

一种具有负载感知的 WMN 多路径路由协议

杨 艳, 杜庆伟

(南京航空航天大学 信息科学与技术学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 为了使得 WMN 获得更好的负载均衡以防止网络拥塞, 提出了一种适用于 WMN 的多路径路由协议。首先定义了一种综合考虑链路质量和节点负载的负载感知路由判据和可用带宽的计算方法, 然后对路由更新机制进行了优化, 并在路由请求阶段进行带宽预留, 最后根据每条路径所分配的权值概率进行数据转发, 进行节点间的负载均衡。仿真结果表明, 与 HWMP 和 AOMDV 相比, 改进后的路由协议有效避免了网络拥塞, 增加了网络吞吐量, 降低了平均端到端的延迟, 提高了网络性能。

关键词: WMN; 负载均衡; 多路径路由协议; 路由判据; HWMP; AOMDV

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)05-0023-05

An Improved Load Aware Multipath Routing Protocol in WMN

YANG Yan, DU Qing-wei

(Institute of Computer Sci. and Tech., Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to obtain load balance to avoid congestion in WMN, propose an improved multi-path routing which is suitable for WMN. Firstly, it defines an improved routing metric which takes into consideration the link quality and node load simultaneously and the method of computing available bandwidth, and then optimizes the routing update mechanisms and reserves sufficient bandwidth in the phase of route request. Finally, for load balance, it forwards data according to the assigned weight probability. Extensive experimental results demonstrate that the improved routing can avoid the congested area effectively, increase the throughput, reduce the average end-to-end delay and prompt the network performance compared with HWMP and AOMDV.

Key words: WMN; load balance; multi-path routing protocol; routing metric; HWMP; AOMDV

0 引言

WMN^[1] (Wireless Mesh Network, 无线 Mesh 网络) 在克服 Ad hoc 网络、无线局域网的局限性和提高网络性能等方面发挥着越来越重要的作用。随着网络多媒体、VOIP、视频会议等实时性要求很高的业务流接入, WMN 对服务质量 (Quality of Service, QoS) 要求更高, 路由协议作为保证网络 QoS 的重要因素之一, 一直是学者研究的热点。由于 WMN 无线信道使用率高、网络流量大, Mesh 路由器很有可能成为网络瓶颈, 发生拥塞, 导致网络负载失衡, 网络资源无法充分利用, 影响网络的服务质量。针对负载均衡问题, 一些学者提出可以使用多路径路由协议来解决^[2,3]。与传统单路径路由相比, 多路径路由协议在路由容错、负载均衡、减少端到端延时等方面具有明显的优势。因此设

计适合于 WMN 网络的多路径路由协议是解决负载均衡问题、提高 WMN 服务质量的有效方法之一。

AOMDV^[4] (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector, 按需多路径距离矢量路由协议) 是典型的 Ad hoc 网络的多路径路由协议, 它通过路由发现过程获取多条无环且链路不相交路径。但是它采用主备份路径转发数据, 只有主路径失效才使用备份路径, 并没有充分利用网络资源; 而且只以最小跳数作为路由判据, 会存在关键节点负载过重的情形。已有对 AOMDV 的一些负载均衡方面的改进, 可以总结为以下三类:

第一类是通过定义负载相关的路由判据, 选择负载路由判据最小的路径来转发数据, 如文献[5], 选择所有路径中平均占用缓存区最小的路径转发数据, 但是平均占用缓存区并不能有效地反映路径负载。

第二类是在路由建立阶段根据节点的负载来限制转发的请求分组数量, 如文献[6]利用信道空闲时间反映节点的负载, 文献[7]利用节点和周围邻居的队列占用情况来限制转发的请求分组数量。这种方法虽然在一定程度上限制了网络拥塞, 但是也减少了形成

收稿日期: 2011-10-21; 修回日期: 2012-01-27

基金项目: 国家自然科学基金 (61100195)

作者简介: 杨 艳 (1985-), 女, 河北三河人, 硕士研究生, 研究方向为计算机网络; 杜庆伟, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为计算机网络、分布式系统。

的路径条数。

第三类则是综合了以上两种方法,如文献[8]在路由请求的时候用队列长度来决定是否转发路由请求,同时综合考虑队列长度和网络跳数来选择从源节点到目的节点的路由。这种方法的关键是定义有效的负载路由判据和适当地限制转发请求分组数量。

