

文章编号:1001-9081(2010)10-2636-05

基于链路状态认知的无线 Mesh 网路由协议

温怀玉^{1,2}, 罗光春¹

(1. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 成都 610054; 2. 泸州职业技术学院, 四川 泸州 646100)

(wenhuaiyu@163.com)

摘要:在分析无线 Mesh 网路由协议所面临挑战的基础上,结合无线 Mesh 网络的性能要求,以优化链路状态路由(OLSR)协议为原型,采用跨层设计理论,提出了一种基于链路状态良好程度的路由协议 LR-OLSR。该协议引入了认知无线网络中的环境感知推理思想,通过对节点负载、链路投递率和链路可用性等信息进行感知,并以此为依据对链路质量进行推理,获得网络中源节点和目的节点之间各路径状态良好程度的评价,将其作为路由选择的依据,实现对路由的优化选择,提高网络的吞吐量,达到负载均衡。通过与 OLSR 及其典型改进协议 P-OLSR、SC-OLSR 的对比仿真结果表明,LR-OLSR 能够提高网络中分组的递交率,降低平均端到端时延,在一定程度上达到负载均衡。

关键词:无线 Mesh 网;优化链路状态路由;路由协议;表驱动路由;链路认知

中图分类号:TP393.04 **文献标志码:**A

Link state reasoning based routing protocol for wireless mesh networks

WEN Huai-yu^{1,2}, LUO Guang-chun¹

(1. School of Computer Science and Engineering, University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China;

2. Luzhou Vocational and Technical College, Luzhou Sichuan 646100, China)

Abstract: Based on the analysis of the most important challenges in Wireless Mesh Network (WMN), a routing protocol named LR-OLSR was proposed based on the Optimized Link State Routing (OLSR) protocol with cross-layer design theory. The LR-OLSR protocol greatly optimized routing performance by introducing the reasoning method to value the link quality depending on information such as the node load, the packet delivery ratio, and the link availability. The proposed protocol made use of link quality as the routing metric during route selection, and thus could achieve optimal routing and load balancing in WMN. The simulation results on LR-OLSR, OLSR and its typical improvement named P-OLSR and SC-OLSR show that the proposed routing protocol improves the packet delivery ratio, reduces the end-to-end delay, and achieves load balance in the route selection process.

Key words: Wireless Mesh Network (WMN); Optimized Link State Routing (OLSR); routing protocol; table-driven routing; link state reasoning

0 引言

无线网状网(Wireless Mesh Network, WMN)是一种新型的分布式宽带无线网络架构,其核心思想是让网络中的每个节点都可以同时作为接入点和路由器^[1]。WMN 具有优良的可扩展性、健壮性和自组织性,能够支持快速部署和安装,能实现高带宽高速率的路由传输,可应用于宽带局域网、交通医疗系统网络及城域网等各种场景。

目前,WMN 技术的研究形成了底层无线电技术、路由协议、QoS 保证、安全机制和网络管理等多个研究热点^[2]。在网络结构和业务模式上,WMN 综合了移动自组网(Mobile Ad hoc Networks, MANET)和无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)的特点^[3]。对于路由协议的研究,目前基本都是基于现有 MANET 中的按需路由协议进行修改^[4-7];文献[4]提出了一种按需的链路性能感知路由协议,采用的路由判断通过跨层操作综合考虑了链路干扰和链路负载等链路质量信息,能从一定程度上提高网络吞吐量和端到端时延;文献[5]以 MANET 中的动态源路由(Dynamic Source Routing, DSR)协议为原型提出了一种基于拥塞控制和负载均衡的

QoS 路由协议,使网络流量绕过网络中的业务热区,达到拥塞控制和负载均衡;文献[6]提出了一种适用于 WiFi Mesh 网络的 Ad hoc 网络按需多路径距离矢量(Ad hoc on Demand Distance Vector, AODV)改进路由协议,利用 IEEE802.11 的自适应速率切换机制,节点建立路由时以物理层数据传输速率作为判断,建立一条数据速率高、传输时延小的路由;文献[7]提出了一种基于综合准则的 DSR 扩展路由方法,在路由算法时考虑介质访问控制(Media Access Control, MAC)层的帧投递率、剩余带宽以及节点负载,以提高网络的吞吐率和负载均衡能力,满足用户的 QoS 需求。基于优化链路状态路由(Optimized Link State Routing, OLSR)协议^[8],文献[9]提出了 P-OLSR 协议,按移动节点发送的 HELLO 返回延迟进行位置分组,优先选择组内进行广播中继(MultiPoint Relay, MPR)操作,提高网络的吞吐率和降低端到端时延;文献[10]提出了 SC-OLSR 的协议,将节点剩余带宽分簇,建立节点的激励机制,对网络贡献大的节点优先获得网络服务,提高网络吞吐率和负载能力。WMN 中 Mesh 路由器通常是静止的,原则上没有功耗限制,只有节点的故障、加入、退出以及无线链路的一些不确定性会造成网络拓扑的变化,其变化速率远低于数

