

# 基于用户 QoS 分析的无线 Mesh 网络部署优化

谢玉城,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:**在使用定向天线部署的无线 Mesh 网络中,为了保证用户的接入范围,在一个 AP 接入点必须配置多条定向天线,定向天线的数目增加会导致整个网络部署成本的增加以及在 AP 节点处造成天线自身的干扰。针对上述问题,提出一种基于用户 QoS 分析的部署优化算法,在保证用户 QoS 需求的前提下,减少 AP 处配置的天线数,达到减少天线自身干扰和降低网络部署成本的目的。最后对提出的算法进行了实验仿真分析,证明了算法的可行性,能够在实际的网络部署中获得良好的优化效果。

**关键词:**定向天线;QoS;无线 Mesh 网络;网络部署

中图分类号:TN92

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)01-0054-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.01.014

## Deployment Optimization of Wireless Mesh Network Based on User's QoS

XIE Yu-cheng, LI Tao-shen, GE Zhi-hui

(College of Computer and Electronic Information, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** In order to ensure the range of the user's access, an access point must be configured with multi-directional antennas in the wireless Mesh network with directional antenna. The number of antenna increase will lead to the deployment cost increase and cause self-interference at the access point. In response to these problems, a deployment optimization algorithm based on user's QoS analysis is proposed. The algorithm can reduce the number of antennas at access point under the premise that guarantee user's QoS requirements, self-interference and the cost of network deployment can be reduced. Finally, the feasibility and effectiveness of the algorithm are proved by experimental simulation and analysis. The algorithm can be used in the actual network deployment to obtain well optimization effect.

**Key words:** directional antenna; QoS; wireless Mesh network; network deployment

## 0 引言

在近几年的无线 Mesh 网络的部署研究中,基于拓扑控制对网络中的网关节点或其他 Mesh 路由器节点进行规划设计取得了一定的成果。Alicherry 等<sup>[1]</sup>使用非线性约束来对无线 Mesh 网络的拓扑规划进行最优化建模,主要目的是使得整个无线 Mesh 网络的安装成本最少。Amaldi 等<sup>[2]</sup>利用最优化拓扑模型来基于混合整数规划的线性松弛方法,提出了一种启发式算法来实现无线 Mesh 客户节点的全覆盖,以减少网络的部署成本,但是在最优化的过程中并没有考虑吞吐量指标。He 等<sup>[3]</sup>首次用线性规划对网关部署问题进行了建模,然后在两种不同类型的无线 Mesh 网络

构中,分别提出了两种启发式算法。Filippini 等<sup>[4]</sup>提出了一种数学规划模型来优化无线最优宽带接入网络的拓扑。So 等<sup>[5]</sup>提出了一个最优化框架和最优化算法来分别计算如何部署最少的中继节点和最优化解决方案。在基于定向天线的无线 Mesh 网络部署研究中,文献[6]提出了一种新的网关部署方案,针对使用定向天线的无线 Mesh 骨干网规划,使用定向天线的同时保证了 Mesh 客户节点的全覆盖。文献[7]对影响多模多通道的基于定向天线的无线 Mesh 网络的性能的相互依赖因素进行了分析研究。

一些研究者在对网络的拓扑控制研究中,将网络问题转化为计算几何问题进行研究<sup>[8-11]</sup>,如最小生成

收稿日期:2013-03-28

修回日期:2013-07-13

网络出版时间:2013-11-12

基金项目:广西自然科学基金(2012jjAAG0044);广西教育科研基金(TLZ00714)

作者简介:谢玉城(1987-),男,硕士,研究方向为计算机网络。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1634.012.html>

树图、邻近图、Gabriel 图、Voronoi 图、Delaunay 图等,为无线网络拓扑设计提供了新的思路。如文献[12]把 Delaunay 图应用定向天线的无线 Mesh 网络部署中,利用 Delaunay 图产生的“小角、长边”来降低路由节点处自身的干扰,并通过引入有效的拓扑控制机制减少节点处天线数量,降低部署成本。