文中是在 AOMDV 的基础上,基于第三类改进方法设计出了一种适用于 WMN 的多路径路由协议,该协议通过利用反映路径负载的负载感知路由判据、带宽预留和带权重的流量分配方案有效地避免拥塞,达到负载均衡的效果。

1 一种具有负载感知的 WMN 多路径路由协议

1.1 负载感知路由判据定义

文中定义的负载感知路由判据 LA_Metric 综合考虑了链路质量和节点负载。

(1) 具有链路负载感知的路由判据。

传统最小跳数路由判据由于没有考虑链路质量和提供任何与无线环境相关的信息等问题,并不适合于 WMN。一种改进的路由判据 ETX^[9]在一定程度上考虑了不同链路不同程度干扰的影响,却没有考虑不同链路可能使用不同的带宽,或者路径中的同一信道复用会减少可用吞吐量的问题。ETT^[10]解决了以上问题,但是 ETT 并没有考虑链路负载的影响,例如在相同的 ETT 时,链路负载越轻的链路应被优先选择,而 ETT 在此并没有进行区分。由于无线媒体介质共享,信道的可用带宽可以在一定程度上反映链路负载和网络拥塞的情况。因此利用链路的可用带宽可以解决这个问题,文中提出的具有链路负载感知的路由判据 LA_ETT 可表示如下:

$$LA_ETT = ETX * \frac{S}{B_{available}} \quad (1)$$

其中, S 表示数据包的大小, $B_{available}$ 表示链路可用带宽。

(2) 节点负载。

利用节点的缓存区占用率来表示节点的负载,缓存区队列占用率的定义如下:

$$QOR_i = \frac{L_{queue}}{L_{max_queue}} \quad (2)$$

其中 QCR (Queue Occupied Ratio, 缓冲区队列占用率) 表示节点 i 的缓冲区队列占用率, L_{queue} 是缓冲区中分组的队列长度, L_{max_queue} 是缓冲区的容量。

根据以上两个因素,具有负载感知的路由判据 LA_Metric 可以用如下公式表示:

$$LA_Metric_i = \alpha * LA_ETT(i, pre_node) +$$

$$\beta * QOR_i \quad (3)$$

其中, pre_node 是节点 i 的前驱节点, $LA_ETT(i, pre_node)$ 表示节点 i 与 pre_node 链路质量的感知负载判据;当 i 为源节点时没有 pre_node , $LA_ETT(i, pre_node)$ 为 0, 此时只考虑源节点的节点负载。 $\alpha + \beta = 1$ 是协调因子,经过多次试验动态调整, α, β 分别为 0.6, 0.4 时取得较好的效果。

则整条路径上的路由判据是整条路径上的所有节点的负载感知路由判据 LA_Metric 之和,可用如下公式表示为:

$$LA_Metric_{path} = \sum_{i=src}^{des} LA_Metric_i \quad (4)$$

1.2 可用带宽计算

由于邻居节点间的媒介共享和互相干扰,当前在 IEEE802.11 计算可用带宽仍然是一个具有挑战性的课题。文中采用虚拟载波监听机制,根据追踪信道的忙闲来计算可用带宽。计算可用带宽首先要计算已用带宽,通过监听在监测周期内 MAC 层忙闲状态的方法来计算。

$$B_{used} = B * \frac{T_{send} + T_{recv}}{T_{monitor}} \quad (5)$$

$$B_{available} = B - B_{used} = B * (1 - \frac{T_{send} + T_{recv}}{T_{monitor}}) \quad (6)$$

B_{used} 代表已用的带宽, $B_{available}$ 代表可用带宽, $T_{monitor}$ 代表监测周期时间, T_{send} 代表在监测周期内累计的发送时间, T_{recv} 代表在监测周期内累计的接收分组时间。计算已用带宽,需要分别考虑发送模式和接收模式两种信道状态。计算过程如图 1 所示。