收稿日期:2010-03-31; **修回日期:**2010-06-18。 **基金项目:**信息产业部电子生产发展基金资助项目(H04010601W060679);四川省科技支撑计划资助项目(2010GZ0095);四川省软科学计划资助项目(08RKX0079;07ZR0023)。

作者简介:温怀玉(1977-),男,四川泸县人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向:网络通信、软件技术;罗光春(1974-),男,四川绵阳人,教授,博士生导师,主要研究方向:中间件技术、计算机网络与通信、网络软件、操作系统。

据流到达速率,主流业务为存在一定时延要求的 Internet 业务。因此,WMN 中更适合采用基于表驱动的路由协议^[11],但路由设计不能仅仅根据“最小跳数”进行路由选择,而要综合考虑多种性能度量指标,提供网络容错性和健壮性支持,并利用流量工程技术,在多条路径间进行负载均衡,提高系统资源利用率。

本文基于 OLSR 协议,为无线 Mesh 网设计了一种基于网络环境认知的表驱动路由协议(LR-OLSR)。LR-OLSR 引入了认知无线网络中的环境感知推理思想,通过对节点负载、链路投递率和链路可用性等链路状态信息进行感知,以此为依据对链路质量进行推理,获得网络中源节点和目的节点之间各路径状态良好程度的评价,将其作为路由选择的依据,实现对路由的优化选择,提高网络的吞吐量,达到负载均衡。

1 路由协议描述

1.1 基本思想

OLSR 是一种典型的表驱动逐跳路由协议,网络中每个节点定期广播包含该节点周围局部拓扑信息的拓扑控制分组,使每个节点都能根据接收到的局部拓扑信息构造出当前的全局子网拓扑,从而进行路由计算。OLSR 在节点构造拓扑控制分组时,对所包含的局部拓扑信息进行了有效的压缩,大大减少了传输拓扑控制分组所需的带宽开销。在拓扑控制分组的广播过程中,OLSR 采用多点转播技术来代替泛洪,能够在达到相同广播效果的同时,大大降低广播操作所造成的开销。然而,OLSR 进行路由选择时主要以“最小跳数”为约束条件,忽略了无线链路的可靠程度及路径上节点的繁忙程度。该协议倾向于选择跳数少的路径,导致网络流量容易集中于某些链路而造成网络拥塞,使数据分组传递时延增加甚至被丢失;而网络中其他一些节点和链路可能长期处于空闲状态,使网络资源利用率降低。因此,OLSR 虽然具有较高的运算效率,但是路由判断先天的不足使其难以满足无线 Mesh 网络的性能需求,OLSR 的一些典型改进协议如 P-OLSR 和 SC-OLSR 主要考虑节点的状态,较少考虑链路状态。

在 OLSR 协议基础上,本文引入了认知无线网络中的环境认知和推理思想,通过对节点可用带宽、负载和信道状态等信息的感知,利用启发式方法推理判断进行路由优化选择,为无线 Mesh 网络提出了一种基于链路状态认知的表驱动路由协议 LR-OLSR。LR-OLSR 假设网络中的无线接入点均是同构的,节点模型采用跨层信息共享方式设计,如图 1(a)所示。节点各层将采集到的节点内部和环境信息共享于共享信息池内,各协议层根据本层协议规则从共享池内选择所需的信息,作为决策算法的输入参数。各层不同的优化准则需要不同的推理方法,不同的推理方法需要不同的共享信息作为决策参数。图 1(a)所示节点模型在维持层间分离准则的同时,放松对分层结构的严格要求,允许不同层的算法共享网络的状态信息,有利于层内、层间操作的优化和网络整体性能的综合优化,因此,节点模型具备普适性。本文仅考虑各节点的数据链路层收集节点的负载状态等统计信息,并将其共享于信息池内,如图 1(b)所示。网络层进行路由选择时,从共享信息池中获取各种统计信息,根据统计信息对链路状态采用启发式方法进行推理,将推理结果作为路由选择的依据。