也有些研究人员利用波束转换天线来解决网络的功率消耗和网络处理能力最优化问题。文献[13]提出了一种基于多波束转换天线的分布式算法(DABTC),通过调整网络中各节点发射功率和改变节点天线的方向对网络进行拓扑控制。文献[14]提出了一种基于自适应波束天线的局部优化算法(SLTC),采用低功耗分簇算法思想,将节点分为不同区域,在区域内利用定向天线进行拓扑控制。

综上相关研究成果可以看出,现有的基于网络拓扑控制的部署研究的主要研究对象是整个网络的布局规划<sup>[15-16]</sup>,是网络的框架设计。然而在无线 Mesh 网络的部署中,除了保证骨干网络的连通性和对因特网的可访问性,提供给用户的接入使用,保证用户的接入宽带需求是必须考虑的一个因素<sup>[17]</sup>,也是部署一个网络的主要目的。在网络的接入层,即用户层,现有的拓扑控制研究方法无法对用户与接入点(AP)路由器之间的链路进行优化。

为了解决这一问题,文中使用基于用户 QoS 分析的研究方法,从用户的需求出发来研究 AP 处天线的合理部署问题。以实际计算出的用户 QoS 需求为基础,在保证满足用户接入宽带需求的同时优化 AP 节点的天线部署,使得 AP 节点处使用的天线数量最少,自身干扰最低,部署成本最省。

## 1 基于用户 QoS 分析的网络部署优化算法

### 1.1 网络模型

文中的优化算法主要是针对使用定向天线的无线 Mesh 网络中负责给用户提供接入点的 AP 节点。对于原有的无线 Mesh 网络中的 Mesh 路由器和网关不进行特别区分考虑,一律看作是给用户提供接入的 AP 节点。AP 节点之间的通信链路保持不变,即网络的骨干网连通性不用担心在优化过程中遭到破坏,所有的优化操作针对网络接入层的 AP 路由器节点。

在一个随机的网络场景中,使用  $V$  表示网络中  $N$  个 AP 节点的集合,  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$ 。  $V$  中的每一个节点都有一个覆盖范围,在其覆盖范围内的用户都可以与其直接进行信息交互。由于 AP 配置的是定向天线,用  $D$  表示各个 AP 处配置的天线数目集合,  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}$ 。然后使用  $X$  来表示各个 AP 节点覆盖处的用户数量集合,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 。在文中的

算法中,是以保证用户的 QoS 需求为前提来优化操作的,所以这里假设单独的一个 AP 范围内的用户接入宽带需求是按最大值取,即以此范围内最大需求的用户的接入为标准值。使用  $S$  来表示 AP 提供给范围内用户的 QoS 要求标准值集合,  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ 。

### 1.2 用户 QoS 分析方法

在文中的算法中,需要使用到提出的一个用户 QoS 分析方法。该分析方法主要依赖于一个 Mesh 终端用户的吞吐量计算方程式来计算出一个 AP 节点处用户的实际 QoS 需求大小值,然后与 AP 可以提供的 QoS 服务标准值进行对比,作为是否进行天线数目的拟降低操作的判断条件。然后再通过适当地减少天线数量,降低部署成本。计算公式如下:

$$S' = \frac{E[P](1 - (\frac{W-1}{W+1})^n)}{T_s - (T_s - \delta)(\frac{W-1}{W+1})^n} \quad (1)$$

其中,  $E[P]$  为平均数据包负载的大小;  $W$  为竞争窗口值;  $\delta$  为一个空时间槽的时间长度;  $T_s$  为信道正常传输数据处于繁忙的平均时间;  $S'$  为吞吐量值。利用上述公式可以计算一个节点处为了满足用户的 QoS 需求需提供的吞吐量值。

在进行对比和判断时,如果 AP 节点处实际可提供的值远远大于用户要求的,则说明此 AP 节点可以被列为优化点,可以对其进行天线数目的拟降低操作。在进行了降低天线数目操作后,再进行对比判断。如果结果仍能满足用户的实际需求,则此优化继续进行。通过依次对网络中的各个 AP 节点进行这样的对比判断,适当减少天线数,可完成整个网络的优化。在公式(1)中,可以通过设定参数值,代入每条天线内的竞争用户数目  $n$  值,实际计算出用户需要的吞吐量值。所以在文中的算法中,判断条件为  $s_i$  与  $S'(n = \frac{x_i}{d_i})$  之间的大小比较,其中  $i \in (1, N)$ 。

