

## 基于无环替代重路由的无线 Mesh 网络自愈策略研究

吴 静 郭成城 杨剑峰  
(武汉大学电子信息学院 武汉 430079)

**摘 要:** 无线 Mesh 网络的链路不可靠特性容易造成网络的不稳定和转发不连续, 前摄性重路由可以解决这一问题。该文对基于无环替代重路由的无线 Mesh 网络自愈策略进行研究, 提出了基于无环替代的 AODV 路由 AODV-LFA, 仿真实验表明 AODV-LFA 比 AODV 具有更强的自愈性能。

**关键词:** 无线 Mesh 网络; 网络自愈; 无环替代; 前摄性重路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)04-1001-03

## Self-healing Strategy of Mesh Network Based on Loop Free Alternative Rerouting

Wu Jing Guo Cheng-cheng Yang Jian-feng

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The low reliability of links in wireless mesh network always leads to instability and discontinuity, and proactive rerouting can relax that pressure. The self-healing strategy of wireless mesh network based on loop free alternative rerouting is researched. AODV routing is extended to support loop free alternative and AODV-LFA routing is presented. The simulation shows that AODV-LFA is more effective than AODV for self-healing of wireless mesh network.

**Key words:** Wireless Mesh Network (WMN); Network self-healing; Loop free alternative; Proactive rerouting

### 1 引言

无线 Mesh 网络(WMN)是一种特殊的 Ad hoc 网络, 其骨干网络节点移动较少, 网络拓扑变化较小<sup>[1,2]</sup>, 自愈能力主要依赖于路由协议的快速收敛。无环替代(Loop Free Alternative, LFA)是 IETF 的 Routing Area Working Group(Rtgwg)提出的一种具有很强实际应用价值的前摄性重路由机制<sup>[3]</sup>, 适用于拓扑结构相对稳定的无线 Mesh 结构, 能够过滤短时间的失效所带来的转发不连续和路由不稳定, 加快网络收敛速度<sup>[4]</sup>。无环替代的主要思想是将失效链路上的流量切换到检测节点的邻居, 使得从该邻居到目的的最短路径不经过失效链路/节点。该邻居节点被称为到达相应目的节点的可替代下一跳, 重路由的路径被称为替代路径。本文将主要针对无环替代的前摄性重路由策略与 AODV 路由协议在无线 Mesh 网络中的结合应用进行研究。

### 2 基于无环替代重路由的 AODV 协议 AODV-LFA

#### 2.1 主要问题和解决思想

无环替代路由策略和 AODV 相结合(AODV-LFA)面临一个主要的问题是单个节点并不知道全网的拓扑, 无法计算周围邻居节点是否为满足无环替代路由条件的可替代下一跳。为此, 本文借鉴 AODV-Backup<sup>[5]</sup>的思想, 在 Reply 消

息从主路径目的节点回溯到源节点的过程中, 将 RREP 消息通过一跳内广播发送给主路径上节点的邻居, 并在 RREP 消息中携带主路径当前节点的上一跳节点的地址和该上一跳节点到达目的节点的路径长度。如图 1 所示, 接受到 RREP 消息的非主路径上的节点根据本地路由信息, 计算自身是否满足作为可替代下一跳的条件; 如果满足该条件, 则向主路径上广播 RREP 消息的节点回复 RREPACK 消息, 从而建立一条可替代路径。

#### 2.2 AODV-LFA 的实现策略

为了降低节点的负荷, AODV-LFA 不采用数据包侦听的方式, 而将 RREP 数据包中增加了 rp\_nh 字段, 用于指示反向主路径上的下一跳节点地址。当节点收到 RREP 消息时, 判断自己的地址是否和 RREP 消息中 rp\_nh 字段所指示的地址相同, 如果相同则建立相应路由, 并且继续沿反向主路径转发 RREP 消息; 否则, 计算该节点是否为可替代的下一跳。

非主路径上的节点  $R_1$  在收到主路径上的节点  $Q_1$  转发来的 RREP 消息后, 进行如下处理:

(1) 如果没有到达目的的有效路由, 则建立到达目的节点  $D$  的路由; 否则继续。

(2) 如果出现以下两种情况, 则向  $Q_1$  发送 RREPACK 消息, 令  $Q_1$  更新路由表, 将  $R_1$  作为新的下一跳, 并且在本地节点  $R_1$  到达  $D$  的路由表项对应的前驱列表中添加  $Q_1$ , 否

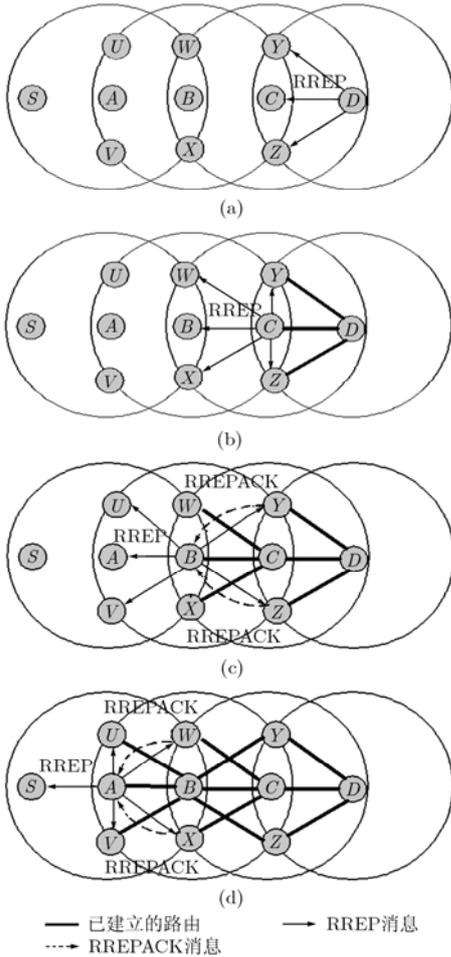


图 1 AODV-LFA 重路由路径建立示例

则继续。

(a)RREP 消息中所携带的目的节点序号  $rp\_dst\_seqno$  字段的值和  $R_1$  中到达  $D$  的路由表中相应的  $rp\_dst\_seqno$  字段的值相同, 并且  $d_{opt}(R_1, D) + w(Q_1, R_1) < d_{opt}(Q_1, D)$ 。

(b)RREP 消息中所携带的目的节点序号  $rp\_dst\_seqno$  字段的值小于  $R_1$  中到达  $D$  的路由表中相应的  $rp\_dst\_seqno$  字段的值, 即  $R_1$  中的路由表项代表更新的网络状况。

(3)假设  $E$  为从  $Q_1$  到目的节点  $D$  的最短路径上  $Q_1$  的下一跳, 如果从本节点到目的节点  $D$  的最短路径不经过  $E$ , 则本节点为  $Q_1$  的可替代下一跳, 向  $Q_1$  发送 RREPACK 消息, 令  $Q_1$  建立下一跳为  $R_1$  的重路由路径, 并且在从本地节点  $R_1$  到达  $D$  的路由表项对应的前驱列表中添加  $Q_1$ 。基于节点保护的无环替代路径存在的充要条件如下<sup>[3]</sup>:

$$d_{opt}(R_1, D) < d_{opt}(R_1, E) + d_{opt}(E, D) \quad (1)$$

AODV-LFA 将 RREP 数据包中增加了另外一个字段  $rp\_lh$ , 用于指示反向主路径上的上一跳节点(即从  $Q_1$  到目的节点  $D$  的最短路径上  $Q_1$  的下一跳  $E$ )的地址。