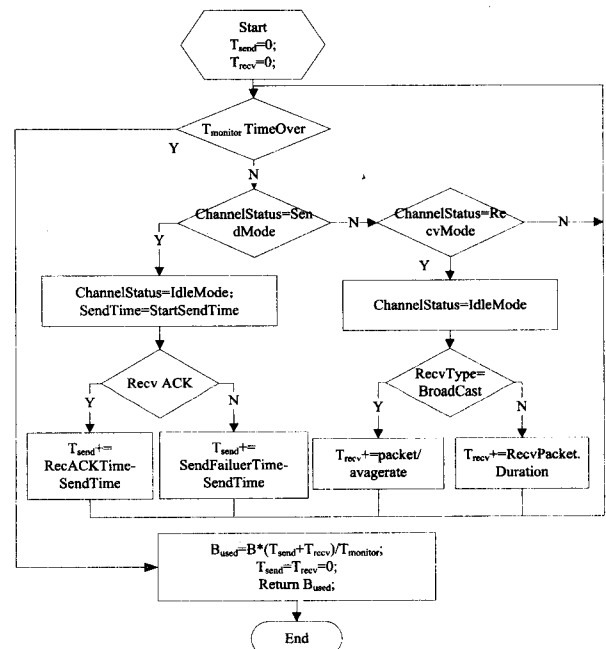


图 1 计算已用带宽流程图

当信道状态 (ChannelStatus) 进入发送模式 (Send-

Mode)时,记录消息进入发送模式时刻(SendTime)等于开始发送时刻(StartSendTime),当接收到ACK时,发送时间(T_{send})即为接收ACK时刻(RecvACKTime)减去消息进入发送模式时刻(SendTime),当没有接收到ACK时,记录发送失败时刻(SendFailureTime),发送时间(T_{send})即为发送失败时刻减去消息进入发送模式时刻(SendTime);当信道状态(ChannelStatus)进入接收模式(RecvMode)时,接收到广播包,接收时间(T_{recv})为广播包的大小与传输速率的比值,不是广播包时,可以直接将RTS和CTS包中包含的后续接收包的持续时间(Duration)作为接收时间。

1.3 LA_AOMDV 工作原理

(1)路由发现过程。

LA_AOMDV 的路由发现过程是在 AOMDV 的基础上,改进了路由请求算法和路由更新机制。在路由请求时,根据带宽阈值来决定是否接受路由请求分组,预留了一定的网络带宽,从而避免了网络拥塞区域的形成,带宽阈值取经验值即链路带宽的10%。改进的路由请求算法如下:

```
If(节点 i 收到节点 j 的路由请求 RREQ){
    If(节点链路的可用带宽>=可用带宽阈值){
        接收 RREQ;
        进行 LA_AOMDV 路由更新规则;
        更新反向路由表;
    } Else{
        丢弃;
    }
}
```

在路由回复时,为了获得链路不相交的路径,LA_AOMDV 不允许中间节点回复 RREP 报文,只允许目的节点回复。目的节点产生 RREP 分组时采用了一种“宽松”的策略:对每一个经由无环到达的 RREQ 拷贝都产生一个 RREP,这主要是为了解决“路由切断”影响源节点建立到目的节点链路不交叉正向路径数目的问题。

路由更新规则用于建立和维护到达目的节点多条无环的路径,使用广播跳数(advertised_hop)来保证路由的开环性。为了改进路由更新规则,首先对原始 AOMDV 路由表进行改进,在路由列表中添加 LA_Metric_i 字段和 LA_Metric_{path} 字段,用于记录节点的路由判据和整条路径的路由判据,改进后的路由列表的表项为:下一跳节点,last hop,跳数,节点路由判据,路径路由判据。

当节点 i 接收到来自节点 j 的 RREQ 或者 RREP 报文时启动如下 LA_AOMDV 路由更新过程:

```
If( i 的目的序列号 < j 的目的序列号){
    i 的目的序列号 = j 的目的序列号;
    i 节点的 advertised_hopi = ∞;
```

```
    i 的路由表清空;
    if(j 是目的节点){
        路径列表增加新路径(j, i, 1, LA_Metrici, LA_Metrici + LA_Metricj);
    } Else{
        路径列表增加新路径(j, 经过节点 j 到达目的节点的
        路径的 last hop, advertised_hop + 1, LA_Metrici, LA_Metrici + LA_Metricpath(j, k));
    } Else if(i 的目的序列号 = j 的目的序列号
    &&advertised_hopi > hop_countj){
        If(j 是目的节点){
            If(i 节点路径列表中不存在下一跳为 j 的路径 && last hop
            为 i 的路径){
                路径列表增加新路径(j, i, 1, LA_Metrici, LA_Metrici + LA_Metricpath(j, k));
            }
        } Else if(i 路径列表中不存在下一跳节点为 j && i 所有路径
        的 last hop 与 j 节点路径的 last hop 不相同){
            路径列表增加新路径(j, last hop 为经过节点 j 到达目的节点
            路径的 last hop, advertised_hop + 1, LA_Metrici, LA_Metrici + LA_Metricpath(j, k));
        }
    }
}
```

