

无线 Ad Hoc 网络 DSR 路由协议的优化设计

屠梓浩, 吴荣泉, 钱立群

(华东计算技术研究所, 上海 200233)

摘要: 按需路由协议动态源路由(DSR)是 Ad Hoc 网络路由协议中性能较优的一种, 但对快速变化的移动网络拓扑结构反应较慢, 造成过多地启动不必要的路由发现过程以及数据包发送路径绕远, 从而导致效率降低。该文针对这一问题, 对 DSR 协议进行优化, 提出节点局部自适应机制, 对于路由断路绕远等问题进行自动恢复调整。给出局部自适应 DSR 路由协议 LSDSR, 优化后的协议减少了路由发现次数和传输时延, 更适用于实时业务。

关键词: 无线自组织网; 动态源路由; 局部自适应; 路由发现; 传输时延

Optimization Design for DSR Routing Protocol in Wireless Ad Hoc Networks

TU Zi-hao, WU Rong-quan, QIAN Li-qun

(East China Institute of Computer Technology, Shanghai 200233)

【Abstract】 The on-demand routing protocol DSR is a good performance protocol in mobile Ad Hoc networks. However, the defect of it is that it is not quick enough to adapt the fast-changing topology of the Ad Hoc networks. It causes many unneeded times of route discovering, and the data-packets always don't take the shortest route. These result in the low-efficiency. To solve the problem, DSR is optimized in this paper, and a mechanism called local self-adaptation is proposed, which can recover and adjust the route automatically. Also it presents a new routing protocol called LSDSR, which can obviously decrease the times of route discovering and transmission latency, and much more adapt to the real-time performance.

【Key words】 wireless Ad Hoc network; DSR; local self-adaptation; route discovering; transmission latency

1 概述

无线 Ad Hoc 网络^[1]是一种新型的无线移动网络, 它是由一组带有无线收发装置的移动节点组成的无线移动自治系统。它不依赖预设的基础设施而临时组建, 网络中每个移动节点不仅可以利用自身的无线收发设备交换信息, 而且当相互之间不在彼此通信范围内时, 还可以借助或充当中间节点中继来实现多跳通信, 起到路由器的作用。

Ad Hoc 网络可以多跳通信这一主要特点使得路由技术始终是其研究的重点方向。目前 Ad Hoc 网络路由协议大致分为 2 种: 表驱动路由协议(如 DSDV 等)和按需路由协议(DSR, AODV 等)^[1]。其中动态源路由协议 DSR 是按需路由协议中一种既简单又行之有效的路由协议。其允许任一节点动态发现到达网络中其他各节点的路由, 并自动维护路由信息。中间节点只需按照自己缓存里的路由表转发数据即可。和其他路由协议相比, DSR 减少了路由开销、分组冲突和大规模路由更新信息的传播, 节省电池能量。

但 DSR 也有不足。研究发现, Ad Hoc 网络节点频繁快速的移动使得拓扑结构不断变化, DSR 缓存路由表更新不及时, 导致路由性能降低甚至失效。具体表现为路由绕远和断路, 过多触发不必要的路由发现过程, 从而增大了传输时延和路由开销。针对这一问题, 本文在 DSR 的基础上提出了节点局部自适应机制, 并扩充了 DSR 协议使其能对路由进行自动恢复调整。

2 DSR 路由协议

DSR 协议是一种基于源路由的按需路由协议^[2], 它是

Carnegie-Mellon 大学“Monarch”项目的一部分, 主要包括 2 个过程: 路由发现和路由维护。当节点 S 向节点 D 发送数据时, 首先检查缓存里是否存在到目的节点 D 的有效路由。如果存在则直接使用, 否则启动路由发现过程。具体如下: 源节点 S 使用洪泛法发送路由请求消息(RREQ), RREQ 包含源节点地址、目的节点地址、唯一的标志号以及中间节点列表; 中间节点若未收过同标志号 RREQ 便转发, 并附上自己的节点标识, 否则丢弃; 当 RREQ 消息到达目的节点 D 或任何一个缓存了有到目的节点路由的中间节点时, 节点 D 或该中间节点将向 S 发送路由应答消息(RREP), 该消息中将包含 S 到 D 的路由, 并反转 S 到 D 的路由供 RREP 使用; S 收到 RREP 后, 路由发现过程结束, 通信可以开始。在通信过程中, 当中间节点检测到通往目的节点的下一跳链路中断时, 它将从自己路由缓存中删去包含该链路的路由并向节点 S 返回一个路由出错分组(RERR)。 S 收到 RERR 后, 触发一次新的路由发现过程。

