

BPDSR: 基于 Chord 算法的 MANET 双向路由模型

龙建辉, 陈 靖, 朱清超, 高培勇

(空军工程大学 信息与导航学院, 陕西 西安 710077)

摘 要: 为提高移动自组织网络(mobile ad hoc network, MANET)路由查询效率, 通过对 P2P(peer-to-peer)网络与 MANET 的交叉研究, 在 DSR 协议基础上引入 Chord 算法, 提出双向路由模型 BPDSR. BPDSR 双向路由发现算法和路由资源共享算法, 降低了查询复杂度, 减少了路由失效和绕路问题. 通过 BPDSR 算法性能分析和 NS-2 仿真实验表明, BPDSR 路由模型的路由效率明显提高.

关键词: 对等技术; 移动自组网; 动态源路由; 双向路由; 资源共享

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)02-0156-05

BPDSR: MANET Bi-directional Routing Model Based on Chord algorithm

LONG Jian-hui, CHEN Jing, ZHU Qing-chao, GAO Pei-yong

(College of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: To improve the inquiring efficiency of MANET route, this paper expanded Chord algorithm into DSR and presented a routing model BPDSR through the study of P2P and MANET. By bi-directional routing algorithm and shared routing algorithm, BPDSR lowered the inquiring complexity and eliminated the invalidity of route and detour problem. Put the new protocol into simulation in NS-2 and compared its performance with DSR. The results show that the inquiring efficiency of BPDSR is better.

Key words: P2P; MANET; DSR; bi-directional route; resource sharing

1 引言

移动自组织网络是一种不依赖任何固定网络通信基础设施便能快速投入使用、节点自组织和分布式管理的动态无线网络^[1]. MANET 网络节点具有移动性, 通信过程中既是路由器又是主机, 节点间常经过多跳转发实现无线通信. 目前, 比较典型的 MANET 路由协议有先应式(主动)路由选择协议 DSDV(destination sequenced distance vector routing)、反应式(按需)路由选择协议 DSR(dynamic source routing)、AODV(ad hoc on demand distance vector)等. 前期研究表明, 在网络规模较小时, DSR 整体性能要优于 AODV 和 DSDV, 但在网络规模较大时, 以上三种协议的性能均有所下降, 其中查询效

率明显下降, 网络可扩展性急剧降低^[2].

针对现有路由协议可扩展性不强等问题, 结合对 P2P 技术与 MANET 的交叉研究, 将 P2P 高效的搜索策略扩展到 MANET 路由协议已成为研究趋势. 文献[3]中提出基于 P2P 计算模式的 MANET 路由模型 PDSR, 选择按需路由 DSR 为研究对象, 融合 Chord 算法, 在物理拓扑结构上构建结构化 P2P 逻辑覆盖层(Chord 环), 一定程度上解决了 DSR 泛洪查找的缺陷, 提高了路由搜索效率. 但是由于 Chord 存在拓扑失配的缺点^[4].

2 Chord 算法和 DSR 协议

Chord 是由 MIT 和 UC Berkeley 提出的一种分布式查找算法, 目的是在 P2P 网络中快速定位资

收稿日期: 2014-05-24; 修回日期: 2014-06-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61172083)

源^[5]. 算法将节点和信息资源关键字分别通过一致性哈希散列算法得到节点标识符和关键字标识符. 该算法在网络覆盖层将 P2P 网络视为结构化网络——按节点标识符大小顺时针排列成一个逻辑标识环(Chord 环). 按照 Chord 算法映射规则, 关键字标识符由顺时间方向最近的节点负责, 从而实现信息资源的定位和共享. 由于 Chord 存在拓扑失配的缺点, 斯坦福大学对此在搜索方式上提出了双向 Chord 路由机制, 从环中顺时针和逆时针两个方向进行资源查找, 加快了查询速度.

DSR 是典型的 MANET 按需路由协议. 触发节点启动路由发现和维持的情况: 源节点需要发送数据分组且本地路由缓存中对应的路由已经过期或为空、中间节点需要转发数据分组、发送节点由于部分节点失效以及网络拓扑变化而收到源路由中间节点的路由错误信息. DSR 中单个节点无需维护所有节点路由信息, 具有较好的动态性, 但每个数据分组在发送时都需包含源路由信息而造成较大协议开销, 使其网络可扩展性较差^[6].

