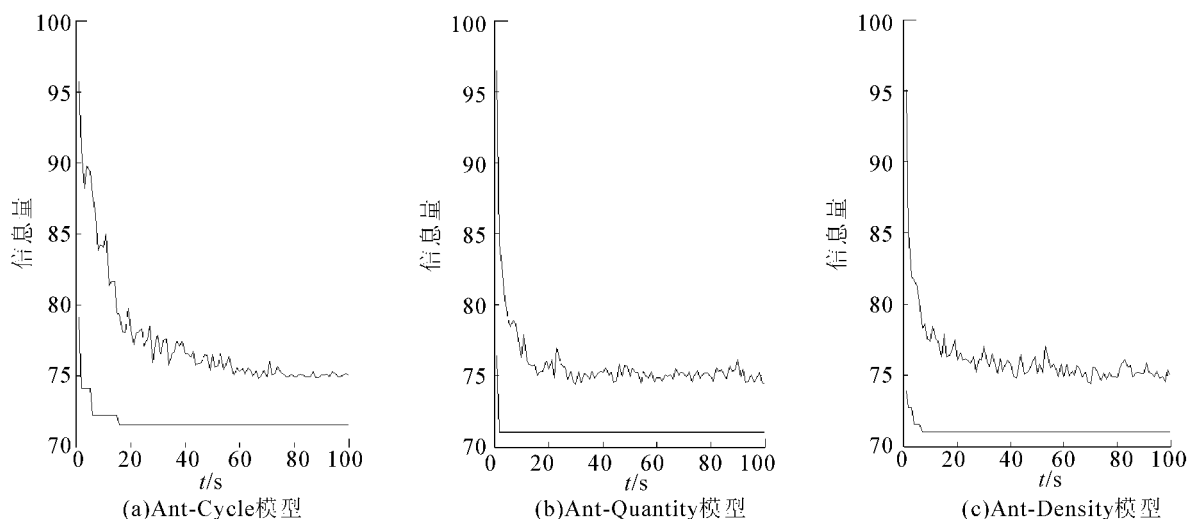


图5 采用拓扑结构(I)的3种模型的收敛曲线

Fig. 5 The convergence curves of three types of models based on topology graph(I)

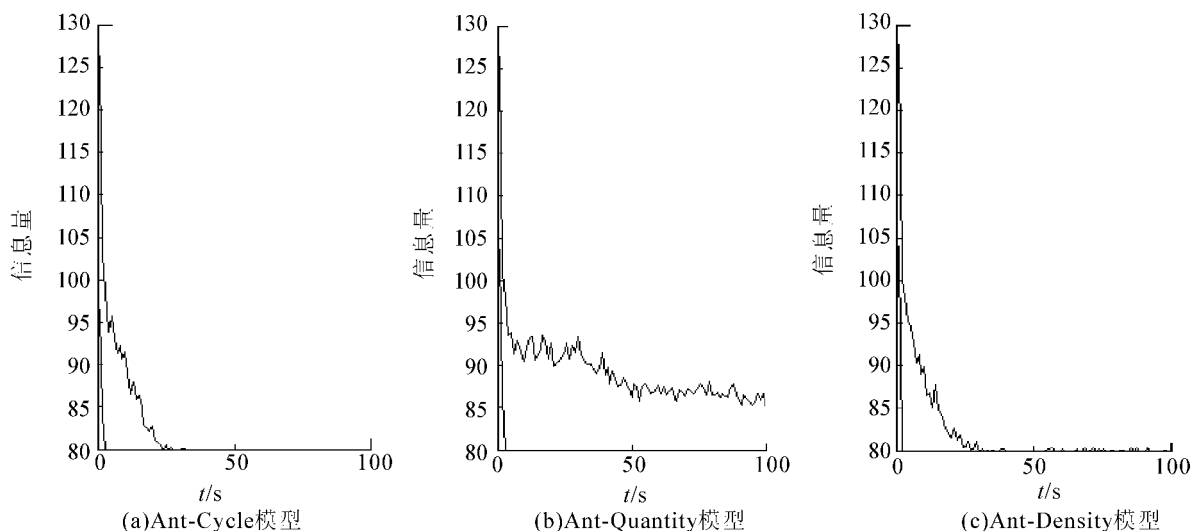


图6 采用拓扑结构(II)的3种模型收敛曲线

Fig. 6 The convergence curves of three types of models based on topology graph(II)