3 LSDSR 路由设计

3.1 协议总体思想

文献[3]对路由协议的缓存提出过 2 种机制: 路径缓存(path cache)和连接缓存(link cache)(如图 1 所示)。局部自适应 DSR 路由协议(LSDSR)的总体思想是: 全局拓扑采用路径缓存, 局部拓扑采用连接缓存。

作者简介: 屠梓浩(1983 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 计算机网络; 吴荣泉, 研究员; 钱立群, 硕士

收稿日期: 2008-06-20 **E-mail:** terrell_tzh@hotmail.com

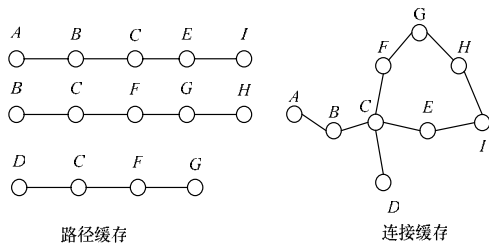


图1 缓存结构

3.2 协议整体机制和好处

每个节点维护一个局部连接表。让路由由所经过的中间节点掌握半径为几跳范围的局部网络拓扑结构，局部范围内的节点分为中心节点、转发节点和边界节点(如图2所示)。对每条全局路由来说，只让路由上的每个边界节点维护整条路由。边界节点到下一跳边界节点间的局部路由采用自治的方法，对源、目的和不相邻的边界节点透明。

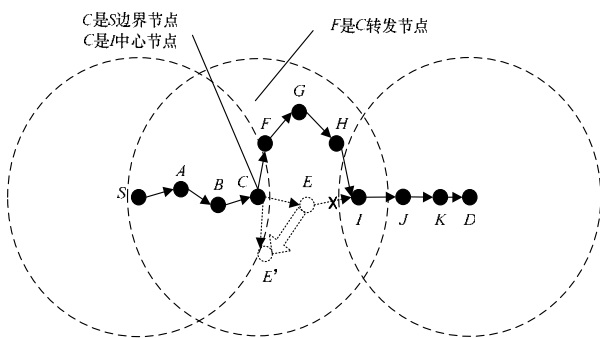


图2 LSDSR 路由选择模型

该路由协议有以下几点好处：

(1)在图2中，C是S的边界点，I是C的边界点，按照DSR协议从S到D缓存的路径为SABCEIJKLD；而按照LSDSR协议，缓存中的路径变为SCILD，这样边界节点的全局路径缓存从逐跳记录变成了边界点记录，有效缩短了路径。

(2)由于局部范围采用连接缓存，节点知道局部完整的拓扑，因此可以采用Dijkstra算法自行发现最短路径。如果原先最短路径断路，它会自行查找新的最短路径，从而使得局部路由中的转发节点断路和绕远问题得到解决。在图2中，从C到I根据算法先选择最短路径CEI而不会绕远，当E跑到E'造成EI断路后并不产生RRER报文，而是自动选择另一条路径CFGHI，这样S避免了重新启动路由发现过程，也减少了每个上游节点对RRER报文的处理和转发。

(3)同样，全局路由中的边界节点如果出现绕远现象也可以自动调整。如图3所示，起先S到T的边界点路由为SCILD，经过一段时间后L移动到L'的位置，C发现L跑进了自己的局部范围内，并且LD并未断路，这样C把路由自动改为SCLD后并通知其他各节点，避免绕远。

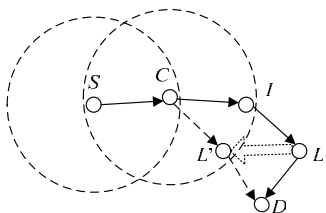


图3 LSDSR路由自动调整模型

以上3点使得优化后的协议明显减少了路由发现次数和传输时延。

3.3 协议具体过程

3.3.1 局部连接表建立维护

定义 整个网络所有节点的集合为 V ，节点为 v ，点 v_0 的 n 跳范围为 $R(v_0, n) = \{v | v \in V, |vv_0| = n\}$ ，每个节点都维护一个局部连接表，如果 $v \in R(v_0, n)$ ，则把 v 加入 v_0 的 n 跳局部连接表。连接表通过定期发送Hello包来建立。Hello包可以转发，通过设置TTL值来确定跳数 n 。当节点收到其他节点的Hello包时也就获得了以该节点为中心的 n 跳范围内其他节点的信息。