3 BPDSR 模型的构建

MANET 不具备有线网络的固定基础设施, 图 1 为 MANET 中部分节点组成的网络结构示意图. 在 DSR 基础上融入 Chord 算法的主要目的是进行移动节点的定位和路由查找, 因此每个消息查询的键值就是目标移动节点的身份标识符. 两者一一对应, 而不是一对多的关系. 有通信需求的节点在 MANET 网络层上逐次建立一个覆盖层网络, 按标识符大小顺时针排列成逻辑环形网络, 如图 2 所示. 在环域结构中, 移动自组网中节点全部由系统通过哈希运算而为其统一分配属于同一空间的唯一节点身份标志符(node identifier, NID)表示. 节点标识符用二进制表示, 当标识符为 m 位时, 环域最大规模可达到 2^m 个节点.

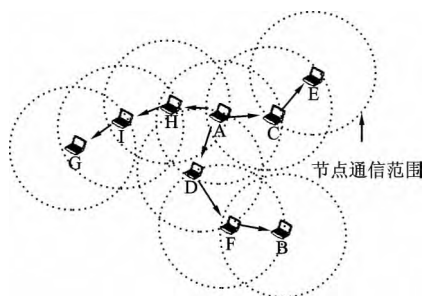


图 1 移动自组网示意图

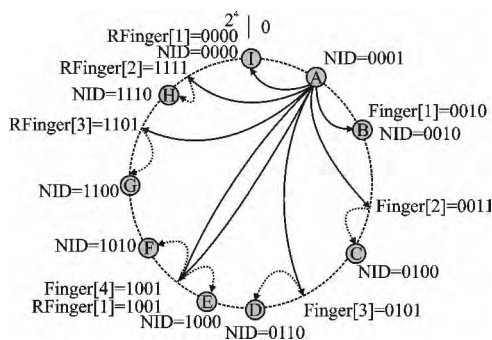


图 2 覆盖层环域结构

4 BPDSR 路由算法

4.1 BPDSR 路由发现算法

在覆盖层环域结构中, 节点路由表含有 m 个表项, 将整个 Chord 环从顺时针和逆时针方向各分割成 m 段环域空间(环域最大节点数 $N = 2^m$). 如图 2 所示, 每个节点的路由表中指针经过两个方向偏移后对应的各段环域空间的起点表示如下, 其中 $1 \leq n \leq m$.

$$\text{Finger}[n] = (\text{NID} + 2^{n-1}) \bmod 2^m \quad (1)$$

$$\text{RFinger}[n] = (\text{NID} - 2^{n-1} + 2^m) \bmod 2^m \quad (2)$$

每个偏移量所对应的后继节点标志(successor identifier, SID)为其经过顺时针偏移后所负责的环域空间段内顺时针方向第一个节点的 NID; 前驱节点标志(predecessor identifier, PID)为其经过逆时针偏移后负责的环域空间段内逆时针方向第一个节点的 NID.

各表项中设有到达对应后继节点的源路由(successor source route, SSR)和前驱节点的源路由(predecessor source route, PSR). 表 1 为图 2 中节点 A 路由信息.

表 1 节点 A 双向路由表信息

偏移量	PID	SID	PSR	SSR
1	0000(I)	0010(B)	<A, H, I>	<A, D, F, B>
2	1110(H)	0100(C)	<A, H>	<A, C>
4	1100(G)	0110(D)	<A, H, I, G>	<A, C, E, D>
8	1000(E)	1100(F)	<A, D, F>	<A, C, E>

当网络节点规模较小时, 节点路由表中可能出现相邻的两偏移量对应的 PID 或 SID 相同. 路由表可删除其冗余信息, 只保留其中最小偏移量对应的节点及源路由.

在路由发现过程中, 每个节点查询和负责本节点路由表中对应的 PSR 和 SSR, 采用多跳方式将路

由消息转发给各表项中的 SID 或 PID. 这不同于 DSR 通过广播机制对不同的目标节点进行路由发现(如图 1 所示),大大减少了网络流量负担.

