

## 无线 Mesh 网络中多路径路由算法的研究

李陶深<sup>1</sup>, 王春霞<sup>2</sup>, 葛志辉<sup>1</sup>

(1 广西大学 计算机与电子信息学院, 广西 南宁 530004; 2 广西医科大学 公共卫生管理学院, 广西 南宁 530012)

**摘 要:** 针对无线 Mesh 网络中传统单径路由协议的不足, 提出一种基于动态源路由协议 (DSR) 的多路径路由算法 (IDSR). 该算法通过在路由发现过程引入带宽和最大转发次数等限制条件, 保证了多条路由请求信息的获取; 通过在节点不相交的多径选择过程中引入多 QoS 路由代价函数, 有效地实现多路径的选择; 通过提供多 QoS 保障, 使算法具有较高的求解效率, 避免了单径路由的不稳定等特点. 实验结果表明, IDSR 算法在无线 Mesh 网络的路由中具有更好的 QoS 性能.

**关键词:** 无线 Mesh 网络; 服务质量 (QoS); DSR 协议; 多路径路由算法; SMR 协议

**中图分类号:** TP301.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2013)03-0075-05

## On a Multipath Routing Algorithm for Wireless Mesh Networks

LI Tao-shen<sup>1</sup>, WANG Chun-xia<sup>2</sup>, GE Zhi-hui<sup>1</sup>

(1 School of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2 School of Public Health, Guangxi Medical University, Naning 530012, China)

**Abstract:** In view of existing problem of traditional single path routing protocol in wireless mesh networks, an algorithm of multipath routing algorithm based on dynamic source routing protocol (IDSR) is proposed in this paper. By adding these two constraints, which are bandwidth and maximum number of forwarding, it will make the new algorithm easier to get several routing request information. It introduces the QoS routing cost function in node-disjoint multi-path selection process to realize multi-path selection effectively. Through providing multiple QoS guarantee, such as bandwidth, delay and cost, it will make the new algorithm have many characteristics such as relatively high solution efficiency, avoiding the instability of the single-path routing etc. The simulation results show that this algorithm achieves better QoS performance and more advantages over dynamic source routing protocol (DSR) and split multipath routing protocol (SMR).

**Key words:** Wireless Mesh Networks (WMN); Quality of Service (QoS); Dynamic Source Routing (DSR); multipath routing algorithm; Split Multipath Routing (SMR)

### 1 引言

无线 Mesh 网络 (Wireless Mesh Network, WMN) 可以有效地解决移动 Ad hoc 网络等无线网络中存在的不足和限制, 从整体上提高网络的性能. 目前, 多路径路由协议作为一种可以实现网络负载均衡、路由容错以及安全性等方面的协议<sup>[1-2]</sup>, 有效地弥补了 WMN 中传统单径路由协议的不足, 成为

非常重要的研究课题.

近年来人们提出了多种类型的多路径路由算法, 在一定程度上解决了无线网络中负载均衡以及路由容错等问题<sup>[3-4]</sup>. 文献[5]提出一种基于负载均衡的多径协议 CARP, 可实现多路径的并行传输, 提前判断节点的拥塞情况. 但是该协议仅考虑了负载均衡和拥塞情况, 没有引入 QoS 保障的思想来提高服务质量. 文献[6]针对 WMN 提出一种改进的多

路径方案,可在网络规模较大的情况下保证网络的负载均衡,有效地降低开销.但该方案稳定性较差,缺乏 QoS 的支持.文献[7]提出一种支持多网关的 M-HWMP 协议,它综合考虑当前节点到网关节点的传输成本以及该网关的剩余传输能力,提高了 WMN 的传输能力.文献[8]提出一种基于选播的无线 Mesh 网络网关选取模型,以时延为度量,通过选播机制自适应地查找“最优”网关节点为客户节点服务,以提供响应快的高质量因特网接入服务.

然而,现有的应用于 WMN 环境的多径路由协议在可靠性强、开销低、传输率高、网络延迟小以及数据传输过程中的乱序问题等方面存在一定的局限性,都不能很好的满足 WMN 的需求.本文针对现有的多路径算法的有效性和局限性,提出一种基于 DSR 的多 QoS 约束的多路径路由算法,以求从整体上实现 WMN 的负载均衡,提高网络应用的安全性和可靠性以及实现对网络资源的充分利用.