(2)流量分配方案。

在进行路径选择的过程中,路由算法会选择 LA_Metric 小的路径,为了进行流量分配,文中利用路径质量作为比例分配负载,如式(7)所示:

$$P_{\text{path}(i)} = \frac{\text{LA_Metric}_{\text{path}(i)}}{\sum_{\text{path}(i)} \text{LA_Metric}_{\text{path}(i)}} \quad (7)$$

其中 $P_{\text{path}(i)}$ 为路径 path(i) 的流量分配权值,当有数据包需要传输时,每条路径按照所分配的权值概率发送数据,以达到负载均衡的目的。

(3)路由维护。

LA_AOMDV 的路由维护机制与 AOMDV 一样使用错误控制分组 RERR。当一个中间节点到某一个目的节点的有效路径中断时,它就会产生并转发一个错误控制分组 RRER。源节点收到 RRER 分组后,检查是否有到目的节点的路径,如果有则调整分配权值,如果没有即所有路径都失效时进行路由重建。

2 协议仿真和结果分析

2.1 仿真环境设置

论文采用 NS2^[11] 来构建 WMN 仿真平台,分别对 HWMP^[12]、AOMDV 和 LA_AOMDV 协议进行仿真对比。采用的仿真场景是在 1000m * 1000m 的空间随机分布 50 个节点,节点的传输范围为 250m,带宽为默认值 2M,MAC 层协议采用 IEEE 802.11 DCF,采用固定码率(Constants Bit Rate, CBR)源产生 UDP 数据,每个数据包的大小为 512 比特,数据流速率为 200kbps,仿

真时间为 300s, 分别对 CBR 数据流数目为 5、10、15、20、25 的情形进行仿真对比。

2.2 路由协议评价参数及结果分析

由于文中主要是对多路径路由协议进行仿真, 所以除了要对网络吞吐量、端到端延迟、分组投递率和归一化路由开销进行分析, 还要对路由发现频率进行分析, 以此来更好地对网络性能进行评估。

(1) 网络吞吐量。

网络的吞吐量是指在不丢包的情况下单位时间通过网络中的数据包个数。它取决于两个因素: 链路特性(包括带宽、出错率)和节点特性(包括缓冲区容量、处理机能力等)。仿真结果如图 2 所示:

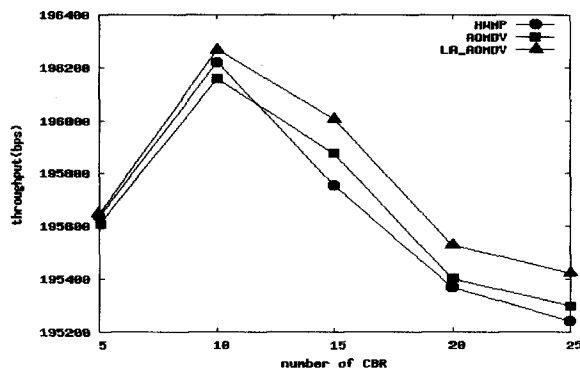


图2 网络吞吐量

从图中可以看出, 随着 CBR 数据流的增多, 相同数据流下使用 LA_AOMDV 的网络吞吐量要高于 HWMP 和 AOMDV, 这是因为 LA_AOMDV 在选择路径时考虑了路径的负载, 同时利用多条路径转发有效平衡了网络中各节点的负载, 避免局部拥塞区域的形成。

(2) 平均端到端延时。

数据报文从源节点的 IP 层到目的节点的 IP 层所需要的平均时间, 主要包括路由发现延时、数据包在接口队列中的等待延时、传输延时和 MAC 层的重传延时, 反应了路由的实时性。

$$\text{delay} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (Rt_i - St_i) \quad (8)$$

其中: N 为成功传输的数据报文的总数; Rt_i 为第 i 个报文接收的时间; St_i 为第 i 个报文发送时间, 仿真结果如图 3 所示:

从图中可以看出, 在网络 CBR 数目较少时 HWMP、AOMDV 和 LA_AOMDV 的延迟还是比较接近的, 但是随着 CBR 数据流增加, 网络负载越来越重, 各个协议的平均端到端延迟都在增加, 而具有负载感知的 LA_AOMDV 由于同时利用多条路径转发, 有效平衡了网络负载, 因此平均端到端延迟明显低于 HWMP 和 AOMDV。