不同于互联网中覆盖层网络在物理网络上简单叠加的应用方式,避免直接将覆盖层网络部署于 MANET 之上而不考虑底层网络的物理连接,路由算法利用 Chord 的定位原理对 DSR 全网泛洪的路由发现过程发挥引导作用,在经过的每个节点进行目标节点邻近性的比较,尽量利用可利用的有效路由,实现一定程度上有向地逼近目的节点. 与 DSR 类似,BPDSR 路由发现由事件触发,以按需机制启动路由发现算法,将 Chord 和 MANET 的路由协议通过跨层的机制在网络层结合起来,以覆盖层服务于网络层的“双层查找”方式寻找目标节点. 路由发现算法具体描述如下:

(1)当某个节点 A 发起查询或收到路由查询信息时,首先通过查找查询信息缓存判断该查询信息是否已经接收过. 如果是,则丢弃.

(2)节点 A 检测查询信息的源路由记录序列,如果 A 已经在其中,则丢弃(避免路由环路). 如果目标节点是 A,则查询结束, A 返回应答消息. 如果底层信道是双向的,直接按源路由记录表的逆方向向源节点返回应答. 否则,启动路由发现,寻找通往源节点的源路由,返回应答消息. 若以上情况都不符合,则进入(3).

(3)节点 A 查询路由表,将目标节点的 NID 依次与表项比较,如果目标 NID 刚好是某个表项中 SID 和 PID 或者某项源路由的中间节点,则转发查询消息. 若通往该节点的 SSR 与 PSR 失效或为空,则启动 DSR 路由发现,若收到应答消息,则更新路由表,并将查询消息转发至 SID 或 PID,否则, A 向源节点回应查询失败消息.

(4)如果路由表中没有对应项,节点 A 在 SID 中选取在环上逆时针方向最接近 NID 的节点 n_1 ,在 PID 中选取顺时针方向最接近 NID 的节点 n_2 ,并选择其中标识符与 NID 相差最小的节点为下一跳节点. A 将自身加入查询信息的源路由记录序列中并以顺时针或者逆时针方向转发查询消息.

(5)转发查询消息时,首先经过源路由中的中间节点,此时的中间节点为标准的 DSR 节点,如果中间节点自己的 NID 比节点 A 的下一跳节点更靠近目标节点,则该节点将截断该消息,然后重新在路由表中查找下一跳节点. 若查询信息成功转发到 A 的下一跳节点,该节点重复节点 A 的处理方法逼近目

标节点.

BPDSR 的一个重要目的就是尽可能地避免全网范围内的路由查找,利用基于 DHT 技术的节点命名机制,实现路由发现时对目标节点的逐步逼近,减小路由搜索范围. 查询范围的缩小程度取决于路由表的正确性和填充度,而这都依赖于 DSR 源路由检测和路由侦听等被动的路由维护方法. 在网络不忙时,网络流量较低,节点接收或侦听到的数据包较少,路由表填充度和正确性较差,泛洪查找的范围较大. 随着网络通信需求的增加,路由表有效性得以提高,因此每次查找也有较高的效率.

依据 Chord 采用的折半查找算法,在环域中顺时针单向查找的路由方式的查询复杂度为 $O(\log N)$ ($N=2^m$ 为环域最大节点数). 相比于单向查找过程路由表中只存有顺时针方向的节点路由,双向路由算法路由表中记录了顺时针和逆时针两个方向的节点信息,每个节点都可以从两个方向选择下一跳节点,使每一跳的效率更高. 路由表的构造方式使覆盖层的节点在查找过程中实现了近处“细查找”,远处“粗跳转”的路由查询方式. 这样可以减少查询时路由转发的跳数,降低查询复杂度.

当目的节点在逆时针方向上距离源节点较近时效果更为明显,避免了单向查找带来的绕路问题. 如图 3 所示,节点 A 查找目的节点 I 时,通过双向路由只需一跳即找到目的节点,而以单向路由查找时至少需要两跳. 而且逻辑上的一跳对应于实际网络中节点间至少一次的跳转,因此环上的双向查找更能缓解绕路问题.

