

一种无线 Mesh 网络的多径 QoS 路由协议^①

熊娇娇 蒋念平 (上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

摘要: 为满足无线 Mesh 网络用户对服务质量(QoS)的应用需求,在 AODVM(无线自组网按需平面距离矢量多径路由)协议的基础上提出一种有 QoS 保障的基于稳定性优先级的多路按需路由协议 SPODV。该协议综合考虑 Mesh 节点间的稳定性及带宽约束,改进路由选择策略以满足用户的 QoS 要求。

关键词: 无线 Mesh 网络; SPODV; QoS; 带宽约束; 节点稳定性

Multi-Path Protocol of QoS in Wireless Mesh Network

XIONG Jiao-Jiao, JIANG Nian-Ping (School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to meet the Wireless Mesh Network users' application demands for the quality of service (QoS), in this paper, base on the AODVM (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector) to promote the Stability-Preferential On-demand Distance Vector Routing (SPODV) protocol which is a network link stability-preferential-based as well as a multi-path QoS protocol. It comprehensively considerate the agreement between the network link stability and bandwidth constraints to improve the routing strategy to meet the users' QoS requirements.

Keywords: wireless mesh network; SPODV; QoS; bandwidth constraints; network link stability

无线 Mesh 网络是由 Ad Hoc 网络发展而来的相对静态的无线网络,可以说是 Internet 的无线版本,它具有自组织、自配置、自治愈、频谱利用率高,覆盖范围大,可扩展性强、易于部署、可靠性强等特点,能自动探测、组建、维护一个 Ad Hoc 网络,并具有用户管理和跟踪机制,是一种多跳、高容量、高传输率、低功耗、低成本的分布式无线宽带网络。作为为解决“最后一英里”网络接入问题的而写入 IEEE 标准的网络技术,无线 Mesh 网络已成为下一代无线网络通信的热门技术之一。其中智能路由技术作为该技术发展的关键技术之一引起广泛关注研究,如何在无线多跳网络中既能及时适应网络拓扑变化,又保证业务的服务质量 QoS,是设计路由协议时需重点考虑的因素。

1 WMN路由协议研究

1.1 无线 Mesh 网络中的路由协议

根据无线 Mesh 网络的结构特点,一个好的无线

Mesh 路由协议应具备的特征^[1]有: 1. 具有合理的路由判据。仅仅以最小跳作为路径选择标准会导致某些“热门”节点通信量过大,容易发生拥塞,致使整个网络吞吐量降低。2. 容错性好。能在链路失效的情况下迅速找到另一条替代路径以保证网络的鲁棒性。3. 负载均衡好。能均衡使用网络资源,使各节点能够智能地察觉到链路上的各条链路的负载,避开负载较大的节点,选择轻载链路以达到负载均衡。4. 网络容量大。协议中应不采用广播机制以避免因网络中节点数目增加而显著增大的网络开销。5. 扩展性好。网络应该能迅速识别新增节点,快速建立到该节点的路由,并且尽可能地减少端到端的延迟。6. QoS 保证: 需要提供满足用户需求的稳定、高质量的服务。

1.2 主流协议分析及 AODVM 简介

由于与 Ad Hoc 网络有许多相似之处,目前许多无线 Mesh 路由协议是借鉴改进 Ad Hoc 路由协议而来。Ad Hoc 路由协议主要 3 种^[2]: 表驱动路由选择

^① 收稿时间:2010-04-15;收到修改稿时间:2010-05-30

协议、源启动按需路由协议和混合式路由协议。同属源启动按需路由协议的 AODV 协议和 DSR 协议是目前无线 Mesh 网络中研究及应用相对较为广泛的路由协议。二者各有优缺点：在节点移动性较低、网络规模较小的情况下，AODV 协议和 DSR 协议性能较为相似。但随着节点移动性的提高和节点数量的增加，AODV 协议的整体性能表现较好，而 DSR 协议链路平均负载较低^[3]。由于 AODV 路由协议是单路由协议，这从根本上限制了其性能的提升。无线 Mesh 网络中的带宽、节点能量等资源有限网络在轻载时会导致负载不均衡，资源浪费严重。而在链路、路由器处发生拥塞或断开时，若不能很好重新选择合适路径，势必会造成无线 Mesh 网络的较大延迟。AODVM(Ad Hoc on-demand Distance Vector Multi-path)采用多路路由协议^[4]，它可以很好地避免单径时网络震荡影响，在充分利用带宽等网络资源的同时实现负载均衡、路由迂回和容错等。若某条链路因为信道质量恶化不能正常工作，其他链路可以继续使用，因此在路由故障时，也可以避免路由重建等操作。