### 3 仿真实验和分析

本文选择微软公司的 MR-LQSR 路由由试验平台拓扑<sup>[6]</sup>作

为本文的仿真拓扑, 采用 NS2 作为仿真实验的平台。随机选择 25 对源目部署恒定比特率(Constant BitRate, CBR)流, 分组长度为 1500byte, 通过配置发送间隔  $interval\_$  调整网络负荷。仿真实验中将网络丢包率、网络平均端到端延时、网络吞吐量和路由协议报文开销(定义时间  $T$  内路由由协议开销为路由协议分组字节总和占网络传输字节之和的比例)作为评价指标, 对不同网络负荷、不同信道数量和不同网络传输层连接方式情况下, AODV, AODV-Backup 和 AODV-LFA 的网络性能仿真结果进行比较和分析。作为前摄性重路由策略, 基于 AODV-LFA 的网络自愈时间只取决于失效检测时间和链路状态抑制时间<sup>[7]</sup>。

#### 3.1 不同网络负荷情况下的路由协议性能

网络仿真中采用单一信道, 网络传输层采用 TCP 协议。通过改变 CBR 分组发送间隔(分别为 0.1s, 0.5s, 1s)观察 3 种路由协议对网络性能的影响。图 2 给出了不同负荷情况下的 AODV, AODV-Backup 和 AODV-LFA 的网络丢包率、平均端到端延时、网络吞吐量和路由协议报文开销。

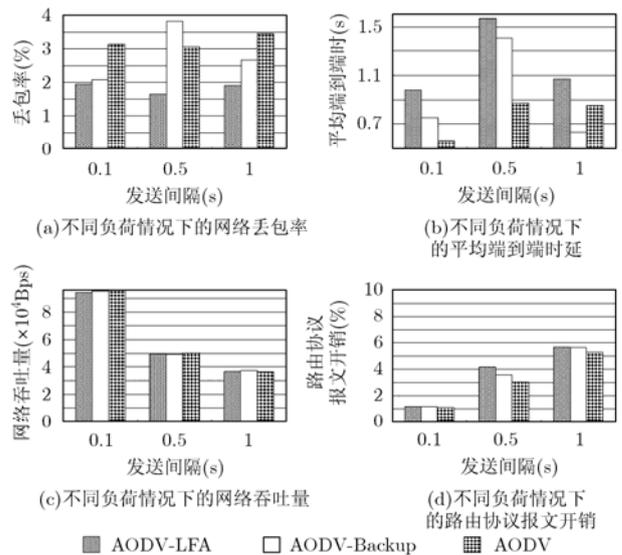


图 2 不同负荷情况下的 AODV, AODV-Backup 和 AODV-LFA 性能比较

从图 2 可以看出, AODV-LFA 的丢包率明显比 AODV-Backup 和 AODV 小, 这主要是因为 AODV-LFA 在失效状况发生时, 只要重路由表中有相应表项, 就直接将数据包转发给表项中指定的下一跳, 而不会由于无法到达目的节点而被丢弃。在 AODV-LFA 中, 节点按照正常的方式维护重路由表、接收和发送数据包, 只是需要多处理一种 RREPACK 类型的 AODV 数据包, 而 RREPACK 只是在满足特定条件时才会 1 跳之内发送和接收, 并且 RREPACK 报文只占用 16 个字节, 因而 AODV-LFA 的路由报文开销只略微大于 AODV-Backup 和 AODV。无论使用哪种路由协议, 网络负荷并没有对网络的丢包率和平均端到端延时带来过大的影

响,这主要归功于 TCP 的流量控制措施。

### 3.2 信道数量和传输层协议对 AODV-LFA 路由协议性能的影响

图3比较了在不同信道传输情况下, TCP 和 UDP 分别作为传输层协议时, AODV-LFA 的网络丢包率、平均端到端时延、网络吞吐量和路由协议报文开销。从图3可以看出,如果采用 UDP 作为传输层协议,当 CBR 流的参数 interval\_ 从 1s 下降到 0.5s 时,单信道情况下,网络丢包率增加了 5 倍,对应业务分组成功传输率降了一半,平均端到端时延增加了 9 倍。由于 UDP 没有流控措施,应用层分组封装后直接被注入网络,所以当负荷增加时,大量数据包在网络中滞留、重传,造成网络性能的急剧下降;而采用多信道减小了电波传播冲突的概率,从而大大减小丢包率和网络时延。如果采用 TCP 作为传输层协议,多信道的丢包率反而增大,这是因为 TCP 的控制作用令网络容量更多的流(见图 3(c)),反而增大电波传播发生冲突的概率。在采用 UDP 时, AODV-LFA 的路由协议报文开销小于采用 TCP 时的开销,这主要是因为 TCP 中的 ACK 信息也会触发 REQUEST, RREP, RERR 和 RREPACK 报文,而 UDP 中没有 ACK 消息。