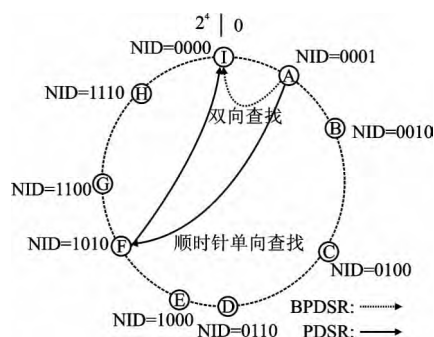


图 3 路由查找过程

4.2 路由资源共享算法

路由资源共享算法将每一次路由不可达时启动 DSR 路由发现或者节点加入时得到的路由资源按照根据一定的规则在环域空间内发布共享,使得环内节点能够逐步得到其他节点的最优路由,实现对网络拓扑结构的动态感知. 算法在环域内将路由资

源发布共享,同时将物理位置临近的非环域节点加入到环中,并在网络不忙时参与路由资源的发布和共享,路由效率会随着节点的增多越来越高。

路由资源由 $\langle K, V \rangle$ 表示, K 为查询路由资源的关键字,由所获取路由的源节点和目的节点表示, V 表示实际路径,为路由发现过程的发起节点沿路由发现路径上的“多跳路由”。如节点A到节点B,路径是“A $\rightarrow$ D $\rightarrow$ F $\rightarrow$ B”, $\langle K, V \rangle$ 对表示为 $\langle AB, ADFB \rangle$ 。

路由资源共享算法的具体描述如下所示。

(1)路由资源发布节点从发布队列中取出 $\langle K, V \rangle$ 对,根据Chord算法添加关键字的方式将路由资源发布到相应节点。节点根据收到的最新路径 V 更新路由表中源路由(实际路径可能在拓扑结构随时变化的MANET中已经改变)。

(2)若发生路由不可达的情况,则启动DSR发现过程,将查询递交到下一跳节点并更新路由表中的源路由。

(3)若发现的新路由中有新节点,则将它们依次加入环域空间。

(4)路由过程发起节点将新获得的 $\langle K, V \rangle$ 对计入到路由资源发布队列,等待下一次的路由资源发布。

算法在覆盖层双向搜索方式的基础上融合P2P分布式共享的思想,加强了传统MANET算法中移动节点间的共同协作。如图4所示,随着时间的推移,越来越多而类似节点F的空闲节点加入到环中。通过这种方式利用闲置节点的存储和计算资源,节点间通过共同协作推动路由发现和资源发布进程,加强了路由的实效性,路由效率随之提高势。

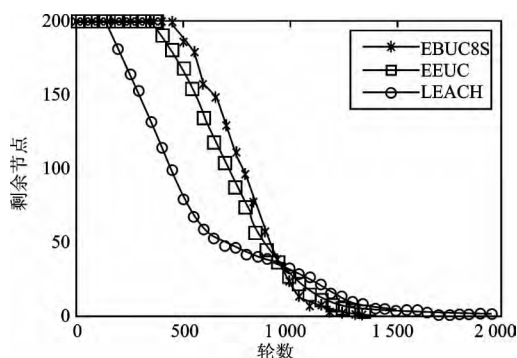


图4 节点间共同协作

4.3 BPDSR路由维护算法

节点的加入和退出过程与Chord算法类似。节点在通信过程中通过环中已有节点逐次加入环域

中。新节点以按需机制启动路由发现机制,同时更新路由表。

节点的退出分为正常退出和因故障退出。节点正常退出时,通知环中相应节点更新其前继和后继节点信息以及相关路由以保证环域的完整性。节点因故障退出时,因无法通知其他节点,暂不做处理,当需要查找时,在环域中查询失败后,启动DSR发现算法查找。

5 仿真实验

实验采用NS-2构建路由模型仿真平台,为融入Chord算法,在NS-2支持的DSR协议基础上进行扩展和改进,实现双向路由模型设计。BPDSR在DSR原有类的基础上,添加新C++类。添加新的协议还需扩展分裂对象模型^[7],即添加新tcl协议类、新协议支持以及对新协议的初始化。