1.2 协议实现

LR-OLSR 协议采用与 OLSR 协议相同的操作模式,整个协议的执行过程大致可以分为邻居发现、广播中继选择、MPR 信息分发和路由计算四个子操作。与 OLSR 不同的是,LR-OLSR 中每个节点采用分布式方法对本节点链路投递率、负

载状态等信息进行感知,在邻居发现阶段通过分布式的协作机制实现与其他节点的信息交互,然后综合利用这些信息独立地进行链路状态推理,并根据推理结果完成 MPR 选择、MPR 信息分发、路由计算和优化选择,达到负载均衡的设计目标。因此,以下重点描述节点状态信息感知、链路状态启发式推理和路由优化选择。

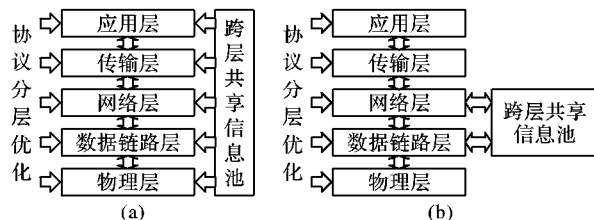


图 1 基于跨层信息共享的分层协议优化节点模型

1.2.1 节点状态信息感知

对节点工作状态采用两个性能参数描述:节点 MAC 层帧成功递交率,间接反映链接上的通信干扰及数据传输率,表征相关链路信道质量及节点对业务流负载的处理能力问题;节点 MAC 层接口队列缓存容量的占用率,反映本节点的业务流强度及本节点 MAC 层接口队列还可接纳的分组容量,表征节点间链接的可用性。上述两个条件共同作用,反映了节点对路由请求的接纳能力。节点 MAC 层帧成功递交率 ξ 和 MAC 层接口队列缓存容量的占用率 η 均在 MAC 层进行感知,在本地通过图 1(b)所示方式进行共享,在节点之间则通过邻居发现分组进行交互和共享。

当节点 j 的 MAC 层完整地接收到邻居节点 i 发送的帧时,才认为成功接收到一个帧,如果由于发生冲突而造成无法正确接收到一个完整的帧,或者接收到的帧的校验和发生错误,则认为帧丢失。设节点 i 向发送的 $N_s(i,j)$ 个 MAC 帧中被节点 j 成功接收 MAC 帧个数为 $N_r(i,j)$,则节点 i 相对节点 j 的 MAC 层帧成功递交率 $\xi(i,j)$ 为: $\xi(i,j) = N_r(i,j)/N_s(i,j)$; 设节点 i 的 MAC 层接口队列中当前缓存的分组数为 $L(i)$,节点 i 的 MAC 层接口队列缓存容量为 $C(i)$,则节点 i 的 MAC 层接口队列的当前占用率为: $\eta_i = L(i)/C(i)$ 。

1.2.2 链路状态启发式推理

网络中的每个节点通过一个分布式本地状态感知,获得节点 MAC 层帧成功递交率和 MAC 层接口队列缓存容量的占用率等表征节点状态的信息,并将其记录于节点的邻居表中。每个节点定期根据当前的邻居表构造并广播一个 HELLO 分组,实现邻居节点之间状态信息交互,来探知并更新周围邻居节点状态信息。在信息发布和更新邻居节点状态信息基础上,节点结合自身的状态信息,通过分布式的启发式推理方法,获得网络环境中的以链路质量和链路可用性为依据的链路状态信息。节点将更新的链路状态信息保存在邻居表相应表项内,作为 MPR 选择的依据,并将选择结果随着下一轮发送的 HELLO 分组传播出去。每个节点只需要对接收到的 HELLO 分组进行分析,就可获知哪些邻居节点选择了本节点作为 MPR 节点,并将这些信息保存在广播中继选择器(MPR Selector, MS)表中,实现 MS 表的更新。

经过邻居发现和 MPR 选择,节点的 MS 表中保存了当前最新的 MPR Selector 集合信息。和 OLSR 一样,LR-OLSR 中节点定期地根据 MS 表中的信息构造一个拓扑控制分组,利用多点转播机制在全网中进行广播以确保网络中每个节点都能接收到一个副本。网络中节点接收到其他节点发送的拓扑控制分组后,就根据分组中包含的信息对拓扑表进行更新,并依据自身的 MS 表决定是否对其进行进一步的转发。节点的

