

无线 Mesh 网络多路径路由协议设计的思路*

Design of Multipath Routing Protocols for Wireless Mesh Networks

王春霞, 李陶深, 葛志辉

WANG Chun-xia, LI Tao-shen, GE Zhi-hui

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)

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

摘要:在分析目前无线 Mesh 网络(WMN)多路径路由协议研究现状的基础上,根据 WMN 多路径路由协议的关键问题和设计要求,提出设计多路径路由协议的思路,以从整体上解决 WMN 环境下负载均衡问题,提高网络应用的安全性和可靠性。

关键词:无线 Mesh 网络 多路径 路由协议

中图分类号:TN925.93 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2009)04-0343-04

Abstract:By analyzing of the current multipath routing protocol for Wireless Mesh Networks, design of multipath routing protocols based on the key issues and design requirements is proposed in order to solve the load-balancing issues and improve the network application security and reliability.

Key words:wireless mesh networks, multipath, routing protocol

随着网络技术日新月异的发展,无线 Mesh 网络(WMN)技术作为一种可以解决无线接入“最后一公里”瓶颈问题的新方案,在世界范围内越来越受到重视,在家庭、企业和公共场所等诸多环境有广阔的应用前景。与传统网络相比,WMN 具有的主要特征有:多条无线网络;支持移动 Ad hoc 网络,具有自形成、自愈和自组织网络功能;移动性取决于节点类型;能实现多种类型的网络访问;能耗限制取决于节点的类型;能够支持与其它无线网络兼容和互操作^[1]。除此之外,WMN 还继承了移动 Ad hoc 网络的其它一些特点,所以部分移动 Ad hoc 网络的路由协议在 WMN 中仍然可用。但是由于 WMN 具有自身的特点,使得一些传统的路由算法不能很好地适用于 WMN。WMN 的路由算法是 Mesh 领域的研究重点,其中多路径路由算法在解决负载均衡、路由容

错等方面的问题起着至关重要的作用。因此,为了进一步提高 WMN 的路由质量,多路径路由技术逐渐成为近年来的研究热点。本文在分析目前 WMN 多路径路由协议研究现状的基础上,根据 WMN 多路径路由协议的关键问题和设计要求,提出设计多路径路由协议的思路,以从整体上解决 WMN 环境下负载均衡问题,提高网络应用的安全性和可靠性。

1 WMN 多路径路由协议的研究现状

WMN 的网络资源非常有限,虽然单路径路由协议简单,易于扩展和配置,但是这种简单性从根本上限制了单路径路由协议性能的提升空间。在 WMN 中使用单路径路由协议,不但不能在链路断裂时很好地重建路由,而且不能满足多媒体所需的 QoS 要求。这样既造成了网络的不稳定,同时也增加了控制包的开销和网络延迟。显然,单路径路由在充分利用网络带宽以及避免拥塞链路,平衡网络负载方面存在不足。同时,随着网络性能的提高,单路径路由协议也无法满足路由由可靠性和节点性能等方面的更高要求。

收稿日期:2009-10-10

作者简介:王春霞(1985-),女,硕士研究生,主要从事无线 Mesh 网络研究。

* 广西自然科学基金项目(桂科自0832056)资助。

所以,近年来多路径路由已经被广泛地应用在有线网络和移动 Ad Hoc 网络中。因为多路径路由提供了一种简单的机制,能够很好地分配通信量、平衡网络负载,以及提供容错能力等。使用多路径路由,首先能够加快传输速度,减少延时,有利于负载均衡;其次能够防止断裂,增加稳定度,同时也可以减少在带宽方面的限制^[2]。目前 WMN 环境下已经研究出现了多种多路径路由协议,比如 SMR 协议、NDMR 协议、AOMDV 协议,和其它的一些多路径路由协议。

SMR 协议是分裂式多路径协议的简称^[3],是一种基于 DSR^[4]的路由协议。SMR 协议是建立和维护 2 条最大程度不相交路径来发送数据,可以有效地减少网络延迟,提高数据包传输率。SMR 协议为了找到最大不相交路径,不允许中间节点回复 RREQ 分组,当中间节点收到重复的 RREQ 分组时,比第一个 RREQ 分组跳数小的都被中间节点记录再转发。当目的节点接收到第一个 RREQ 分组,首先向源节点发送 RREP 分组,然后再从后续到达的 RREQ 分组携带的路径中选择一条与第一条最大独立的路径在发送 RREP 分组。在路由维护阶段,当 1 条或者 2 条路径失效时,源节点都会发起路由发现。