1.3 802.16 协议

2004 年 10 月正式发布的 IEEE 802.16-2004 是一个相对较为成熟的标准^[5]，它专门定义了 WiMAX 的无线空中接口(包括物理层和 MAC 层)并且采用面向连接机制，能够为用户提供 QoS 支持。WiMAX 的 QoS 机制包含两部分，一部分是关于业务流的管理，它提供了一种实现上、下行 QoS 管理的机制，是 MAC 层的核心功能，在 IEEE 802.16 中进行了详细规定，包括业务流定义、QoS 参数集、分类符和动态业务管理等；业务流管理的主要方法为首先创建最初的业务流及其 QoS 参数进行配置；然后对业务流进行动态管理，包括动态业务增加、动态业务改变和动态业务删除，最后在通信过程中对 MAC 的分组数据包进行分类并依据业务流类别确定优先级进行调度^[6]。另一部分是相应的 QoS 保证机制，包括调度算法、流量控制等。QoS 保证机制大致可分为两类：带宽管理机制和业务流处理机制。由于不用考虑经常变化的无线链路的信道、用户移动性、数据突发性等因素，传统的有线网络已经提出来的多种可靠的 QoS 保证机制不能直接应用于无线网络上。目前 IEEE 802.16 标准对这部分内容尚没有清楚地定义和阐述。所以如何提出一个合适的调度算法以保证满足用户不同 QoS 要求是当前研究工作的重点，也是本文讨论的关键。

2 基于QoS的SPODV路由协议

AODVM 协议是以信源到信宿的最小跳数即最短路径作为路由评价惟一标准，而没有考虑 QoS 参数，因此只能提供“尽力而为”类型的数据业务。无法满足某些应用场合对 QoS 的要求。

Mesh 网络中的节点相对于 Ad hoc 节点本身稳定性更强，不经常发生变动，利用这一特点，尽量使数据分组沿着稳定度高的节点传输，降低从稳定性弱的节点传输导致的路由震荡的概率，一定程度上节省了路由错误及重新路由的时间开销，减少传输次数期望 ETX(Expected Transmission Count)。即同时降低了差错率与传输延迟，从而改善网络的服务质量。在路由选择过程中根据网络中各节点的负载和拥塞情况选择路由，使网络的平均端到端时延、分组投递率和附加路由控制开销等综合性能得到优化，使网络保持高效、连续、稳定的运行，达到改善网络的服务质量的目的。

通过以上分析在 AODVM 的基础上，本文提出一个有 QoS 保证机制路由协议——基于稳定性优先级的按需路由协议 SPODV(Stability- Preferential On-demand Distance Vector Routing)，该协议综合考虑网络中节点稳定性及带宽约束，改进 AODVM 协议的路由选择策略。在路由寻路过程中各节点仅仅选择与自己连接稳定性比较高的三个节点作为下一跳子集，且分别计算各自的最小剩余可用带宽与最大负载，选择满足带宽需要的链路，并考虑到目的节点的顺序来综合选择一条路由，使得选出路径满足 QoS 要求。

2.1 业务流处理机制

SPODV 路由协议的路由发现及维护过程与 AODVM 的类似，这里不再赘述，仅描述不同之处。首先为每个节点在路由表外添加一个叫邻居表的数据结构，该表为每个邻居节点建立一表项，可根据邻居节点的加入或离开动态维护该表。同时出于未来实际应用中扩展性考虑，可以根据需要添加表项内容，以提供更好的 QoS。该表每项记录了处于激活状态的所有邻居节点及其与自己的稳定值、最小剩余可用带宽与最大负载值，稳定优先级，表项内容如下表所示。每个节点只关心与自己链路稳定值高的三个邻居节点，并将其作为此次传输的惟一下一跳集，分别标注为 H、M、L，其余的邻居节点均标注为 N 不作为节点下一跳，以此摒弃稳定性低的节点，不将其作为中间