拓扑表中保存了网络中所有节点的 MPR Selector 集合信息,可以认为拓扑表保存了实际全局网络拓扑的一个子集,是全局网络拓扑的一个缩影。MS 表和拓扑表的每个表项中均记录了相应的链路状态信息。

在 LR-OLSR 协议中,采用了一种启发式方法对链路状态进行推理,并以推理结果作为指导 MPR 选择和路由优化的依据。描述节点 i 和 j 之间链路状态良好程度 $LS(i,j)$ 的启发式方法通过如下公式定义:

$$LS(i,j) = \frac{\xi(i,j)^\alpha}{\left(\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}\right)^\beta}$$

其中, α, β 为预设的指数; L_i 和 L_j 分别表示节点 i 和 j 的空闲度,反映了节点当前还能接纳后续负载的能力, $L_i = 1 - \eta_i$ 。

在进行 MPR 选择时,综合考虑所选节点与原节点(进行 MPR 选择操作的节点)之间链路状态良好程度 $LS(i,j)$, 以及该节点对于两跳邻居集合的连通度。假设原点为 s , 对于一个特定的两跳邻居集合的子集 τ , 定义一跳邻居节点 i 的优先选择因子 μ 为: $\mu = \frac{d(\tau)}{LS(s,i)}$ 。其中, $d(\tau)$ 表示节点 i 对于集合 τ 的连通度,即 τ 中与 v_i 存在双向链接的节点的个数,通过邻居发现分组交互获得。 μ 值大的节点优先选择为 MPR 节点。

1.2.3 路由优化选择

经过基于节点状态感知和链路状态启发式推理的邻居发现、MPR 选择和 MPR 信息分发,网络中的每个节点上都保存了最新的邻居表和拓扑表。其中,邻居表保存了节点周围详尽的局部拓扑,拓扑表保存了网络中精简的全局拓扑,两个表中也记录了相应链路的状态良好程度信息。节点定期根据这两个表中的拓扑信息利用 Dijkstra 算法计算出路由路径,并将这些路由信息保存在路由表中。与 OLSR 协议采用“最小跳数”作为路由选择标准不同,LR-OLSR 协议采用链路状态良好程度作为路由选择标准,实现路由选择的优化。

LR-OLSR 协议中,路由优化选择机制描述为:对于给定的源节点 S 和目的节点 D ,有一个所有可能的路由组成的集合 R ,如果 $R \neq \emptyset$,则选择满足 $\min_{p \in R}(PS_p)$ 的路径 p 作为 S 到 D 的路由。其中, PS_p 为图 $G(V,E)$ 中的任何一条由节点序列 $(n_0, n_1, n_2, \dots, n_k)$ 组成的路径 p 的路径状态良好程度,定义为路径上所有链路的状态良好程度之和,即:

$$PS_p = \sum_{i=0}^{k-1} LS(n_i, n_{i+1})$$

2 路由协议性能分析

2.1 链路可用性分析

链路状态良好程度由 $\xi(i,j)$ 和 $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$ 决定,前者间接

反映链路质量及对业务负载的处理能力,后者反映节点间链路的可用性。节点 i 和 j 之间链路的可用性 $U(i,j)$ 定义为:当一条链路两端节点的空闲度处于较高或平衡的状态时,链路能表现出较高的可用性。

证明 假设网络中存在两条链路分别为 (i,j) 和 (k,m) ,链路可用性为 U_{ij} 和 U_{km} 。

当 $(L_i + L_j) \geq (L_k + L_m)$ 且 $|L_i - L_j| = |L_k - L_m|$ 时,令 $|L_i - L_j| = |L_k - L_m| = \delta$, 则: $4L_i L_j = (L_i + L_j)^2 - (L_i - L_j)^2 = (L_i + L_j)^2 - \delta^2 \geq (L_k + L_m)^2 - \delta^2 = 4L_k L_m$, 即 $L_i L_j \geq L_k L_m$ 。

将节点对的空闲度乘积视为新参数 e , 显然有 $e \in [0, +\infty)$ 。则按 $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$ 定义的链路可用性可表示为函数

$$f_1(e) = \frac{e}{\sqrt{\delta^2 + 2e}}$$

由于其一阶导数在定义域内取正值, $f_1(e)$ 呈单调递增,可知必有 $U_{ij} \geq U_{km}$ 。故使用 $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$ 来描述链路的可用性,当链路两端节点空闲度的平衡状态一定时,节点空闲度较高的链路拥有较高的可用性。