NDMR 协议^[5]是在单路径路由协议 AODV^[6]和 DSR 协议基础上扩展的一种按需路由协议,其主要是进行路径积累、减少路由开销和节点不相交路径的选择。NDMR 协议在源节点发起路由请求分组 RREQ,中间节点收到该分组后,对比其所经过路径的跳数是否小于当前自己到该源节点的路径的跳数,来确定是否继续向它的邻接节点转发 RREQ 分组。当目的节点收到第一个 RREQ 分组后,记录下该分组携带的节点的 IP 地址,并沿反向路径发送 RREP 分组。对于收到重复的 RREQ 分组,目的节点则通过判断各条路径上所经过的节点 IP 地址来判断路径是否相交,如果有相交节点则丢弃,否则被记录下来,从而得到多条节点不相交的路径,然后沿路径的反方向发送 RREP 分组到源节点。NDMR 协议虽然有效地降低了通信负荷,但是同时也产生了路由建立时间长,路由开销大的问题。

AOMDV 协议^[7]是在单路径路由 AODV 协议的基础上扩展的,其主要思想是建立多条无环路的链路不相交多路径。AOMDV 协议在协议中引入了“广告跳数”字段来避免环路发生,建立和维护到达每个节点的多条无环路径的路由更新规则。AOMDV 协议为了实现链路不相交,在路由请求过

程中不是直接丢弃重复的 RREQ 分组,而是有目的地判断该 RREQ 分组的第一跳是否与源节点的第一跳相同,如果不同,才把该路由信息保存下来,否则丢弃。AOMDV 协议可以提高数据包传输率、减少网络延迟等。但是该协议建立的路径数目太多,会引起获取的网络信息过时,同时也会在数据包传输过程中引起乱序问题。

其他的多路径路由协议,比如,MSR 协议^[8]是在动态源路由协议 DSR 的基础上扩展的多路径路由协议,该协议以延迟作为路径规格的度量,通过主动探测的方式获取路径的状态,采用带权重的循环调度算法,把业务流均衡地分配在多条路径上,从而提高整个网络的吞吐率,有效地利用网络资源。AODV-BR^[9]协议是一种备份多路径协议,该协议根据无线信道本身的广播特性,在路由发现过程中,主路径旁边的节点监听 RREP 消息,在 RREP 分组到达源节点时,建立一条从源节点到目的节点的主路径,其它的部分节点也能建立起到目的节点的备用路由,从而有效地降低丢包率。AOMR 协议^[10]是动态源路由协议 DSR 的扩展协议,该协议的主要思想是为源节点提供一条以上的备用路径,当主路径失效时,可通过备用路径来继续发送数据包;AOMR 协议的路由发现过程与 DSR 协议的类似,不同的是 AOMR 协议把第一个到达目的节点的 RREQ 分组携带的路径作为主路径,而后到达的 RREQ 分组中携带的路径若与主路径独立,则作为备选路径,否则丢弃;AOMR 协议使用一条路径传输,未能充分地使用备用路径,因而不能有效地实现负载均衡,降低了路径的质量。APR 协议^[11]通过探讨备用路径对负载均衡的直接影响以及端到端的延时问题,证明了多路径路由能够实现网络的负载均衡,同时还提出了一个多样性的注入方法来搜寻不交叉路径,比 DSR 查找的路径更多,然而备选路径在位置上相近导致路径耦合,因此在某些应用情况下更不可靠。

上述 WMN 环境下已经研究出现的多路径路由协议,无论是通过延时-带宽机制、链路可靠性模型还是高速缓存机制等方法获取多条路径,或者通过路径探测进行路由发现,或者去耦合建立多条路径,都不能够很好的满足 WMN 环境下可靠性强、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多方面的需求,还需要研究新的多路径路由协议。