## 2 网络模型

用无向图  $G(V, E)$  表示 WMN 网络,其中  $V$  表示网络的节点集合,  $E$  表示节点之间的链路的集合,链路的数值可表示为  $e = (\text{带宽}, \text{时延}, \text{代价})$ . 由于节点移动的随机性和多变性,参数  $V$  和  $E$  会随之发生变化.假设  $G$  中两个节点  $m$  和  $n$  在彼此的传输范围内,则这两个节点之间存在一条链路,可用  $(m, n)$  表示.每个节点都有自己的邻居节点集和标识符,并且邻居节点集会随节点的移动而发生变化.

假设  $p(s, d)$  代表从源节点  $s$  到目的节点  $d$  的一条路径.考虑到多个 QoS 约束的问题,因此一对进行通信的节点之间的可行路径需满足以下限定条件:

(1)  $p(s, d)$  上每条链路上的带宽至少要满足用户所需的带宽  $B_0$ , 即:

$$\min\{B(I) \mid I \in p\} \leq B_0 \quad (1)$$

(2)  $p(s, d)$  的时延  $\text{Delay}(p(s, d))$  条件为:

$$\text{Delay}(p(s, d)) \leq \min\{I \in p \mid \text{Delay}(I)\} + \Delta t \quad (2)$$

(3)  $p(s, d)$  的总代价  $\text{Cost}$  依次取最小, 即:

$$\min\{\text{Cost}(p(s, d))\} \quad (3)$$

(4)  $p(s, d)$  的时延  $\text{Delay}$  取最小, 即:

$$\min\{\text{Delay}(p(s, d))\} \quad (4)$$

以上限定条件保证了路由的目标是寻找在规定时间内满足带宽和时延要求且路径代价依次最小的多条路径.在本文的 IDSR 算法中,已知发送数据分组的一对源、目的节点和带宽要求,当需要在它们之

间发现多条路径时,首先要通过发送 RREQ 分组找到满足  $B(P) > B_0$  的多条路由信息,若存在这样的多条信息,则通过路径的代价和时延选出代价最小的多条路径(最多 3 条).

## 3 算法的描述

### 3.1 QoS 参数计算

本文的 IDSR 算法选用了可用带宽、时延和路由代价作为 QoS 参数.其中,可用带宽的引入主要是在路由发现的过程对满足带宽要求的 RREQ 分组的转发进行筛选,而时延和路由代价在多条路径的选择过程中发挥着选优的作用.

#### 3.1.1 可用带宽计算

IDSR 算法为多路径的选择提供了带宽保证,因此路由可用带宽的计算是一个关键问题.节点所在信道的空闲时间是计算带宽的一个重要参数,它是由节点及邻居节点的业务量共同决定的,所以节点所在信道的空闲时间反映了节点可用带宽.节点  $I$  的可用带宽  $B(I)$  的计算公式如下:

$$B(I) = B_{\max}(I) \times \frac{T_{\text{idle}}}{T} \quad (5)$$

其中,  $B_{\max}(I)$  为节点  $I$  的最大传输带宽,  $T_{\text{idle}}$  为  $T$  内信道的空闲时间,  $T$  为观察的间隔时间,可以根据情况进行设定.在单位时间间隔内,通过查看信道的繁忙来计算  $T_{\text{idle}}$ ,可将信道从忙到空闲的时间记录为  $T_{\text{busy}}$ ,采用公式  $T_{\text{idle}} = T - T_{\text{busy}}$  就可计算出  $T_{\text{idle}}$ .

#### 3.1.2 时延计算

IDSR 算法通过将链路时延作为度量参数引入到 QoS 路由的代价函数中,用于选择代价较小的多条路径,这样就可有效的增加链路选择的稳定性和可靠性.假设将链路  $i$  的时延表示为  $D(e) = d_i$ ,设时延阈值为  $D_0$ ,则路径时延应满足如下公式:

$$\text{Delay}(p(s, d)) = \sum_{i=1}^m \text{Delay}(e_i) \leq D_0 \quad (6)$$

其中,  $m$  表示从  $s$  到  $d$  的这条路径上链路的数目,  $e_i$  表示其中的一条链路  $i$ .