当 $(L_i + L_j) = (L_k + L_m)$ 且 $|L_i - L_j| \leq |L_k - L_m|$ 时,令 $(L_i + L_j) = (L_k + L_m) = \sigma$, 则: $4L_i L_j = (L_i + L_j)^2 - (L_i - L_j)^2 = \sigma^2 - (L_i - L_j)^2 \geq \sigma^2 - (L_k - L_m)^2 = 4L_k L_m$, 可得 $\sigma^2/4 \geq L_i L_j \geq L_k L_m$ 。

同样,链路可用性可表示为函数 $f_2(e) = \frac{e}{\sqrt{\sigma^2 - 2e}}$ 。由其

一阶导数可知, e 在区间 $[0, \sigma^2]$ 呈单调递增,因此有 $U_{ij} \geq U_{km}$ 。故使用 $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$ 来描述链路的可用性,当链路两端节点

空闲度的高低水平一定时,节点空闲度较为平衡的链路拥有较高的可用性。

综上所述,启发式 $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$ 符合链路可用性的定义。

2.2 路由协议可行性分析

由于路由判据的可加性是 Dijkstra 算法能够成功执行的充要条件^[12-14],基于 Dijkstra 算法的 LR-OLSR 协议的可行性取决于作为路由判据的路径状态良好程度是否满足可加性。

路径状态良好程度 PS_p 满足可加性,可描述为:

$$W(x) \leq W(y) \Rightarrow \begin{cases} W(x \oplus z) \leq W(y \oplus z) \\ W(z' \oplus x) \leq W(z' \oplus y) \end{cases}$$

其中, $W(x)$ 表示路径 x 根据路由判据路径状态良好程度计算得到的权值, $x \oplus y$ 表示路径 x 和路径 y 按序串联所形成的路径。

证明 假设路径 x 和路径 y 满足: $PS_x \leq PS_y$, 则 $PS_x + PS_z \leq PS_y + PS_z$ 。

由 PS_p 的定义可知,路径状态良好程度为路径上所有链路状态良好程度之和,有: $PS_{x \oplus z} = PS_x + PS_z$, $PS_{y \oplus z} = PS_y + PS_z$, 故 $PS_{x \oplus z} \leq PS_{y \oplus z}$ 。

同理可证: $PS_{z \oplus x} \leq PS_{z \oplus y}$ 。综上所述,路径状态良好程度满足可加性。

如果路由判据 M 和采用 Dijkstra 算法的逐跳路由协议结合使用,则 M 满足可加性是该路由协议满足无环性的充要条件^[12]。由于基于 Dijkstra 算法的逐跳路由协议 LR-OLSR 采用的路由判据 PS_p 满足可加性,因此,LR-OLSR 协议所选择的路由是无环的。

3 协议仿真实验验证

本文采用 NS2^[14] 仿真软件对 LR-OLSR 协议进行仿真实验,通过与 OLSR、P-OLSR、SC-OLSR 协议对比,考查协议在分组成功递交率、端到端平均时延等方面的性能^[9]。

3.1 仿真参数设置

仿真参数设置如下:40 个无线接入点随机分布在 $1000 \text{ m} \times 1500 \text{ m}$ 的区域内,节点的无线覆盖半径为 250 m ,信道容量为 2 Mbps ;节点 MAC 层缓存空间最多可容纳 100 个数据分组,数据分组最大缓存时间为 30 s ;节点采用 Random Waypoint 运动模型,节点的停留时间设定为 0 s ;随机选择源和目的节点产

生10条CBR的数据流,分组大小为512B,分组到达率为 λ ;仿真时间为600s。

3.2 仿真结果分析

在节点最大移动速度 $v_{\max} = 10 \text{ m/s}$ 和每条CBR数据流的 $\lambda = 14 \text{ pps}$ 条件下,链路状态良好程度启发式中预设指数 α, β 的取值对LR-OLSR协议的分组成功递交率和平均端到端时延性能影响的仿真结果如图2所示。当 α 或 β 取值为0,即仅考虑单一的 $\xi(i, j)$ 或 U_{ij} 因素时,协议的分组成功递交率相对较差。而当链路状态良好程度综合考虑 $\xi(i, j)$ 或 U_{ij} 时,确定 $\alpha = 2$,随着 β 增大,协议的分组成功递交率呈现先升后降的趋势,在 $\beta = 0.5$ 附近分组成功递交率达到最大值。当 $\alpha = 2, \beta = 0.5$ 时,协议的平均端到端时延达到最优。可见,在所给定仿真条件下,使用 $(2, 0.5)$ 作为 (α, β) 的取值。

