

基于多网关的无线 Mesh 网络负载均衡调度算法

韦燕霞, 李陶深, 葛志辉

(广西大学 计算机与电子信息学院, 广西 南宁 530004)

摘要:网关节点的效率决定了无线 Mesh 网络(WMN)的传输性能,如何有效地解决 WMN 网关负载均衡问题是非常重要的。在已有的 WMN 负载均衡算法基础上,提出一种新的基于多网关协作机制的 WMN 负载均衡调度算法。该算法以源节点到网关节点的跳数信息和网络负载信息相结合作为网关的选择和切换标准,通过多个网关的协作机制,结合高效的网关选取和调度算法实时地对网关业务进行分流;通过一种快速平滑的网关切换方式对其进行调度,从而有效地缓解拥塞网关节点的负载压力,提高 WMN 的 Internet 接入性能。性能分析结果表明:该算法可在多个网关间直接实现负载均衡,减少了网络拥塞,提高了网络性能。

关键词:无线 Mesh 网络;负载均衡;多网关;网关选取和调度

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)11-0141-05

Load - Balanced Scheduling Algorithm Based on Multi - Gateway in Wireless Mesh Network

WEI Yan-xia, LI Tao-shen, GE Zhi-hui

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

Abstract: The efficiency of gateway determines the transmission performance of wireless mesh network(WMN). How to effectively solve the load balancing problem of WMN's gateway is very important. A new load - balanced scheduling algorithm based on multi - gateway in wireless mesh network(LSAMG) is proposed based on the existing load - balanced strategies. The algorithm uses the number of hops and load information as the standard of gateway selection and switching. Using the cooperative mechanism of multi - gateway, the algorithm combines with highly efficient gateway selection and scheduling algorithm, and distributes rationally the gateway business according to gateway load. It uses a fast and smooth scheduling mode of gateway switching to release load pressure of congestion gateway nodes and increase performance to switch in internet. The analytical results of performance show that it achieves the gateway load balancing within multiple gateways, reduces congestion and improves network performance.

Key words: wireless mesh network; load balancing; multi - gateway; gateway selection and scheduling

0 引言

无线 Mesh 网络(Wireless Mesh Network, WMN)是近几年出现的一种动态自组织、自我配置的具有数据接收和转发功能的多跳无线网络,它继承了 Ad hoc 网络自组织的特点,提供了更加灵活的无线宽带接入手段^[1]。然而,它在拓扑结构上不同于移动 Ad hoc 网络,其 Mesh 节点移动性较小,可以认定为静态节点,且不会形成孤立拓扑,业务主要是来往于 Internet 的业务。随着 Internet 流量的急剧增加,所有的 WMN

业务都汇聚于 Mesh 网关,这样很容易造成局部网络拥塞和网关的瓶颈,使分组排队等待时延和分组丢失率增加,从而很难维护网络全局最优路由。为了满足 WMN 的透明操作需求,路径选择算法必须要对更高层的协议隐藏。同时,路径选择要与 MAC 层协议紧密地耦合在一起,以便满足 WMN 的多跳性^[2]。因此,在 WMN 中,网关节点的处理能力将制约整个 WMN 的性能,有必要在路由选择时考虑网络中网关的负载和拥塞情况,合理地分流网络数据,进而缓解网络拥塞。为此,文中引入了一个多网关协作机制,利用多个网关的协作,合理地分流和平衡网关负载,进而缓解网络拥塞,直接实现网关之间的负载均衡。

收稿日期:2010-03-05;修回日期:2010-06-10

基金项目:国家自然科学基金(60963022);广西自然科学基金(桂科自 0991059);广西研究生创新计划项目(105930903039)

作者简介:韦燕霞(1984-),女,硕士研究生,研究方向为无线 Mesh 网络;李陶深,教授,博士,研究方向为无线 Mesh 网络、网络计算与路由、分布式数据库。

1 相关研究工作

目前对网关节点进行负载均衡调度的方案^[3]有:

基于移动边界的负载均衡(MBLB)、基于节点分割的负载均衡(PHLB)以及基于概率分条的负载均衡(PSLB)。在 MBLB 和 PHLB 方法中,每个 Mesh 节点各自仅利用一个网关节点作为出网通道;而 PSLB 方法中,每个 Mesh 节点可以分别同时利用多个网关节点作为出网通道,这种多网关协作调度机制在提高资源的效率、公平性、健壮性和安全性方面上都具有较大的优越性。但以上对网关的负载均衡调度机制也仅仅在初步研究阶段,还有很多问题亟待研究。例如:负载均衡优劣的度量、网关切换时如何保证网络的稳定性,数据流分流时如何减少延迟和丢失问题等。

在众多关于网关负载均衡的研究中,如何确定网关选择和切换的标准已经成为人们关注的一个热点问题。目前研究者们提出的各种对网关进行选择和切换的技术方法主要分为三类。第一类方法是最短路径策略方法,它是以最小跳数作为选择和切换标准^[4,5]。如文献[6]针对无线网状网的网络容量问题,提出了一种基于多信道无线 Mesh 网络模型的负载均衡的路由算法,该算法以对业务请求的路由跳步数作为约束的前提,通过减少网络链路上的负载,达到提高网络的吞吐量的目的。这种方法实现简单,收敛快且延迟小,但由于这种最短路径的方式在选路的时候没有考虑到网络拥塞情况,因此很容易在一些中心区域形成“网络热点区域”,并成为网络的瓶颈,最终导致网络性能下降。

第二类方法是针对第一类方法存在的局限性而提出的,它摒弃了最短路径策略,直接选取跳数之外的其他因素作为网关选择和切换标准。如文献[7]提出了一个基于网关负载的选择和切换策略,用网关的负载作为网关选择和切换的依据。这种方法虽然在一定程度上缓解了网络拥塞,并实现了网关间的负载均衡,但是由于没有考虑最短路径因素,因此有时将某个移动节点连接到一个较轻负载的网关时会增大延迟,导致性能下降。显然,上述两类方法各有千秋,都存在一些局限性。在研究过程中人们发现,若能有效地综合跳数、网关负载及其他一些因素作为网关的选择和切换标准将是一个较好的折中方案,于是就出现了第三类方法。文献[8]提出的策略就是将跳数和网络拥塞状态相结合,并综合考虑了信道冲突状况。仿真结果表明,该策略在高信道争用的拥塞情况下,能够较好地改善分组投递率和网络性能,以较快的速度缓解拥塞,提高了网络性能,但其缺点是不支持被动式的网关发现方法。文献[9]和[10]在采用最短路径策略的基础上,综合考虑了网关的负载状况。这种方法可以在最短路径和较轻负载两种情况下得到一个较好的折中,有效地利用资源。从目前的方案来看,第三类方法得到了

普遍认可和广泛应用。它可通过利用不同的标准对网关性能进行比较,当发现更合适的网关时,能够及时选择和快速切换网关,进而实现网络负载均衡。

也有研究人员利用启发式方法来解决网关负载均衡部署问题,如文献[11]提出一种网关部署的贪婪算法,用于实现网关之间的负载均衡;提出一种遗传算法与贪婪算法相结合的混合算法,算法设计的目标是在较少迭代次数下可以达到网关数量和负载均衡两方面的优化。

文中在以上工作的基础上,提出一个基于多网关协作机制的无线 Mesh 负载均衡调度算法。它的出发点是利用多个网关之间的协作,根据网关的负载状况,合理的分流网络数据,在多个网关间直接实现负载均衡。

2 网关选取策略

2.1 WMN 网关选取问题的描述

在多网关的 WMN 中,用户节点若要接入因特网首先必须得选择一个网关节点,而如何选择适当的网关节点则属于典型的网络选播通信问题。文中将 WMN 中每个网关节点都看成是选播组成员,而所有的网关节点则构成一个选播组,带约束条件的用户节点通过一种有效的选播方法自适应地选择出能够为其提供最优服务的网关节点,从而提高 WMN 的接入性能。