由图5可知 Ant-Cycle 模型的收敛速度较快,那么在第1种拓扑结构中采用 Ant-Cycle 模型较好.由图6可知 Ant-Cycle 模型和 Ant-Density 模型的收敛效果大致相似,第2种拓扑结构可以采用其中任一种模型.从实验中可知,可根据具体的问题来采选择模型.但该算法是以收敛速度为代价来提高正确率;在时间复杂度上要高于贪心策略的启发式算法.

4 OPNET 仿真

4.1 模型设计

采用 OPNET 工具,并设计点对多点的点名呼叫工作方式的仿真模型,通过仿真结果说明数据连通性、数据一致性等来验证以所提算法的可行性.

点对多点的点名呼叫工作方式的设计.

1)主节点依次给网络中的所有节点发送点名包.

2)被点名的节点收到点名包后,启动计时器并逐个从数据包队列中取出数据包并发给主节点;如果数据包发送完毕,则向主节点回复完毕信息.

3)主节点接到数据完毕信息,立即点名下个节点.

基于本文需求,设计了如图7所示的仿真节点模型,其中包括4个基本功能:产生包、处理包、接收/发送包和定时控制(图7中用实线框分开).

在所设计的节点模型中设计了多个进程模块,此处仅以 pk_deal 进程模块的设计为例进行说明.在 pk_deal 模块中,强制状态有:from_src、from_radio、init、MPR,非强制状态:idle.其中 MPR 状态包含了以上蚁群算法,主要是计算节点的最小 MPR 集(选择 Ant-Cycle 模型),便于后面数据包的发送.带箭头的线表示状态转移方向,其旁边括号内的字符串表示状态转移条件.如图8所示.

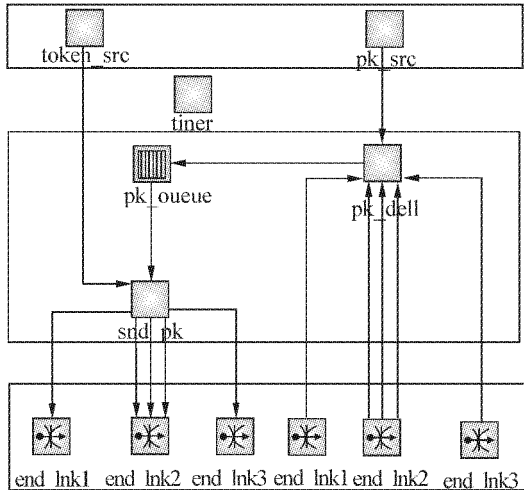


图7 节点模型示意

Fig. 7 Schematic diagram of the node model

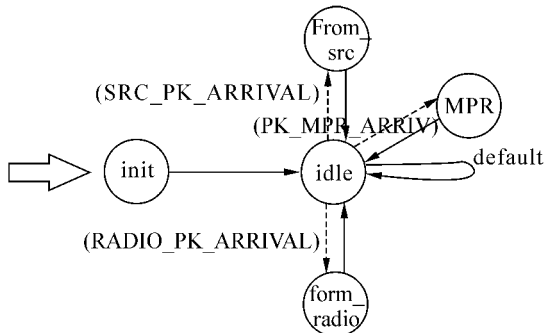


图8 pk_deal 进程模块的设计

Fig. 8 Design of pk_deal module

4.2 仿真结果

仿真的网络拓扑结构有2种:圆形分布(图1)和方形分布(类似拓扑结构II),需要调整节点的发射功率以及节点之间距离以区分一跳节点和二跳节点.节点A能够计算自己的MPR集合,然后根据集合中的MPR节点转发信息.