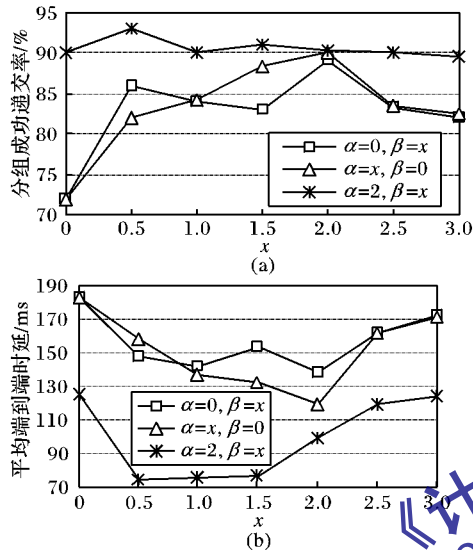


图2 α, β 对分组成功递交率和平均端到端时延的影响

对于节点最大移动速度为 v_{\max} 为10 m/s和15 m/s的仿真场景,分组成功递交率和平均端到端时延性能指标随网络负载变化的仿真结果如图3~8所示。随着 λ 的增加(网络负载强度加大),LR-OLSR和OLSR、P-OLSR、SC-OLSR的分组成功递交率降低,平均端到端时延增大。在不同网络负载情况下,LR-OLSR的分组成功递交率高于OLSR、P-OLSR和SC-OLSR,而平均端到端时延低于OLSR、P-OLSR和SC-OLSR,LR-OLSR的性能变化较为平稳。由于网络负载的增加使得数据分组在节点缓存队列中的等待时延变大,共享无线信道上数据发送冲突也相应加剧,导致分组丢失率增大。LR-OLSR综合考虑了节点对负载处理能力和链路可用性对路由性能的影响,从而在路由决策过程中较好地避开了链路状态差的业务热点,因此,LR-OLSR能更好地适应网络负载增加对性能的影响。在不同节点移动速度情况下,LR-OLSR的分组成功递交率和平均端到端时延性能均优于OLSR、P-OLSR和SC-OLSR。