把 WMN 抽象为一个加权无向图 $G = (V, E)$, 其中, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 表示 WMN 中的有限节点集合, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 表示 WMN 的链路集。用 $G(C) = \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$ 表示一组请求网关服务的 Mesh 客户节点,这里 $G(C) \subseteq V$, 且 $p < n$; $G(A) = \{g_1, g_2, \dots, g_k\}$ 表示一组可向客户节点提供相同服务的目的网关节点,即一些通过有线电视与 Internet 直接相连的网关节点,其中 $G(A) \subseteq V$, 且 $k < n$; WMN 中的流量通过网关节点到达 Internet。则一个多条件约束的 WMN 选播路由请求可表述为:

$$Q = (C, G(A), \text{Req})$$

其中, C 是请求服务的 Mesh 客户节点, $G(A)$ 表示选播组节点集合,在这里表示为无线 Mesh 网络中网关节点组成的选播组, Req 是多个条件约束组。这样就可以将 WMN 的网关选取问题转化为多条件约束的选播路由问题,将约束要求转换为公式中的 Req , 实现 WMN 中多网关多条件约束的选播路由模型。

2.2 网关选取的决策函数

目前流行的网关选取大都以跳数作为基准,而跳数少并不能保证选择的网关最优。文中采用跳数和网

关负载作为选择网关的判断标准,提出了一个平衡负载的网关选择策略,其中网关负载用网关的缓存占用率来表示。在策略中设置了一个新的网关选取决策函数(DF),用以帮助找到一个满足最短路径和较轻负载的网关,然后通过网关选择和切换对数据流进行分流,最终实现负载均衡。DF 按如下公式计算:

$$DF = \alpha(h_i/h_j) + (1 - \alpha)(BO_i/BO_j) \quad (1)$$

其中: $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ 是权重,由服务器和网络状态决定; h 和 BO 分别为节点到网关的跳数值和网关的缓存占用率; i 和 j 分别表示节点到达的不同的网关。

WMN 网关选取的选播路由问题可以描述如下:给定一个 WMN 网络 $G = (V, E)$ 和一个选播请求 $Q = (C, G(A), Req)$,为 $G(C)$ 中的每一个客户节点 C_i ,寻找 $G(A)$ 中的一个网关节点,要求满足 DF 最小。

3 基于多网关协作的 WMN 负载均衡调度策略

3.1 调度策略的设计思路

调度策略的关键就是要能够实时负载均衡,降低繁忙节点的业务量,通过利用多个网关之间的协作,结合路由协议和中间路由器的协作,能够根据网关的负载状况,合理地分流网络数据,在多个网关间直接实现负载均衡。其具体实现过程为:首先,每个通信节点需要找到一个或多个到达网关的路径,并且选择到达每个网关的最优路由,然后根据网关选取策略,选择出最佳网关。在通信过程中,有时会出现大量分组都汇聚到某个网关的情形,这样势必会造成网关的瓶颈。此时必须进行调度,把一部分数据流分流到其他负载较轻的网关上,以实现网关之间的数据流切换,最终在各个网关间实现负载均衡。

为此,文中选出一个路由器作为网关控制器(简称超级网关),它担任 WMN 与 Internet 之间的总接入点,同时负责维护 WMN 中节点与网关的映射关系,能够及时获得各网关的负载信息。各个网关节点以网关控制器作为信息中心,并且时刻监听信息中心节点。只要负载状态发生变化,各网关就向该信息中心节点汇报各自负载状态信息,并从信息中心节点接收其他网关负载状态信息。超载的负载消息也被作为任务请求由信息中心节点记录下请求任务的节点号,由空闲