节点,以降低链路失效概率,增强整个网络的稳定性同时可减少发送错误分组及重新路由的时间开销。本文在描述该协议时站在节点的角度上,将每个 Mesh 网络中的节点称为中心节点标记为 C ,将与中心节点通过“单跳”能到达的节点集合称为邻居节点集,每个节点分别标记为 $B[i]$ 。协议实现中为每个新加入的中心节点创建一个邻居表 BT ,表中每项记录与每个 $B[i]$ 的连接信息(表项结构如下表),每“探测”到一个邻居节点 $B[i]$,才在该表中添加一项并初始化,其中设“与中心节点稳定值”初始为 O 。运行时利用路由寻路的控制报文及 HELLO 控制消息收集的数据,确认邻居节点 $B[i]$ 与中心节点的有效连接,每检测到一次, BT 表中该邻居节点 $B[i]$ 对应的“与中心节点稳定值”加 1 。若连续三次发现该邻居节点与中心节点连接中断,即将该邻居节点表项中的节点稳定值清 O ,同时将稳定优先级设为 N 。邻居表 BT 结构使用一个成员函数用来监测各邻居节点与中心节点的稳定值,找出值最大的三个,分别置相应邻居表项中的“稳定优先级”为 H 、 M 、 L ,其余邻居为 N 。另设一超时时器,时间计数超过该计时器时设定值时,统一将所有邻居节点的稳定值清 O (稳定优先级保持不变)。节点通过检测 HELLO 控制分组动态维护各表项中的与中心节点稳定值,始终保持将各邻居节点中节点稳定值最高的三个优先级标记为 H 、 M 、 L (若邻居节点个数少于 3 ,则相应减少邻居表表项个数)。

2.2 带宽管理机制

本文采用可用带宽计算方法^[7],利用节点检测到的共享信道的忙、闲时间来估算可用带宽。节点所在信道的空闲时间减去周期发送 HELLO 消息占用的时间即可反映节点的可用带宽。

当源节点收到数据分组发送请求时,先在本地路由表中查找该目的节点,若不存在,即启动一个路由发现过程,并由源节点构造一个路由请求(RREQ)分组,该分组结构与 AODV 类似,增加了链路加权稳定比值(WCSR)、最小剩余可用带宽(MINBW)、最大负载(MAXLOAD)及带宽门限值(BDWTH)等字段信息。中间节点在收到该 RREQ 分组时若自身 ID 及目的节点地址不存在于本路由表时,计算自己的 MIN_BW 值,将其更改到前向节点对应的邻居表项中,并与 RREQ 分组中 MINBW 值比较,若比其小,则用自己的 MIN_BW 值更新 RREQ 分组中 MINBW 值:

$$MIN_BW = K \times BW \times \frac{T_idel}{T} \quad (1)$$

其中 T_idel 表示 T 时间间隔内处于空闲的时间, BW 表示 MAC 层链路带宽速率。 K 为考虑到控制分组的开销而引入的修正系数,是个常量,经计算为 0.8865 ^[7]。

同时比较节点最大负载 MAX_LOAD(意表明各节点数据缓存区中已占用数据大小中最大的值)与 RREQ 分组中 MAXLOAD 值,若比其大则替换之。

$$MAX_LOAD = \max(L_1, L_2, L_3, \dots, L_i, \dots, L_n) \quad (2)$$

其中 L_i 为节点 i 的负载,为各节点数据缓存区中已占用数据大小。

然后将本节点添加到路由表中,同时根据该节点的邻居稳定优先级,向三个优先较高的邻居节点转发该 RREQ 分组,其余中间节点的处理情况同 AODVM 协议。当目的节点接收到第一个 RREQ 时,先判断该分组的 MINBW 是否大于 BDWTH,若小于则丢弃该 RREQ 分组,同时启动一个超时时器,只接收该计时器超时前的所有 RREQ,并判断该分组的 MINBW 是否大于 BDWTH,否则丢弃该分组。目的节点先缓存所有没丢弃的 RREQ 分组路径,并计算各路径链路加权稳定比值 WCSR(Weighted Cumulative Stability Rate):

$$WCSR = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_i + \dots + S_n}{3 \times n} \quad (3)$$

其中 S_i 为节点 i 的稳定优先级对应的数值,当优先级为 H 时 S_i 为 3 ,为 M 时 S_i 为 2 , L 时为 1 。目的节点选取 WCSR 值最大的(若出现最大值不唯一的情况,则取 RREQ 分组最先到来的)路径作为最优路径并向源节点发送路由回复分组(RREP),该路由回复将延迟 $1s$,等待看看是否有机会利用捎带方式进行发送。

通过以上对基于 QoS 的 SPODV 路由协议过程的详细阐述,定义了 QoS 保证机制中的业务流处理机制和带宽管理机制。综合考虑了节点稳定性、可用带宽、传输延时、网络吞吐量等 QoS 参数对路由协议提出的要求,理论上可使该协议满足用户基本 QoS 要求。