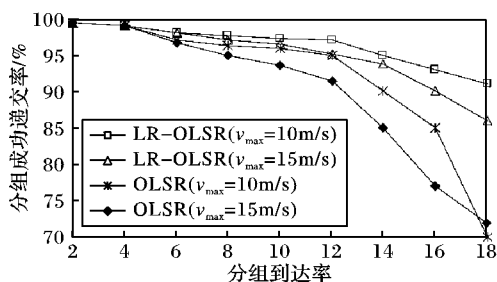


图3 LR-OLSR与OLSR分组成功递交率对比

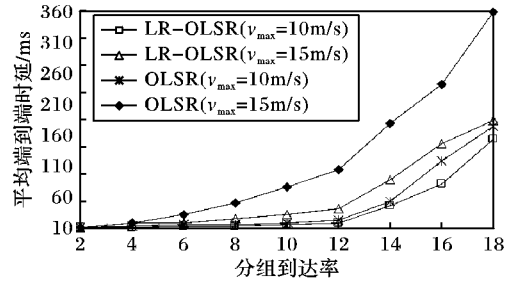


图4 LR-OLSR与OLSR端到端时延对比

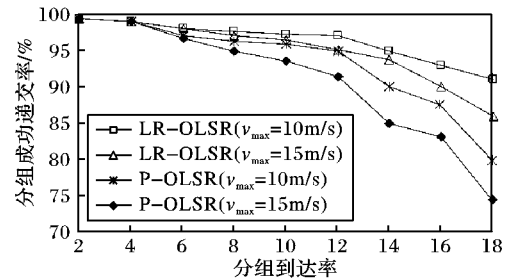


图5 LR-OLSR与P-OLSR分组成功递交率对比

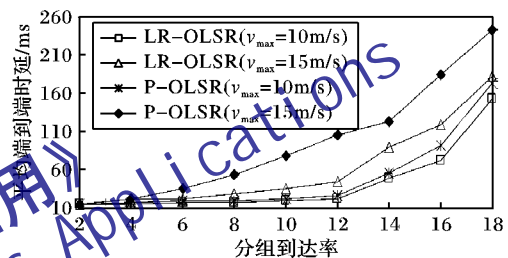


图6 LR-OLSR与P-OLSR端到端时延对比

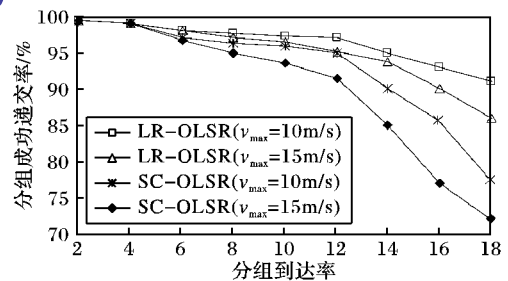


图7 LR-OLSR与SC-OLSR分组成功递交率对比

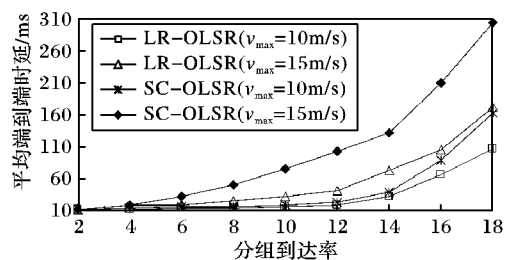


图8 LR-OLSR与SC-OLSR时延对比

另外,仿真结果还表明,LR-OLSR和OLSR、P-OLSR、SC-OLSR的开销随着网络负载的增加均有所增加,不过彼此差别不明显。这是由于它们都是表驱动路由协议,基于OLSR的运行机制,没有对网络造成实质性的额外开销。

4 结语

本文在OLSR路由协议的基础上,为无线Mesh网设计了一种基于网络环境认知的表驱动路由协议LR-OLSR。LR-OLSR引入了认知无线网络中的环境感知推理思想,通过对表征节点处理负载能力的链路投递率和链路可用性等信息

进行感知,并以此为依据对链路质量进行推理,将其作为路由选择的依据,实现对路由的优化选择,提高网络的吞吐量,达到负载均衡。仿真结果表明,在不对网络引入更多额外开销情况下,在分组成功递交率、分组传递平均端到端时延性能方面均有较大幅度的提升,能够从一定程度上达到负载均衡的路由效果。

下一步将针对多信道应用环境,结合信道分配策略,研究 LR-OLSR 协议的跨层联合优化问题,通过降低节点之间的相互干扰,提高无线资源的利用率。

参考文献:

- [1] WHITEHEAD P. Mesh networks: A new architecture for broadband wireless access systems [C]// RAWCON 2000: IEEE International Conference on Radio and Wireless. Washington, DC: IEEE, 2000: 43-46.
- [2] AKYILDIZ I F, WANG XUDONG, WANG WEILIN. Wireless mesh networks: a survey [J]. Computer Networks, 2005, 47(4): 445-487.
- [3] WAHARTE S, BOUTABA R, IRAQI Y, *et al.* Routing protocols in wireless mesh networks: challenges and design considerations [J]. Multimedia Tools and Applications, 2006, 29(3): 285-303.
- [4] LIU T, LIAO W. Capacity-aware routing in multi-channel multi-rate wireless mesh networks [C]// IEEE International Conference on Communications. Washington, DC: IEEE, 2006, 5: 1971-1976.
- [5] SONG WEN, FANG XUMING. Routing with congestion control and load balancing in wireless mesh networks [C]// ITST 2006: 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings. Washington, DC: IEEE, 2006: 719-724.