节点根据信息中心节点的记录主动调入执行。拓扑模型如图 1 所示。

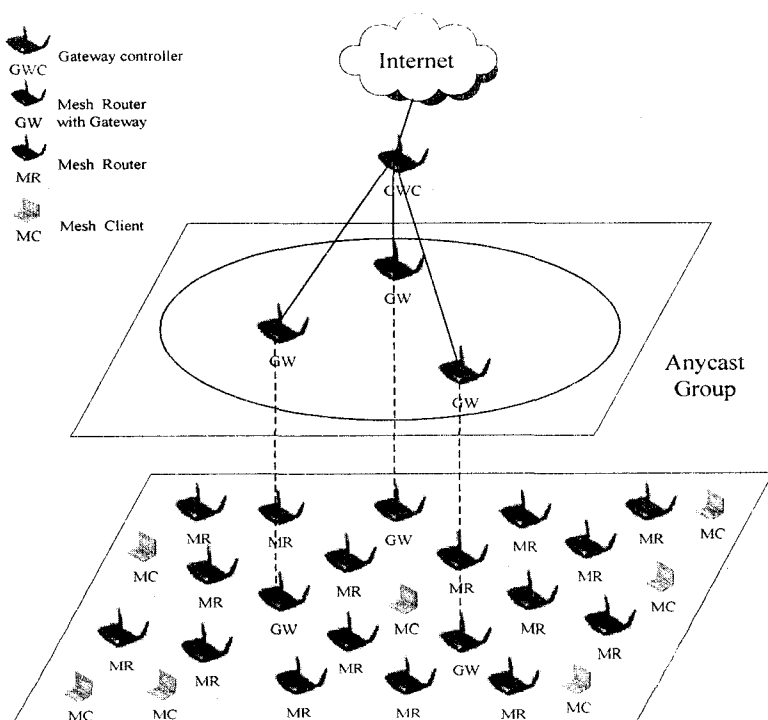


图 1 WMN 分层结构图

在 WMN 分层结构图中,网关控制器(GWC)与 Internet 有线连接,而其他普通网关节点(GW)则通过无线连接与网关控制器相连,若想与 Internet 通信,则需先通过网关控制器,再由网关控制器与 Internet 通信。

每个节点都有一个固定的最大缓存容量 BO_{max} 。为了使实验能够有效运行并能增强系统稳定性,文中设定节点的最大缓存适当降低以保证负载不会超过节点实际容量的 90%。用 CS_i 表示网关的负载状态变量,取值分别为 1、2。其中 1 表示轻载网关,2 表示重载网关。它们分别定义如下:

(1)轻载网关: $BO_i < 90\% BO_{MAX}$;

(2)重载网关: $BO_i \geq 90\% BO_{MAX}$ 。

在网关控制器节点上建立一个全局轻载网关节点信息表,负责存放轻载网关的负载信息,并按优先队列排序。每个网关节点定期检测自身的负载信息,当发现自身的负载已经超过某个阈值,即达到重载状态时,就发送切换请求包到网关控制器,并同时向网关控制器反馈重载信息。当网关控制器确认其网关处于重载状态时,则同意其部分负载转移到其他网关上。当网关节点检测到自身负载处于轻载状态时,则向网关控制器发送轻载信息,告知网关控制器本节点还能继续增加负载。网关控制器确认其为轻载状态后,该节点的负载如果没有什么大的变动,则不再发送负载信息

给网关控制器,如算法 1 所示。网关控制器根据接收到的负载信息对各个网关进行分别处理,具体的处理过程是:网关控制器把轻载网关节点的负载信息记录到全局表,并对其进行任务调度;如果是重载网关节点,则查找网关控制器的全局信息表,选择适当的轻载节点对其进行任务调度,如没有合适的轻载网关节点则不进行任何调度,具体描述如算法 2 所示。

算法 1 网关负载信息发送给网关控制器的算法:

```

if( $BO_i > 90\% BO_{MAX}$ ) {
    if(网关状态! = "重载网关") {
        向网关控制器发送切换请求包,请求把自身部分负载转移到其他网关上;
    }
}
if( $BO_i < 90\% BO_{MAX}$ ) {
    if(网关状态! = "轻载网关") {
        向网关控制器发送轻载信息,并表示自身节点还能承载更多的任务;
        网关状态 = "轻载网关";
    }
}