实验在Linux系统中运行NS2.34,为比较DSR、PDSR、BPDSR在不同网络规模中的路由性能,分别在节点规模为50、70、100、200、300、400、500的模拟场景下进行500s实验仿真。场景空间为1000m $\times$ 1000m,节点移动速度为5m/s,停顿时间为30s,业务模式为传输CBR类型数据分组。

实验结果表明:

(1)BPDSR双向路由算法较高的查找效率使其分组投递率有更好的表现;

(2)BPDSR双向查找方式对绕路问题的优化以及路由的实效性,使得分组传递延时大大降低;

(3)在网络规模较大时,BPDSR的路由开销明显较低。

6 结束语

本文提出了一种在DSR的基础上融入Chord算法的MANET双向路由模型BPDSR。通过NS-2实现不同网络规模下的仿真实验,同DSR和PDSR进行性能比较分析可知,BPDSR的性能整体上优于DSR和PDSR,特别是网络规模较大时大大降低了查询过程中由泛洪以及绕路问题和节点移动性扰动带来的巨大开销,说明其网络可扩展性较好,值得进一步研究和优化。

参考文献:

- [1] Taneja S, Kush A. A survey of routing protocols in mobile ad hoc networks[J]. International Journal of Innovation, Management and Technology, 2010, 1

- (3); 2010-0248.
- [2] Tuteja A, Gujral R, Thalia S. Comparative performance analysis of DSDV, AODV and DSR routing protocols in MANET using NS2[C]// Advances in Computer Engineering (ACE), 2010 International Conference on. IEEE, 2010: 330-333.
- [3] Li Z, Yin X, Yao P, et al. Implementation of p2p computing in design of manet routing protocol[C]// Computer and Computational Sciences, 2006. IMSCCS'06. First International Multi-Symposiums on. IEEE, 2009: 594-602.
- [4] 欧中洪, 宋美娜, 战晓苏等. 移动对等网络关键技术[J]. 软件学报, 2008, 19(2): 405-413.
- [5] Shah N, Qian D. Cross-layer design to merge structured P2P networks over MANET[C]// Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2010 IEEE 16th International Conference on. IEEE, 2010: 851-856.
- [6] Tyagi S S, Chauhan R K. Performance analysis of proactive and reactive routing protocols for ad hoc networks[J]. International Journal of Computer Applications, 2010, 14(1): 27-30.
- [7] Garg P, Tuteja A. Comparative performance analysis of two Ad-hoc routing protocols[C]// International Conference on Network and Electronics Engineering. Singapore: IACSIT Press, 2011: 99-104.

作者简介:

龙建辉 男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为分布式系统理论与技术. E-mail: longjianhui2012@126.com.

陈靖 女, (1963-), 教授, 博士生导师. 研究方向为分布式系统理论与技术.

朱清超 男, (1987-), 博士研究生. 研究方向为分布式系统理论与技术.

高培勇 男, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为分布式系统理论与技术.

(上接第 155 页)

- [2] Zhou Hongyu, Wu Hongyi, Jin Miao. A robust boundary detection algorithm based on connectivity for 3D wireless sensor network[C]// 2012 Proceedings IEEE INFOCOM: 1602-1610.
- [3] Yue Wang, Jie Gao, Joseph S. B. Mitchell. Boundary Recognition in sensor Networks by Topological Methods[C]// International Conference on Mobile Computing and Networking. Los Angeles, California, USA: IEEE, 2006: 122-133.
- [4] Fernando Martincic, Loren Schwiebert. Distributed perimeter detection in wireless sensor networks[DB/OL]. [2014-04-20]. Technical report, Wayne State Univ., 2004. <http://newslab.cs.wayne.edu/perimeter.pdf>.
- [5] Stefan Funke. Topological hole detection in sensor networks and its application[C]// Workshop on Discrete Algorithms and Methods for MOBILE Computing and Communications. 2005: 44-53.
- [6] 陈成涛, 孙燕. 高效的无线传感器网络边缘检测算法[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(9): 2984-2988.

作者简介:

林靖 女, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为图形图像, 传感器技术. E-mail: 252175793@qq.com.

潘广贞 男, (1969-), 博士, 副教授. 研究方向为软件与理论、图形图像处理、计算机仿真.