(3) 分组投递率。

数据报文在路由层成功传送的比率, 即一定时间

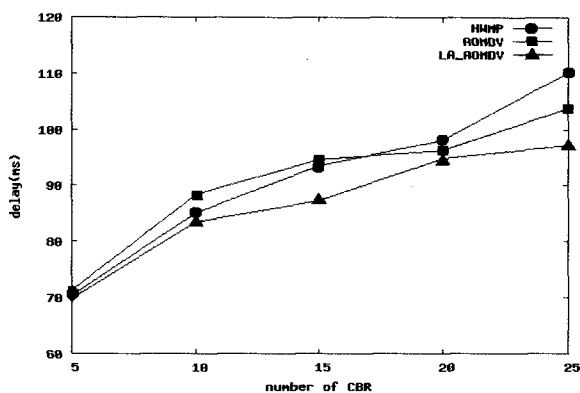


图3 平均端到端延迟

内正确接收的报文数量与发送报文总量的比值。它反映了路由的报文丢包率, 也反映了网络传输的可靠性。

$$\text{packet delivery ratio} = \frac{\sum_{i=0}^N Rn_i}{\sum_{i=0}^N Sn_i} \quad (9)$$

其中: Rn_i 为节点 i 成功接收的报文数; Sn_i 为节点 i 成功发送的报文数, 仿真结果如图 4 所示:

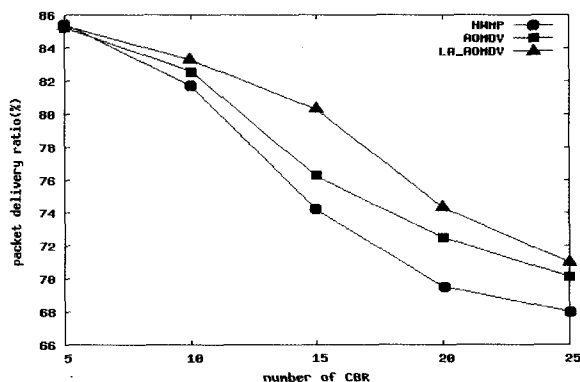


图4 分组投递率

由上图可以看出, 随着 CBR 数据流的增加, 更多的网络碰撞和拥塞使得三种路由协议的分组投递率都在降低。在 CBR 数据流较少时, 三种协议的分组投递率相当。由于 LA_AOMDV 考虑了链路负载和节点负载, 有效避免了网络拥塞, 同时利用多条路径转发数据, 随着 CBR 数据流增加, LA_AOMDV 的分组投递率明显高于 HWMP 和 AOMDV。

(4) 路由发现频率。

每秒钟发起的路由发现次数, 它反映了路由的有效性, 同时也影响着路由开销多少。

$$\text{frequency} = \frac{\sum_{i=0}^N Dn_i}{\text{Time}} \quad (10)$$

其中: Dn_i 为节点 i 的路由发现次数; Time 为协议的仿真时间。仿真结果如图 5 所示。

从仿真图结果可以看出, 随着 CBR 数据流的增加, 路由链路出错和拥塞的概率增大, 三种路由协议的

路由发现频率都呈现出增加的趋势。AOMDV 有备份路由,所以路由发现的频率低于 HWMP,而 LA_AOMDV 利用负载感知路由判据选择路由质量好的路径,因此路由发现频率低于 AOMDV。

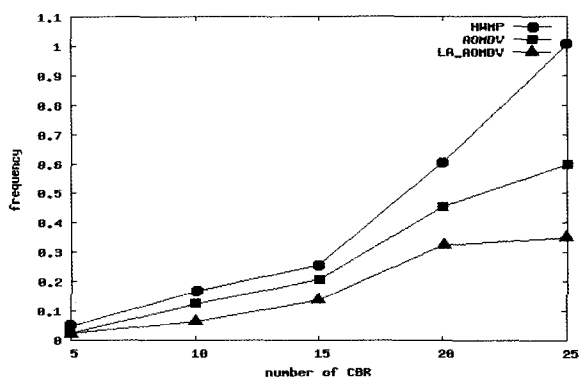


图5 路由发现频率

(5) 归一化路由开销。

每发送一个数据报文所需要的路由控制报文数。它反映了网络传输过程中的拥塞情况及节点电源的效率,路由开销大的协议其网络拥塞的概率就大。

$$\text{normalized routing overhead} = \frac{SC_n + FC_n}{RD_n} \quad (11)$$

其中: SC_n 为发送的路由报文数; FC_n 为转发的路由报文数; RD_n 为接收到的数据报文数目。仿真结果如图6所示:

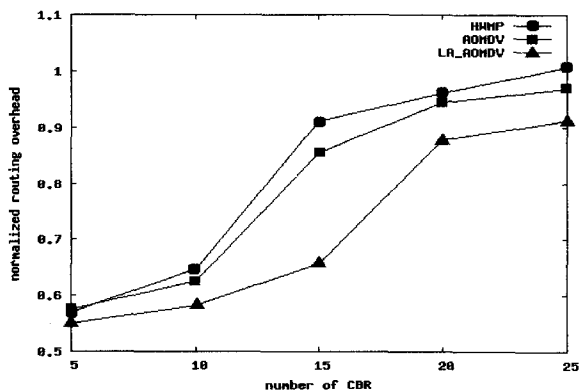


图6 归一化路由开销

由上图可以看出,随着 CBR 数据流的增加,三种路由协议的归一化路由开销都在增加,这是因为 CBR 数据流增加,三种协议的分组投递率都在降低,而它们路由发现频率在增加。由于 LA_AOMDV 的分组投递率高于 HWMP 和 AOMDV,而路由发现频率低于 HWMP 和 AOMDV,因此归一化路由开销低于 HWMP 和 AOMDV,有效降低了网络发生拥塞的概率。

3 结束语

文中针对多路径路由协议解决 WMN 负载均衡问题,在 AOMDV 协议的基础上,通过对路由选择和路由

转发进行改进,设计了一种具有负载感知的适合 WMN 的多路径路由协议。仿真实验表明,该协议在增加网络吞吐量、减小端到端延迟和降低发现频率等方面有明显改善。随着 Mesh 网络的进一步发展和节点密集度的进一步提高,本算法的优越性会更明显。但是随着网络多媒体、VOIP、视频会议等实时性要求很高的业务流接入,本多路径路由协议并没有考虑保证 QoS 和多路径间的干扰等问题,下一步将会加入对 QoS 和多路径间的干扰等问题进行研究改进。

参考文献:

- [1] Kyildiz I F, Wang Xudong, Wang Weilin. Wireless Mesh Networks: A Survey [J]. Computer Networks Journal (Elsevier), 2005, 47(4): 445-487.
- [2] Alicherry M, Bhatia R, Li Erran. Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Network [J]. Selected Areas in Communications, 2006, 24(11): 1960-1971.
- [3] Zhang Haifeng, Wu Zhefu, Qin Yali. Research on Multi-path Routing Based on Load-balance Algorithm for Ad Hoc Networks [C]//Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. [s. l.]: [s. n.], 2009: 1-4.
- [4] Marina M K, Das S R. Ad hoc on-demand multipath distance vector routing [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2006, 6(7): 969-988.
- [5] Tekaya M, Tabbane N, Tabbane S. Multipath Routing with Load Balancing and QoS in Ad hoc Network [J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2010, 10(8): 280-286.
- [6] Wannawilai P, Sathitwiriawong C. AOMDV with Sufficient Bandwidth Aware [C]//Computer and Information Technology. [s. l.]: [s. n.], 2010: 305-312.
- [7] Kumar R V, Banu R S D W. Load-balancing Approach for AOMDV in Ad-hoc Networks [J]. International Journal of Computer Applications, 2010(4): 200-205.
- [8] Puri S, Devenne S R. Congestion Avoidance and Load Balancing in AODV-Multipath Using Queue Length [C]. [s. l.]: IEEE, 2009: 1138-1142.
- [9] de Couto D, Aguayo D, Bicket J, et al. A High-throughput path metric for multi-hop wireless routing [J]. Wireless Networks, 2003, 11(4): 419-434.
- [10] Draves R, Padhye J, Zill B. Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks [C]//Mobile computing and networking. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [11] 黄化吉, 冯穗力. NS 网络模拟和协议仿真 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [12] Bahr M. Proposed Routing for IEEE 802.11s WLAN Mesh Networks [C]//Wireless Internet Conference. [s. l.]: [s. n.], 2006.