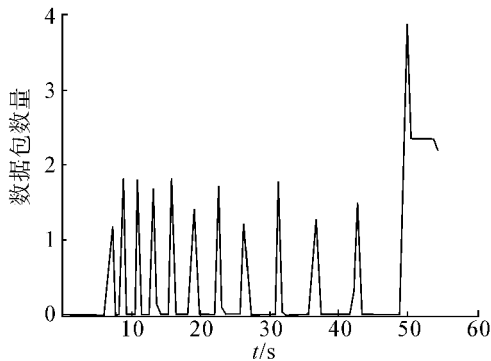


图9 节点A的发包波形

Fig. 9 Waveforms of node A sending data

设置整个仿真时间为55 s,在7 s之前节点A计算自己的最小MPR集,从7 s开始发送点名数据包,等待被点名节点的信息回复,接收到回复信息之后继

续发送点名包.图9为节点A的点名包和数据包发送情况(横坐标表示时间,纵坐标表示每秒发送数据包数量).图中的前11个波峰是发送点名包,末尾波峰表示给自己点名,并发送数据包,故波峰较高.

图10为圆形分布结构的所有节点被点名后的发送数据包情况.其中圆点是发送点名包标记,较低波形代表节点A发送点名包.图中共有12个数据发送波形,这就证明了节点之间是连通的.图11则为方形分布的所有节点被点名后的发送数据包情况,亦能证明节点之间是连通的.

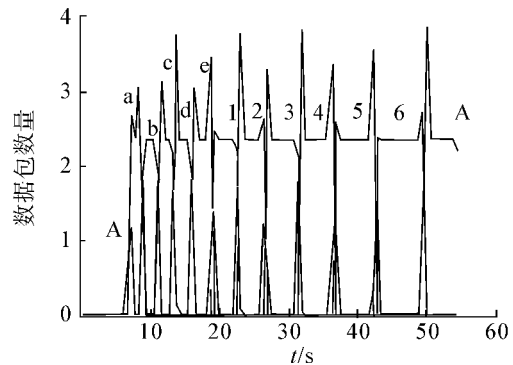


图10 点名呼叫工作方式波形(圆形分布)

Fig. 10 Waveforms of receiving and sending data (circular)

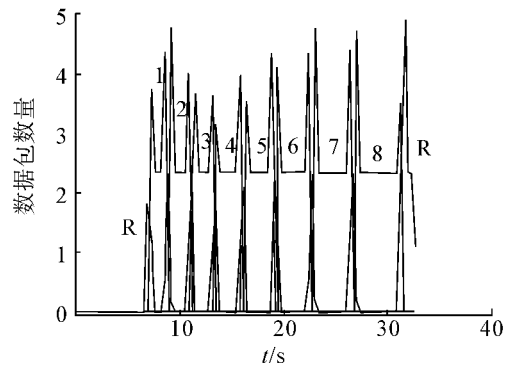


图11 点名呼叫工作方式波形(方形分布)

Fig. 11 Waveforms of receiving and sending data (square)

图12为节点1被点名后(2种拓扑结构的效果类似),发送数据包过程中其队列中数据包变化情况.队列中数据包在点名之前都在累积,当被点名后,就会发送队列中的所有数据包.这证明了数据的时间一致性.

仿真结果表明了本文给出的基于蚁群算法求最小MPR集是可行的.由于整个仿真过程的数据量较少,整个网络也是处在理想状态下,所以延迟很小;如果对于实际的MANET网络,其拓扑结构是经常发生变化的,因此在拓扑易变、高速和高数据流通量的情况下,要提高网络性能不仅要选择路由协议,还

要改进算法和考虑路由层的QoS.