Ad Hoc网络中的一个节点短时间内不会移动得太远，所以短时间内局部结构变化也不会太大^[4]，并且Hello包发送周期 t 不需要固定且时间间隔很短，可根据节点带宽剩余率 P_B 自动调整，这样的好处是网络繁忙时不会因为过多的Hello包而导致拥塞。 t 和 P_B 成反比，即 $t = K/P_B$ ， K 为常数。

$P_B = B_a(v)/B(v)$ ，其中 $B_a(v)$ 为节点 v 的剩余带宽， $B(v)$ 已知，为 v 的最大传输带宽。 $B_a(v) = B(v) - \sum_{k \in R(v,1)} B_s(v)$ ，其中 k 是 v 的一跳范围的直接邻居； $\sum_{k \in R(v,1)} B_s(v)$ 是 v 所有邻居节点和它

传输数据占用的带宽。由于节点的空闲时间由它和邻居业务量决定，因此空闲时间反过来也反映了节点的剩余带宽，即 $B_a(v) = B(v) \times T_{idle}/T$ ，其中 $B(v)$ 为 v 的最大传输带宽； T 是考察单位时间间隔； T_{idle} 是 T 内信道平均空闲时间。802.11的载波监听机制可以判断节点信道是否在忙^[5]。在单位时间 T 内，从信道忙碌状态开始计时到信道空闲为止，设这段时间为 T_{busy} ，则 $T_{idle} = T - T_{busy}$ 。这样便可计算得到 $B_a(v)$ ，从而 P_B 也可以计算获得，最后可以确定Hello包动态发送周期 t 。每个节点根据收到的Hello包定期更新自己的局部连接表。

3.3.2 路由发现和维护算法

新协议的路由发现和维护机制整体上保留了DSR的策略，改进后的过程如下：

路由发现时，每个节点发送RREQ前先查找自己的局部连接表，如果目的节点在表内则直接将RREQ发送到目的节点；否则将RREQ通过该节点范围的转发节点发送给边界节点，根据Dijkstra算法，选择的是最短路径。当该边界节点收到RREQ后，再以自己为中心节点查找自己的连接表，搜索自己范围内是否有目的节点。重复上述过程直到RREQ到达目的节点为止。产生的路由只记录所经过的边界节点，如图2中S到D的路由只记录SCILD。并且传输过程中只有边界节点才产生ACK包，转发节点只负责转发，不产生ACK包，比每个节点都产生ACK包的原DSR协议简化了不少。

路由维护时，在局部范围内，一旦某一节点发现路由断路时并不立即给源节点发送RRER，而是先根据自己的局部连接表查看能否在自己节点范围内更换一条路径，如图2中路由CEI换成了CFGHI。如果找不到替换路径才给源节点发送RRER启动新的路由发现过程。在全局范围内，当某节点发现缓存路由中的某下游边界节点运动进入本节点范围内，并且这个下游节点和其源路由中的目的节点仍然保持链路时，本节点就触发以下过程：首先停止向原来下一跳边界节点转发数据，把数据直接发给该新的边界节点；然后向源节点以及路由上游的所有边界节点发送新的RREP来修改路径，这样源节点发送的数据包将会沿新的路由进行传输，从而避免了绕远。如图3所示，L跑到了L'的位置，路由修改后数据路线从SCILD变成了SCLD。

4 协议分析与仿真

4.1 协议正确性分析

协议的分析从路由发现和路由维护 2 方面来讨论。

局部的路由发现用的是 Dijkstra 算法,只要中心节点到边界节点可达就一定找出最短路径;全局路由发现过程用的是 DSR 协议,所以整个机制不会影响路由的成功建立。

路由维护时,局部范围内,节点发现下游路径断路时先自动查找新的可替换路由。如果找到新路由,即使没有通知源节点,也不影响数据包正确到达。如果找不到替换路径就回到 DSR 机制上,发 RRER 包通知源节点,启动新的路由发现过程;全局范围内,某边界节点发现路由绕远时自行缩短,并发送 RREP 通知上游边界节点和源节点,让它们更新缓存中的路由,通知过程和 DSR 发现新路由后发送 RREP 过程类似,只是前者为修改缓存路径,后者为增加缓存路径,所以也是正确的。