2 WMN 多路径路由协议设计的思路

2.1 WMN 多路径路由协议设计的关键问题

在 WMN 的大部分多路径路由协议中,设计路由发现部分时,主要需要考虑路径之间的相交性、路由信息的存储位置、路由缓存问题、路由选择权、复制 RREQ 的处置、QoS 保证等问题。在路由维护方面,当源节点在多条路径上传输数据包时,如果其中一条路径失效就发起路由请求,会产生较高的路由开销,但是如果等到所有的路径都失效之后再发起路由请求则会引起延迟,这可能会降低业务的服务质量,因此还需设计一种较好的路由维护方法,同时兼顾业务的 QoS 以及尽量减少由于路由发现带来的开销。在网络业务量分配方面,当在源节点和目的节点之间建立多条路径后,就必须考虑如何合理地将用户业务流分配到各条路径上,实现负载均衡。目前有两种业务量分配方案:一种是面向数据包的分配方案,源节点将所有数据包平均分成几个部分,分别在不同的路径上传输,这种方案具有较好的效果。另外一种方案是面向连接来划分的,源节点根据路径的状态来分配传输量,性能较好的路径可以分到较多的数据。

2.2 WMN 多路径路由协议的设计要求

WMN 路由协议的设计需要综合考虑用户业务需求、网络能力和状态信息、WMN 的特点和运行环境、路由协议基本功能等诸多因素。根据这些因素,设计多路径路由协议时要选择合理的多路径路由选择算法;实现负载均衡;确保对链路失败的可容错性;能够快速适应网络拓扑结构动态变化,并且避免路径间的相互干扰;能够有效地利用有限带宽资源,降低开销,减轻拥塞和瓶颈;设计出来的多路径路由协议要具有安全性,降低遭受攻击的可能性。

2.3 WMN 多路径路由协议设计的思路

网络中的服务一般都要求在满足一定 QoS 的前提下求得最优路径,因此 WMN 多路径路由设计时要考虑引入带宽、时延、负载率等参数,在多路径选择过程中,把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,以从整体上解决 WMN 环境下负载均衡的问题,提高网络应用的安全性和可靠性。

(1)在路由发现过程中,主要对 DSR 协议进行改进。首先,中间节点不管有无到目的节点的路径,都不应答 RREQ 分组,对于重复收到新的 RREQ 分组,不能超过最大转发次数。其次,引入带宽约束,通

过为节点指定最小带宽,超出最小带宽,则丢弃 RREQ 分组。最后,目的节点在 Δt 时间以后,计算出多条路径的信息,通过多路径选择算法选出合适的路径,然后沿时延最小的路径向源节点发送 RREP 消息。

(2)拥塞是 WMN 路由选择需要考虑的一个重要问题,网络发生拥塞会引起网络性能的急剧下降。同时在路由发现过程中,节点之间相互竞争信道,导致选择路径的时延增加。因此在多路径选择算法中,引入代价函数,通过代价函数选出节点不相交的多条路径。通过综合考虑路径的负载率和路径的时延来构建代价函数。

第一步,先从目的节点收到的路径集中找出除源节点外的具有第一个相同的公共节点的一组路径,并标记该路径集合为 P_1 。

第二步,从子集合 P_1 中找出代价最小的路径,同时把集合 P_1 中的路径从路径集中删除。

第三步,判断路径集中是否仍有路由若有,则跳转到第一步进行判断是否存在有相同公共节点的路径,否则跳到转第四步。

第四步,统计 P 集合中剩余的路径和第二步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。若统计的路径数目不大于 3,则直接把统计的路径加入多路径记录表中。

3 结束语

本文在分析目前 WMN 多路径路由协议研究现状的基础上,根据 WMN 多路径路由协议的关键问题和设计要求,提出设计多路径路由协议的思路,以从整体上解决 WMN 环境下负载均衡问题,提高网络应用的安全性和可靠性。通过对多路径路由协议的分析可以看出,各种类型的协议具有各自的特点。在选择路由协议时,应充分考虑其优缺点,以适应实际环境的需要。目前一些最新提出的多路径路由协议还不是太成熟,在实际应用中还存在很多问题,有待于更加深入的研究。比如多路径传输过程中产生的报文乱序和分组重装问题,多路径传输中的拥塞自适应问题,多路径间的干扰问题,等等,还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Wang X D, Wang W L. Wireless mesh