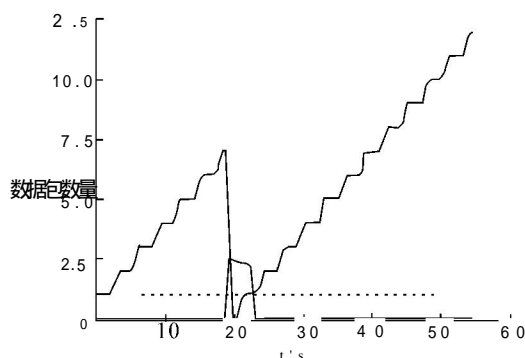


图12节点1被点名的数据包统计

Fig.12 Statistics of the called node 1s data packets

5 结束语

求最小MPR集是一个NP完全问题.本文利用蚁群算法对其进行求解并加以改进,通过对蚁群算法中不同模型的分析、比较实验,可以得出拓扑结构(1))选择 Ant-Cycle模型的蚁群算法具有较好的收敛性,能在规定的时间内找到最小MPR集;拓扑结构()可以选择 Ant-Cycle模型或者 Ant-Density模型. Matlab仿真结果表明了该算法的合理性与可行性;进一步,本文利用OPNET在数据链点对多点的工作方式上对该算法进行仿真实验,仿真结果验证了该算法的正确性.在下一步的研究中,将对该算法进行优化,在保证正确求解最小MPR集的前提下,减少时间上的开销,从而降低时间复杂度;同时在OPNET仿真中加入分布式交互仿真策略,以促进仿真间的互操作和可重用性.

参考文献:

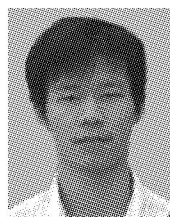
- [1] HIDEHSA N, SATOSHI K, ABBAS J, et al. A dynamic anomaly detection scheme for AODV-based mobile ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(5): 2471-2481.
- [2] ASOKAN R. A review of quality of sService(QS) routing protocols for mobile Ad hoc networks[C]// ICWCSC 2010, Chennai, 2010: 16.
- [3] 谢飞, 张信明, 郭嘉丰, 陈国良. 延迟主导的自适应移动Ad hoc网络路由协议[J]. 软件学报, 2005, 16(9): 1661-1667.
Xie Fei, Zhang Xinming, Guo Jiafeng, et al. A delay oriented adaptive routing protocol for mobile Ad hoc networks[J]. Journal of Software, 2005, 16(9): 1661-1667.
- [4] YONG Bai, LAN Chen. Extended multicast optimized link state routing protocol in MANETs with asymmetric links[C]// GLOBECOM-IEEE Global Telecommunications Conference. Washington, DC, 2007: 1312-1317.
- [5] WANG M, LAMORT L, MASON P, et al. An effective intrusion detection approach for OLSR MANET protocol[C]// Secure Network Protocols 1st IEEE ICNP Workshop, [S. l.], 2005: 55-60.
- [6] QAYYUM A, VIEMOT L, LAOUITI A. Multipoint relaying for flooding broadcast messages in mobile wireless networks[C]// The 35th Hawaii International Conference on System Sciences(HICSS 2002). Hawaii, 2002: 3866-3875.
- [7] 段海滨著. 蚁群算法原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1-447.
- [8] 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.
- [9] 张信明, 曾依灵, 干国政, 陈国良. 用遗传算法寻找OLSR协议的最小MPR集[J]. 软件学报, 2006, 17(4): 92-93.
ZHANG Xinming, ZENG Yiling, GAO Guozheng, et al. Find the minimum MPR set in OLSR protocol with genetic algorithms[J]. Journal of Software, 2006, 17(4): 932-98.
- [10] 夏红霞, 宋华珠, 钟路. 算法设计与分析[M]. 湖北武汉: 武汉大学出版社, 2007: 1-344.
- [11] 骆光明等. 数据链-信息系统连接武器系统的捷径[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 8: 1-356.

作者简介:



钟路,男,1957年生,教授,博士生导师,武汉理工大学计算机学院院长,CCF高级会员.武汉计算机工程学会副理事长,湖北省计算机学会副理事长.主要研究方向为智能技术与智能系统、网络软件工程.承担过多项国家级和省部级重点科研项目,获湖北省自

然科学优秀学术论文一等奖1项、二等奖3项、三等奖5项;获部级教学成果一等奖1项,湖北省科技进步一等奖2项,自然科学奖二等奖1项,国家重点科技攻关优秀成果奖1项.发表学术论文100余篇,其中50余篇被SCI、EI、ISTP检索收录.



赵先明,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向为网络软件工程.



夏红霞,女,1960年生,教授,硕士生导师,主要研究方向为数据库应用技术、专家系统、软件工程.主持或参加了多项科研项目,参加"九五"国家重点攻关项目混凝土安全性专家系统,2004获湖北省科技进步一等奖.发表学术论文40篇.获湖北省自然科学优秀学术论文二等奖1项、三等奖1项,获武汉市自然科学优秀学术论文二等奖1项、三等奖2次.