4.2 协议仿真验证

采用 OPNET 进行仿真实验来分析 LSDSR 协议的性能。环境如下:实验仿真时间 600 s,MAC 层协议用 802.11b,带宽 2 Mb/s;每个节点无线覆盖范围 250 m,60 个节点随机分布在 $1\ 500\text{ m} \times 1\ 500\text{ m}$ 的区域内并随机运动,运动速度 v 为 0~20 m/s;运动方式:先随机选定一个方向并向前运动到某点后,暂停某个特定时间 t ,然后随机选定一个方向向前运动,不断循环直到仿真时间结束;节点间发送的数据分组大小固定为 512 Byte。实验考察平均传输时延和路由开销。

传输时延定义了报文从源端发送到目的端的平均延迟时间,影响因素有路由发现次数和时间、路径失效次数等。如图 4 所示,在时延上 LSDSR 比 DSR 有很大的提高,尤其是随着节点移动加剧,路径断路和绕远现象会频繁出现,这时前者的优越性更加明显。

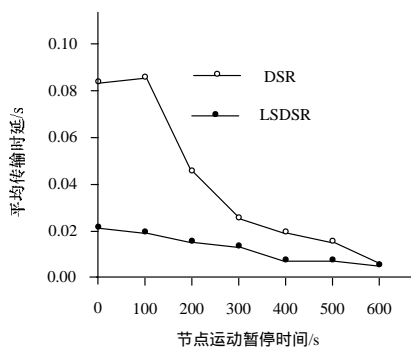


图 4 平均传输时延统计图

路由开销定义了整个过程中发送报文的数量,影响因素有各种控制报文的数量。如图 5 所示,由于 LSDSR 要维护局部连接表,增加了 Hello 包的数量,在节点基本不移动的情况下,路由开销比 DSR 略高;不过一旦节点移动加剧,DSR 会因为频繁的路由断路而发送大量 RRER, ACK 以及路由发现时的各种控制包,此时 LSDSR 的优点无疑就体现出来了。

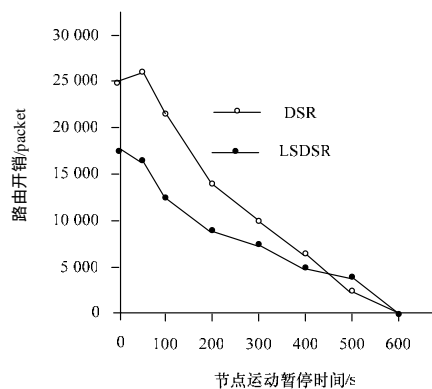


图 5 路由开销统计图

5 结束语

Ad Hoc 网络是一种没有中心的动态自治网络,网络中的节点通过多跳无线链路进行通信。每个节点既是通信终端,又可以作为其他节点的路由器,这种网络的一大特点是可移动的节点使得网络的拓扑结构会不断变化。而 DSR 是 Ad Hoc 网络路由协议中性能比较优越的一种,但对于快速变化的网络结构造成的路由断路和绕远难以及时做出反应,从而导致多次启动不必要的路由发现过程,增加传输时延等一系列问题,使协议效率明显下降。

针对该问题,本文在 DSR 的基础上提出了 LSDSR 路由协议,引进了节点局部自适应机制。每个节点根据自己周围的拓扑结构维护一个局部连接表,通过连接表,使路由发现和维持尽量使用节点已获知的拓扑信息,从局部和全局 2 方面对路由自动化恢复调整。从而有效改进了 DSR 协议较大的路由维护开销和时延以及对网络拓扑结构变化适应能力差等不足,提高了 DSR 的传输性能。

参考文献

- [1] 郑少仁,王海涛,赵志峰,等. Ad hoc 网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [2] Johnson D B, Maltz D A, Hu Yinchun. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks[EB/OL]. (2005-11-01). <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>.
- [3] Hu Yinchun, Johnson D B. Caching Strategies in On-demand Routing Protocols for Wireless Ad Hoc Network[C]//Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Boston, MA, USA: [s. n.], 2000: 231-242.
- [4] Sinha P, Krishnamurthy S V, Dao S. Scalable Unidirectional Routing with Zone Routing Protocol(ZRP) Extensions for Mobile Ad Hoc Networks[C]//Proc. of Wireless Communications and Networking Conference. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2000.
- [5] Xue Qi, Ganz A. Ad Hoc QoS On-demand Routing(AQOR) in Mobile Ad Hoc Networks[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2003, 41(2): 120-124.