#### 3.1.3 路由代价函数计算

一对通信节点之间的路径代价函数可定义为:

$$\text{Cost}(p(s, d)) = a \times \frac{\text{Delay}(p(s, d))}{D_0} + (1-a) \times \text{buffer}_{\max} \quad (7)$$

其中,  $\text{buffer}_{\max} = \max(\text{buffer}_i)$  表示从源节点  $s$  到目的节点  $d$  的路径上节点的最大负载率( $s, d$  节

点除外),  $buffer_i = A_i/B_i$ ,  $A_i$  表示当前节点已占用的缓存队列的长度,  $B_i$  表示节点的最大缓存队列的长度。

### 3.2 算法路由发现过程

IDSR 算法是通过按需的方式来发现路由的, 通过将 DSR 扩展为多 QoS 约束的多路径路由, 实现网络的负载均衡, 提高网络的容错性和稳定性。

#### 3.2.1 路由请求过程

当源节点有数据分组需要发送时, 首先检查自己的路由缓存中是否存在满足需求的可行路由, 若存在则按照路由进行发送分组; 若不存在, 则启动路由发现过程, 向邻居节点广播一个包括带宽阈值的 RREQ 分组来发现路由。其中初始状态时间戳 Delay 设置为 0, 负载率初始化为源节点 S 的负载率;

中间节点收到 RREQ 分组后, 将作如下处理:

(1) 对于第一次收到的 RREQ 分组, 节点将估计自身的可用带宽, 若可用带宽满足要求, 即大于带宽阈值  $B_0$ , 则更新时间戳 Delay 和负载率 Buffer, 同时将节点的 ID 更新到路由记录列表中, 之后转发该分组。否则, 丢弃该分组。

(2) 判断是否收到了具有相同 <源地址, 请求 ID> 的重复 RREQ 分组; 如果是, 则不直接丢弃该分组, 而是作进一步的判断, 获取更多的路由信息, 这将有助于多路径的选择, 更好的实现负载均衡。因此, 对于收到重复的 RREQ 分组, 中间节点将判断是否该分组与之前收到的其他相同分组来自不同的路径并且被转发的次数不超过 3 次, 若是则对该分组进行转发。否则, 直接丢弃分组。

(3) 若路由记录中已经存在该节点的地址, 说明该 RREQ 分组中的路由已重复出现该节点, 形成环路, 则直接丢弃该分组;

为防止拥塞发生, 中间节点即使有到目的节点的路由也不作返回 RREP 分组, 这样可有效的减少路由的开销。对经过的 RREQ 分组, 中间节点要计算路径的累加时延、负载率, 并将计算的结果更新到 RREQ 分组的时间戳和负载率这两个字段当中。

#### 3.2.2 路由回复过程

当目的节点收到第一个 RREQ 分组后, 不能立即发送 RREP 分组, 而是需要等待  $\Delta t$  时间以使目的节点能接收到更多的路由信息。在  $\Delta t$  时间以后, 如果继续收到 RREQ 分组则直接丢弃, 这样目的节点就能接收到多条携带时延和负载率信息的路由信息。目的节点根据公式(7)计算出多条路径的代价。最后通过节点不相交的多路径选择算法选出符合条

件的路径, 启动路由回复机制, 利用选出的多条路径中时延最小的路径向源节点回复多径记录。

### 3.3 路由维护过程

本文算法的路由维护过程是: 只有当一对通信节点之间所有的路由都失效的情况下才发起新的路由请求, 这样可以有效的减少 IDSR 算法的开销。

### 3.4 节点不相交多路径选择算法

研究表明, 节点不相交路径最多选择 3 条, 这样网络的效率相对最好。因此本文算法的目标就是最多选择 3 条节点不相交的路径。

目的节点最终收到多个 RREQ 分组的路由信息, 该路由信息格式如下:

$RREQ_1 \{S, m_1, m_2, m_3, \dots, n_1, n_2, n_3, \dots D\}$

$RREQ_2 \{S, m_1, m_2, m_3, \dots, p_1, p_2, p_3, \dots D\}$

$RREQ_3 \{S, m_1, m_2, m_3, \dots, q_1, q_2, q_3, \dots D\}$

考虑到网络中的服务都要求在满足一定 QoS 的前提下求得最优路径, 因此本文考虑带宽、时延、负载率等参数, 在多路径选择过程中, 引入时延和代价函数作为判定标准, 通过满足多 QoS 约束的多路径选择算法来选出节点不相交的多条路径。具体算法步骤如下:

步骤 1: 初始化。将目的节点收到的路由分组信息初始设置为集合  $P$ 。

步骤 2: 先从集合  $P$  中找出除起始点以外的具有首个相同的公共节点的一组路径, 并标记这些新组合的路径为  $P_1$ ;

步骤 3: 从子集合  $P_1$  中找出代价最小的路径进行记录后, 再把集合  $P_1$  中的路径从  $P$  中删除;

步骤 4: 判断集合  $P$  中是否仍有路由; 若存在, 则跳转到步骤 2 继续判断是否存在有相同公共节点的路径, 否则跳转步骤 5。

步骤 5: 统计  $P$  集合中剩余的路径和步骤 3 中选出的路径的数目, 若路径的数目大于 3, 则把时延作为选择标准, 选出时延最小的路径, 把该路径加入多路径记录表中, 然后继续进行选择, 最多选出 3 条路径。若路径数目不大于 3, 则直接把统计的路径加入多路径记录表中。

当多路径选好后, 可按一定比例为路径分配数据。在传输过程中路径断裂时, 若还有可用路径, 将剩余数据分到可用路径上, 否则重新发现路由。

## 4 实验结果与性能分析

本文使用数据分组投递率、端到端的平均时延和路由控制开销这三个参数对 IDSR、分裂式多径

协议(SMR)和 DSR 的性能进行评估和比较.

仿真的环境是 Linux+ns 2.33,采用的场景大小为 1000m×1000m,节点数目设置为 50 个.仿真时,通过改变节点的暂停时间来进行仿真,最终反映出节点移动速度的快慢对协议性能的影响.具体的暂停时间设为 0s, 50s, 100s, 150s, 200s, 300s.

图 1 所示为 IDSR、SMR 和 DSR 的数据分组投递率随暂停时间变化的比较曲线.可以看出, IDSR 的分组投递率要高于 DSR、SMR.原因在于: DSR 是单径路由,其投递率最低; SMR 协议建立的是链路不相交的路径,且在路由维护中,有一条路径失效就需重建路由;而 IDSR 选择的是节点不相交路径,路由维护时采用所有路径都失效时才重建路由的方案.

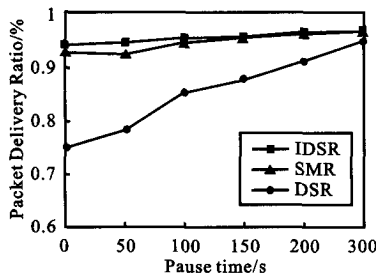


图 1 分组投递率比较

图 2 为 IDSR、SMR 和 DSR 的端到端的平均时延随暂停时间变化的比较曲线.从实验结果可以看出,与 SMR、DSR 相比, IDSR 端到端的平均时延最小.原因是 IDSR 是多径算法,在路径发生断链时可选择其他有效路径发送数据分组,有效地避免了路由重建,降低了时延;同时 IDSR 在建立路由的过程中,引入了 QoS 约束条件,使得中间节点转发分组的数目要小于 SMR,且 IDSR 通过构建代价函数选取节点不相交的路径,尽量减少了路径间的相互影响,避开业务量较重的节点,最终使得 IDSR 的时延要稍微低于 SMR.