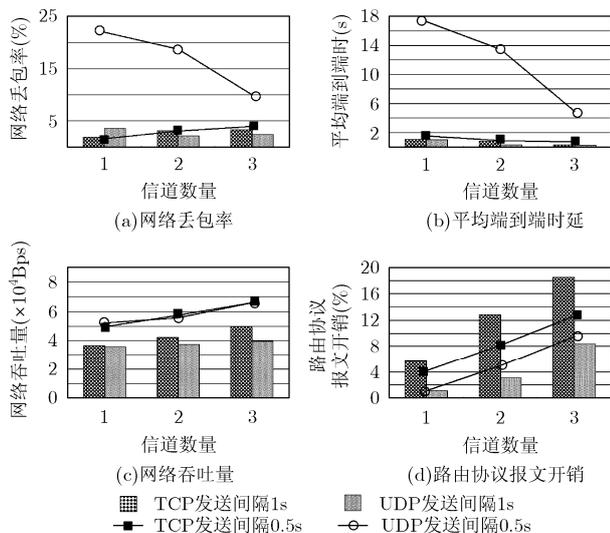


图3 TCP 和 UDP 协议对 AODV-LFA 性能的影响

综上所述,在没有流控措施的情况下,即使采用 AODV-LFA 也无法使网络具有良好的自愈能力;如果使用 UDP 作为传输层协议,则应该采用多信道的技术以增强网络各方面的性能。

## 4 结束语

本文讨论了基于无环替代的前摄性重路由技术在增强无线 Mesh 网络自愈能力方面的应用,提出了 AODV-LFA 路由策略。仿真实验将 AODV-LFA 和 AODV-Backup, AODV 相比较,结果表明 AODV-LFA 具有更强的自愈性能。并且,如果使用 UDP 作为传输层协议,则应该采用多信道的技术以增强网络性能;如果使用 TCP 作为传输层协议,则网络的自愈能力维持在一个相对稳定的状态,不会随网络负荷和信道数量的变化而急剧变化。

## 参考文献

- [1] Hassan M, Das S K, and Mohapatra P, *et al.* Wireless mesh networks: Guest editorial. *IEEE Communication Magazine*[J]. 2007, 45(11): 62-63.
- [2] 方旭明. 下一代无线因特网技术: 无线 Mesh 网络[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 3-8.  
Fang Xu-ming. Internet Technology of Next Generation: Wireless Mesh Network [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2006: 3-8.
- [3] Atlas A, *et al.* Basic specification for IP fast-reroute: loop-free alternate. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-rtgwg-ipfr-spec-base-11.txt> 2008.2.
- [4] Nelakuditi S, Lee Sanghwan, and Yu Yinzhe, *et al.* Fast local rerouting for handling transient link failures. *IEEE/ACM Trans. on Networking* [J]. 2007, 15(2): 359-372.
- [5] Lee S J and Gerla M. AODV-BR: Backup routing in Ad hoc networks [C]. Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference, Chicago, IL, USA, Sept.23-28, 2000: 1311-1316.
- [6] Draves R, Padhye J, and Zill B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks [C]. Proceedings of ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Philadelphia, PA, USA, Sept.26-Oct.1, 2004: 114-128.
- [7] Francois P, Filssils C, and Evans J, *et al.* Achieving sub-second IGP convergence in large IP networks [J]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2005, 35(2): 35-44.

吴 静: 女, 1981 年生, 讲师, 研究方向为互联网智能管理与控制、无线自组织网络。

郭成城: 男, 1961 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为高速信息网络、工业无线网络。

杨剑峰: 男, 1976 年生, 讲师, 研究方向为多核计算、无线传感器网络。