(上接第2635页)

色的定义和管理,同时也能够消除用户的角色分配和角色的权限分配的需要和管理。

4) 复杂性对比。①某个应用域中用户有 m 个属性,每个属性有 k_i 个属性值,在 RBAC 模型中需要定义 $\prod_{i=1}^m k_i$ 个角色,而在本模型中只需定义 m 个属性,这将极大地降低系统管理员的工作量。②随着用户和资源数目的增长, RBAC 的规则数目呈指数级增长,而 ABAC 的规则呈线性增长。

4 结语

本文给出了一种基于统一属性描述的访问控制模型,本模型已经在国家科技支撑计划可信互联网项目中成功实现,为该项目中的安全组播、安全网络测量以及安全 BBS 系统提供了信任协商和动态访问控制的支持。

本文提出并实现的 ABAC 模型主要实现对用户某项具体操作的合法性判定的问题,该过程具有较高的效率。但是由于属性定义的灵活性和属性取值动态变化,因此查询用户具有的操作权限的效率可能比 RBAC 模型低。此外在开放的网络环境下使访问控制策略能够自动调整和演化也是下一步需要研究的问题。

参考文献:

- [1] SANDHU R S, COYNE E J, FEINSTEIN H L, *et al.* Role-based access control models [J]. IEEE Computer, 1996, 29(2): 38-47.
- [2] SANDHU R S, COYNE E J, FEINSTEIN H L, *et al.* Role-based access control: a multi-dimensional view [C]// Proceedings of 10th Annual Computer Security Applications Conference. Washington,

- [6] 魏翼飞,张勇,宋梅,等.一种适用于 WiFi Mesh 网络的 AODV 改进路由协议[J].北京邮电大学学报,2007,30(4):128-132.
- [7] 沈强,方旭明.无线 Mesh 网中一种基于综合准则的 DSR 扩展路由方法[J].电子学报,2007,35(4):785-790.
- [8] JACQUET P, MÜHLETHALER P, CLAUENSEN T, *et al.* Optimized link state routing protocol for Ad hoc networks [C]// IEEE INMIC 2001: IEEE International Proceedings in Multi Topic Conference. Washington, DC: IEEE, 2001: 62-68.
- [9] SHARMA S. P-OLSR: Position-based optimized link state [C]// 2009 IEEE 34th Conference on Local Computer Networks. Washington, DC: IEEE, 2009: 237-240.
- [10] CHRIQI A, OTROK H, ROBERT J M. SC-OLSR: Secure clustering-based OLSR model for Ad hoc networks [C]// 2009 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. Washington, DC: IEEE, 2009: 245-239.
- [11] YANG YANGLING, WANG JUN, KRAVETS R. Designing routing metrics for mesh networks [C]// Proceedings of the IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh). Washington, DC: IEEE, 2005: 675-679.
- [12] SOBRINHO J L. Algebra and algorithms for QoS path computation and hop-by-hop routing in the Internet [J]. IEEE-ACM Transactions on Networking, 2002, 10(4): 541-550.
- [13] SOBRINHO J L. Network routing with path vector protocols: theory and applications [C]// Proceedings of ACM SIGCOMM 2003 Conference on Computer Communications. New York: ACM, 2003: 49-69.
- [14] The network simulator: NS-2 [EB/OL]. [2010-01-16]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

DC: IEEE, 1994: 54-62.

- [3] 黄益民,平玲娣,潘雪增.一种基于角色的访问控制扩展模型及其实现[J].计算机研究与发展,2003,40(10):1521-1528.
- [4] 严悍,张宏,许满武.基于角色的访问控制对象建模及实现[J].计算机学报,2000,23(10):1064-1071.
- [5] YUAN E, TONG J. Attributed Based Access Control (ABAC) for Web Services [C]// ICWS'05: IEEE International Conference on Web Services. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 561-569.
- [6] JOHNSTON W, MUDUMBAI S, THOMPSON M. Authorization and attribute certificates for widely distributed access control [C]// WETICE'98: Proceedings of the 7th International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1998: 340-345.
- [7] ZHANG XINWEN, LI YINGJIU, NALLA D. An attribute-based access matrix model [C]// Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Applied Computing. New York: ACM, 2005: 359-363.
- [8] YE CHUNXIAO, ZHONG JIANG, FENG YONG. Attribute-based access control policy specification language [J]. Journal of South-east University: English Edition, 2008, 24(3): 260-263.
- [9] 叶春晓,吴中福,符云清,等.基于属性的扩展委托模型[J].计算机研究与发展,2006,43(6):1050-1055.
- [10] 李晓峰,冯登国.基于属性的访问控制模型[J].通信学报,2008,29(4):91-93.
- [11] MAZZOLENI P, CRISPO B, SIVASUBRAMANIAN S, *et al.* XAC-ML policy integration algorithms [J]. ACM Transactions on Information and Systems Security, 2008, 11(1): 1-26.
- [12] 沈海波,洪帆.基于策略的 Web 服务访问控制研究[J].计算机科学,2007,34(5):107-110.