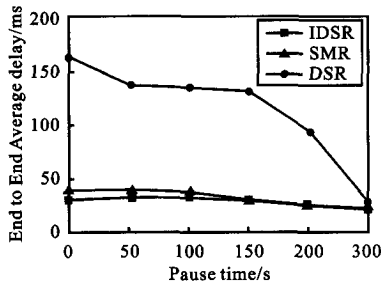


图 2 端到端的平均时延比较

图 3 所示为 IDSR、SMR 和 DSR 的路由控制开销随暂停时间变化的比较曲线.在暂停时间较短时,节点移动速度快, DSR 协议重建路由频繁,开销较

大,而 IDSR 和 SMR 都是多径路由,稳定性好,能有效控制数据分组的过度转发,减少了建路由的次数,所以两者开销较小.暂停时间逐渐增大后,网络拓扑稳定,发生链路断开和拥塞的可能性较小, DSR 可正常传输分组,无需重建路由;而 IDSR 和 SMR 寻找多路径时需要发送更多的控制分组,路由开销略高于 DSR.但由于 IDSR 和 SMR 都是基于 DSR 改进的,其开销相比 DSR 不会太大.相对于 IDSR 算法可提高分组投递率和降低时延,略为增加路由控制开销是值得的.

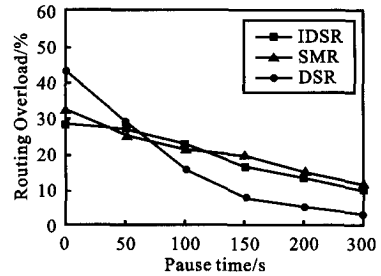


图 3 路由控制开销比较

### 5 结束语

针对基于 WMN 的多 QoS 约束多路径路由问题,本文提出了一种基于 DSR 的多 QoS 约束的多路径路由算法(IDSR).该算法采用了带宽、时延、负载率作为路径选择的约束参数,通过建立评价路径的代价函数,选择出满足条件的多条路径,较好地解决了已有多路径算法中存在的链路相交、开销大、缺少 QoS 支持、路由不稳定等方面的问题,从而获得更好的网络性能.实验结果和性能分析结果说明了本文算法的性能整体上要优于 SMR 和 DSR.

### 参考文献:

- [1] Wang X D, Lim A O. IEEE 802.11s wireless mesh networks: Framework and challenges[J]. Ad Hoc Networks Journal, 2008, 6(6):970-984.
- [2] 葛志辉,李陶深,张继成.无线 Mesh 网络逐层信道分配策略研究[J]. 广西大学学报:自然科学版, 2010, 35(6):13-17.
- [3] Lee S J, Gerla M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in Ad Hoc networks[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Helsinki, Finland, 2005:3201-3205.
- [4] Hu X H, Lee M J. An efficient multipath structure for concurrent data transport in wireless Mesh networks [J]. Computer Communication, 2007, 30(17):3358-3367.

[5] 唐笑秋. 基于负载均衡的无线 Mesh 网络路由算法研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008.

[6] 赵蕴龙, 马延龙, 李香. 无线 Mesh 网链路不相交多路径路由策略[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(9): 968—972.

[7] 杨孟珂, 杨亚涛, 白中英. 基于 HWMP 协议的无线 Mesh 网络多网关路由协议研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(12): 4—8.

[8] 丘小兰, 李陶深, 葛志辉. 无线 Mesh 网络多网关选播 QoS 路由模型研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(8): 116—118.

作者简介:



李陶深 男, (1957—), 博士, 教授. 研究方向为网络计算与信息安全、无线 Mesh 网络、分布式数据库.



王春霞 女, (1985—), 硕士, 助教. 研究方向为无线 Mesh 网络.



葛志辉 男, (1976—), 博士, 副教授. 研究方向为无线网络、网络协议性能优化.

(上接第 74 页)

nologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication. Stockholm , Sweden, 2000: 97 — 110.

[8] Sylvia Ratnasamy, Mark Handley, Richard Karp, et al. Topologically — aware overlay construction and server selection [C] // Proceedings of INFOCOM. USA; New York, 2002: 1190—1199.

[9] Dabek F, Kaashoek M F, Karger D, et al. Wide—area cooperative storage with CFS [C] // The 18th ACM Symp Operating Systems Principles (SOSP), Banff,

Canada, 2001.

[10] 周健, 洪佩琳, 李津生. DHT 网络中一种基于树型结构的负载均衡方案[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(11): 2042—2046

作者简介:

李 英 女, (1982—), 助教, 硕士. 研究方向为计算机网络、自然语言处理.

刘广亮 (1978—), 讲师, 硕士. 研究方向为计算机网络.