3 协议仿真与性能评价

根据以上对 SPODV 路由协议的详细描述,在 OPNET 10.5 仿真软件上对协议进行了模拟仿真,利用 OPNET 模型库中的无线节点模型和进程模型搭建

了协议的仿真模型。本仿真设置节点于静止和移动两种场景中,对比 AODVM 路由协议和改进的 SPODV 路由协议。本文主要采用以下两个性能衡量指标来对仿真结果进行分析:吞吐量,丢包率。主要仿真参数为:信道带宽:1M,最大传输距离 250m,载波侦听距离 550m,场景大小 1000*1000,仿真时间:120s。

首先使节点同时处于静止状态,逐渐提高发包速率,考察对比两路由协议下的丢包率:

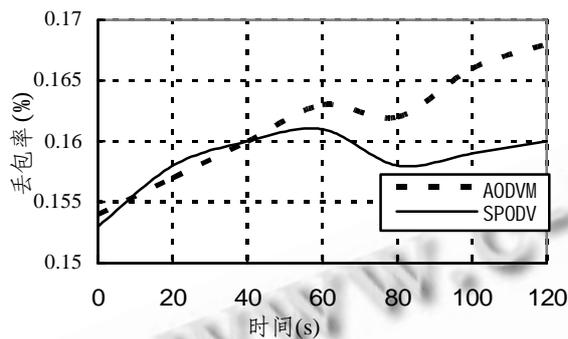


图 1 丢包率

然后在发包率为 140 Package/s 时,使部分节点以变速移动,考察对比两路由协议下的吞吐量:

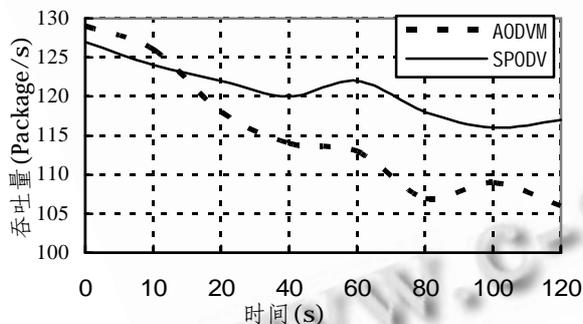


图 2 吞吐量

从图 1 的实验数据可以看出,当节点静止时,随着发包速率的提高,网络中拥塞加大,AODVM 路由协议的丢包率逐渐增大并且明显高于 SPODV 协议的增长,验证了 SPODV 协议的带宽计算机制的有效性。当网络中部分节点发生移动时,使得网络变得不稳定,路由表中路径表项失效率增高,以此带来的重新路由及更新操作更加频繁,导致网络中端到端平时延显著增大及网络吞吐量的大大降低。由图 2 的实验数据

可知,当网络中部分节点发生移动时,由 AODVM 协议改进的基于稳定性优先的 SPODV 协议吞吐量明显提高。

通过对以上仿真结果分析,从实践角度上验证了该 SPODV 协议满足用户的 QoS 要求。

4 结束语

本文首先分析 WMN 路由协议的特点,在 AODVM 的基础上提出了一种有 QoS 保障的基于稳定性优先的多路按需路由协议 SPODV(Stability-Preferential On-demand Distance Vector Routing),该协议考虑了节点稳定性对路径的影响,使数据只在节点稳定性强的节点上传输。同时改进了 AODVM 协议的路径选择策略,在路径选择上综合考虑了节点的最小剩余可用带宽与最大负载,选取一条稳定性高,且满足负载要求的路径。能提高网络传输效率,有效减少端到端时延。更为重要的是由该路由协议组织的网络随着节点增多,网络移动性增强相比其他路由协议优势更加明显,能满足用户的 QoS 要求。

参考文献

- 1 方旭明.下一代无线因特网技术:无线 Mesh 网络.北京:人民邮电出版社,2006:1-135.
- 2 张禄林,李承恕. MANET 路由选择协议的比较分析研究.电子学报,2000,28(11):50-53.
- 3 Draves R, Padhye J, Zill B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks. Proceedings of Annual International Conference on Mobile Computing and Networking(MoBiCom). 2004: 114-128.
- 4 Marina Mk, DaSSR. On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks. International Conference on Network Protocols, 2001: 14-23.
- 5 IEEE 802.16-2004(Revision of IEEE 802.16-2001) IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16:Air Interface for Fixed broadband Wireless Access Systems, 2004.
- 6 彭木根,李茗,王文博.WiMAX 系统中 QoS 机制研究.中兴通讯技术,2005,11(2):30-35.
- 7 李静.无线 Mesh 网络基于 QoS 的多径动态源路由协议研究[硕士学位论文].广州:中山大学,2009.