- networks: a survey [J]. *Computer Networks*, 2005, 47 (4):445-487.
- [2] Mueller S, Tsang R P, Ghosal D. Multipath routing in mobile Ad hoc networks: issues and challenges [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, 2965 (4): 209-234.
- [3] Lee S J, Gerla M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in Ad hoc networks [C]. *ICC'01*, 2001, 10(7):3201-3205.
- [4] Broch J, Johnson D, Maltz D. The dynamic source routing protocol for mobile Ad hoc networks [EB/OL]. [2009-08-25]. <http://www.ietf.org/internet-draft/draft-ietf-manet-dsr-01.txt>, 2000211.
- [5] Li X F, Laurie C. On-demand node-disjoint multipath routing in wireless ad hoc networks [C]. In 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2004:419-420.
- [6] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing [C]. RFC 3561, 2003.
- [7] Wang L, Zhang L F, Shu Y T, et al. Adaptive multipath routing in wireless Ad hoc networks [C]. *ICC'01*, 2001, 3(6):867-871.
- [8] Marina M K, Das R S. On-demand multipath distance vector routing in Ad hoc networks [C]. *Network Protocols Ninth International Conference on ICNP*, 2001:14-23.
- [9] Lee S J, Gerla M. Aodv-BR; backup routing in Ad hoc networks [J]. *Wireless Communications and Networking Conference*, 2000, 3:1311-1316.
- [10] Nasipuri A, Das S R. On-demand multi-path routing for mobile Ad hoc networks [C]. *IEEE ICCCN'99*, 1999:64-70.
- [11] Pearlman M R, Haas Z J, Shilander P, et al. On the impact of alternate path routing for load balancing in mobile Ad hoc networks [J]. *ACM MobiHoc*, 2000, 8: 3-10.

(责任编辑:邓大玉)

(上接第342页)

- [9] Jim Torresen. Reconfigurable logic applied for designing adaptive hardware systems [C]. *International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Education, Science, and Medicine on the Internet (SSGRR 2002W)*, 2002.
- [10] Haoyu Song, John W Lockwood. Efficient Packet Classification for Network Intrusion Detection Using FPGA; proceedings International Symposium on Field Programmable Gate Arrays (FPGA) [C]. 2005: 238-245.
- [11] Goossens K, Bennebroek M, Jae Young Hur. Networks on chip in FPGAs to unify functional and configuration interconnects [C]. *Networks-on-Chip*, 2008. NoCS 2008. Second ACM/IEEE International Symposium, 2008:45-54.
- [12] 黄俊, 朱明程. 局部动态重构在 SOPC 中的应用 [J]. *深圳大学学报:理工版*, 2006, 23(4):351-355.
- [13] Xilinx, Inc. XAPP290: Two flows for partial reconfiguration; module based or difference based [EB/OL]. (2004-09-09). <http://www.xilinx.com>, 2004.
- [14] 王诚, 薛小刚, 钟信潮. FPGA/CPLD 设计工具—Xilinx ISE 使用详解 [M]. 北京:人民邮电出版社, 2005.
- [15] 周盛雨, 孙辉先, 陈晓敏, 等. 基于模块化设计方法实现 FPGA 动态部分重构 [J]. *微计算机信息(嵌入式与SOC)*, 2008, 24(2-2):164-166.
- [16] 许骏, 晏渭川, 彭澄廉. 基于模块的动态可重构系统设计 [J]. *计算机工程与设计*, 2008, 29(6):1367-1383.
- [17] Xilinx Inc. UG208: Early Access partial reconfiguration user Guide [E/OL]. (2006-03-16). <http://www.xilinx.com>, 2006.
- [18] Chang-Seok Choi, Hanho Lee. A Self-Reconfigurable adaptive FIR filter system on partial reconfiguration platform [J]. *IEEE Trans Inf. & Syst*, 2006, 90(12): 1932-1938.
- [19] Nezami K G, Stephens P W, Walker S D. Handel-C Implementation of early-access partial-reconfiguration for software defined radio [J]. *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2008:1103-1108.
- [20] Xilinx Inc. Partial reconfiguration design with plan ahead [E/OL]. (2007-12-05). <http://www.xilinx.com>, 2008.

(责任编辑:邓大玉)