```

算法 2 网关控制器任务调度算法:

```

if(网关控制器收到切换请求包时) {
    查找全局信息表;
    if(找到的所有轻载网关节点的队列都为空) {
        网关控制器拒绝切换请求;
        return;
    }
    队列经过排序后,取出第一个节点;
    if(now_time - last_update_time < 一个周期) {
        网关控制器把取出的第一个节点的负载信息发送给请求切换的节点,然后将请求切换的网关节点的部分任务转移到取出的这个节点上;
    }
    else {
        向队列所有节点组播轻载确认消息;
        根据反馈回来的信息对队列进行重新排序;
        队列经过排序后,取出第一个节点;网关控制器把取出的第一个节点的负载信息发送给请求切换的节点,然后将请求切换的网关节点的部分任务转移到取出的这个节点上。
    }
}

```

3.2 网关切换过程

在以上工作的基础上,调度算法的最后实现是通过网关的切换来完成的。为了降低切换过程中分组丢失、延迟和通信中断等问题,需要有一个快速平滑的网关切换机制。

节点切换网关的过程如下^[12]:

(1)用户节点首先向新选择的网关发送切换请求包,新选择的网关收到来自用户节点的切换请求包后再转发给网关控制器。

(2)网关控制器对用户节点的切换请求包进行确认,然后发放同意切换的消息给新选择切换的网关,这个网关再转发给请求切换网关的用户节点。

(3)用户节点接收到来自网关控制器的同意切换消息后,即向新选择切换的网关发送注册消息,用户节点的通信分组正式切换到新选择的网关上。

(4)网关控制器再把通信目的地址为该用户节点的所有分组都调度到新选择的网关上,并由新选择切换的网关负责发送给该用户节点。

这种在用户节点、新选择网关及网关控制器之间切换消息的发送和接收过程,能够预先建立与新选择网关的路由,避免了以直接切换方式带来的分组丢失、延迟等问题,从而实现了一种快速平滑的网关切换。

4 性能分析

基于跳数的判断标准就是最短路径方法,目前传统的路由选择策略都是基于最短路径的考虑。但是,随着网络通信的增加,这种选路方法很容易导致热点区域的形成,并出现网络瓶颈,最终导致网络拥塞,因此基于最小跳数的判断标准有时候并不一定能找到最优路由。文中有别于上面的基准。LSAMG 算法综合使用了跳数和网关负载作为网关选择的标准,它是对单纯采用跳数或负载策略的一个折中考虑。相对于仅仅使用跳数或负载作为网关选择和切换标准来说,LSAMG 算法既能很好地实现了最小跳数策略能节约资源的优点,又能很好地根据负载状况合理地分流数据分组,在各个网关间实现负载均衡,达到缓解网络拥塞、提高网络的整体性能的目的。

另外,LSAMG 算法通过对网关业务流实时进行合理调度,有效地保护了拥塞节点数据包的传输,避免了一些无谓的网络丢包,提高了网络吞吐量。而算法过程中所有的信息包传播是借助路由协议来实现的,所以不会额外增加网络负载。在切换过程中,由于分组节点与备选网关(即切换到网关)之间的路由已建立,同时与原网关间的路由还存在,这样就避免了以直接切换方式带来的分组丢失和延迟问题,从而实现了一种快速平滑的网关切换。

5 结束语

针对 WMN 存在的网关负载均衡问题,文中提出了一种基于多网关的无线 Mesh 网络负载均衡调度算

法。该算法通过利用多个网关之间的协作,能够根据源节点到网关节点的跳数信息以及网关节点自身的负载状况,实时对网络负载进行分流,并通过一种快速平滑的网关切换方式对其进行调度,从而有效地缓解拥塞网关节点的负载压力,提高 WMN 的 Internet 接入性能。下一步工作将针对网关选取与切换策略如何更好的提供 QoS 保证作深入研究。

参考文献:

- [1] 董超,陈贵海,王海.无线网状的 QoS 研究[J].软件学报,2009,21(6):1539-1552.
- [2] 姜永,郑明春,李国强. IEEE802.16 中的无线 Mesh 网络研究[J].计算机技术与发展,2008,18(5):234-237.
- [3] 无线 Mesh 网络关键技术[EB/OL]. 2008-04. <http://www.cctime.com/html/2008-4-24/20084241157120415-4.htm>.
- [4] Sun Y, Belding-Royer E M, Perkins C E. Internet connectivity for Ad hoc mobile networks[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2002, 9(2): 75-88.
- [5] Hofmann P, Bettstetter C, Prehofer C. Performance impact of multihop handovers in an IP-based multihop radio access network[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2006, 10(2): 13-25.
- [6] 陈锦源,魏文红.多信道无线 Mesh 网络负载均衡路由算法研究[J].计算机工程与应用,2009,45(19):98-100.
- [7] Shin J, Lee H, Na J, et al. Load balancing among internet gateways in Ad hoc networks[C]//Proceedings of 2005 IEEE 62nd Vehicular Technology Conference (VTS'05). Dallas, Texas, USA: [s. n.], 2005: 1677-1680.
- [8] Fu Yi, Chan Kwang-Mien, Tan Kean-Soon, et al. Multi-metric gateway discovery for MANET[C]//Proceedings of 2006 IEEE 63rd Vehicular Technology Conference (VTS'06). Melbourne, Australia: [s. n.], 2006: 777-781.
- [9] Ammari H, Ei-Rewini H. Using hybrid selection schemes to support QoS when providing multihop wireless internet access to mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks. Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2004: 148-155.
- [10] Park B, Lee C. QoS-aware internet access schemes for wireless mobile Ad hoc networks[J]. Elsevier Computer Communications, 2007, 30(2): 369-384.
- [11] 曾锋,陈志刚,赵明,等.无线 Mesh 网中实现网关负载均衡部署的混合算法[J].系统仿真学报,2009,21(10): 3029-3034.
- [12] 张凯捷,向勇,史美林.移动自组网与 Internet 的多网关互连[J].清华大学学报(自然科学版),2007,47(1):100-103.

(上接第 140 页)

型可以用来指导接下来的系统开发。

5 结束语

文中根据电子交易的特点、社会环境、技术需求等,提出了一个具有交易约束机制的电子商务平台模型。文中基于 Petri 网这一有效工具,建立了电子商务平台的 Petri 网系统模型,并设计了检验 Petri 网模型活性的可达树生成算法,最后应用 Petri 网仿真工具,对设计的电子商务模型进行了实验仿真,并分析了实验结果。根据实验结果,可以定位系统设计中的缺陷,引导设计人员优化业务流程。文中提出的电子商务平台建模方法和前言中介绍的各种已有的电子商务建模方法相比,更具有直观性,更有利于运用计算机分析系统模型的活性、可达性等重要性质等。

参考文献:

- [1] van der Aalst W M P. The application of Petri nets to workflow management[J]. The Journal of Circuit, System and Computers, 1998(8): 21-66.
- [2] 杜玉越.电子商务系统的 Petri 网建模理论与分析技术研究[D].上海:同济大学,2003.
- [3] 严慧芳,刘丹,胡艳蓉.一种电子商务中的非集中式 P2P 信任模型[J].武汉生物工程学院学报,2008,4(1):19-23.
- [4] van der Aalst W M P, Basten T. Inheritance of workflows: an approach to tackling problems related to change[J]. Theoretical Computer Science, 2002, 270(1-2): 125-203.
- [5] ebXML Technical Architecture Specification[EB/OL]. 2001-02-16. <http://www.ebxml.org/specs/ebTA.pdf>.
- [6] 韦丽娜,何冰.电子商务扩展标准语言研究[J].计算机技术与发展,2009,19(1):128-130.
- [7] 何培鹏,魏凤.基于 RosettaNet 的第三方电子商务交换平台[J].计算机技术与发展,2006,16(3):139-141.
- [8] 王凤洲,周琦萍.电子商务物流系统的建模与仿真[J].系统科学学报,2007,15(4):86-89.
- [9] 王晓洁,朱清新.基于 XML/Web 服务的分布式电子商务系统的研究[J].计算机技术与发展,2006,16(3):194-199.
- [10] 张大强,殷世民.基于 Web Service 的电子商务体系结构[J].计算机技术与发展,2006,16(7):23-25.
- [11] van Aalst W, van Hee K. Workflow Management—Models, Methods, and Systems[M]. 王建民,译.北京:清华大学出版社,2004.
- [12] 吴哲辉. Petri 网导论[M].北京:机械工业出版社,2006.