在优化操作中,用降低 AP 节点处的天线数目来表示优化成功与否。因为,同一个 AP 节点,如果在满足用户的 QoS 需求前提下,使用的天线数目少,则自身的干扰会降低,整个网络的部署成本也会降低。

### 1.3 算法描述

文中算法的处理步骤如下:

Step1: 选择需要优化的网络,并结合网络给  $D, X, S$  分别赋值,  $D_i$  初始为空集。

Step2: 对  $V$  集合中的 AP 节点处用户进行 QoS 分析,并进行条件判断。利用公式(1),计算出  $S'_i$  在  $n$  取值为  $x_i/d_i$  时的值。

Step3: 比较  $S'_i$  与  $s_i$  的大小,如果  $s_i > S'_i$ , 则把  $d_i$  进

行减一操作,然后返回到 Step2;如果  $s_i < S'_i$ ,则反之。如果是  $s_i = S'_i$ ,直接把  $d_i$  的值赋给  $d'_i$ ,然后把  $d'_i$  值放入集合  $D_c$  内。

Step4:针对  $V$  集合中的各个 AP 节点依次进行 Step2 到 Step3 的操作,直到所有的  $d'_i$  值都放入集合  $D_c$  内,整个操作结束,输出集合  $D_c$ 。

整个算法的关键在于第三步的判断比较。文中算法优化的对象是无线 Mesh 网络中处于接入层的 AP 节点,算法在保证网络连通性的基础上,通过减少 AP 节点处的天线数,从而降低自身干扰和网络部署成本。

算法过程描述如下:

输入:  $V, D, X, S$ ;

输出:  $D_c$  (优化后的各 AP 处天线数目集合,  $D_c = \{d'_1, d'_2, \dots, d'_N\}$ )

Begin

给  $D, X, S$  分别赋值,  $D_c$  初始为空集

for ( $i = 1; i \leq N; i++$ ) {

while ( $d_i > 1 \&\& s_i > S'(n = \frac{x_i}{d_i})$ )

$d_i = d_i - 1$ ;

$d'_i = d_i$ ;

$D_c \leftarrow d'_i$ ;

}

return  $D_c$ ;

End

最后,比较  $D_c$  和  $D$  中的数值,分别对  $V$  集合中的 AP 节点进行优化操作。如果  $d'_i = d_i$  时,AP 无须优化,否则进行优化操作,  $v_i$  可以减少的天线数目等于  $d'_i - d_i$  后的数值。

## 2 实验仿真及分析

仿真实验在一个  $100 \times 100$  的区域内布置四个 AP 节点路由器,各个 AP 分别负责  $50 \times 50$  的区域内供用户接入使用。4 个小区域内的用户数随机组成整个区域的总用户数量,并且每次初始给 AP 配置的天线数以区域最大的用户数量为标准。在此前提条件下,再对各个 AP 负责的区域进行算法优化操作,观察统计每次随机生成的各用户数量分别对应的 AP 在优化前后的天线数量。在实验中,对 4 个小区域内的用户数量数据随机生成,并且用户数总和不变,连续取 10 次不同的随机用户数进行实验计算对比,最后取平均值。实验比较的结果如图 1 所示。

从图 1 中可以看到,文中的优化算法可以实际减少 AP 处部署的总天线数。当然,由于假设在 AP 部署天线时是以最大的用户区域为标准来对各个 AP 节点

进行天线部署,所以当随机过程中出现各个区域的用户数之间的差别很大时,文中算法的优化效果就显得很明显。在实验过程中发现,当随机生成的各个区域用户数很均匀时,优化前后带来的效果不算很大,这是因为用户分布的越均匀,AP 处的天线越能被充分利用,这时再通过算法的优化带来的效果相对不是那么的明显。总而言之,文中算法在对区域用户数分布不是很均匀的情况下效果更佳,带来的部署成本降低更明显。在用户区域均匀分布的情况下,文中算法可以收到一定的成效,但是优化效果不是很突出。在实际的 Mesh 网络部署应用中,处在网络覆盖范围内的用户是不可能很均匀分布的,文中使用随机生成的仿真实验比较符合实际的网络情况,也从一个方面证明了优化算法在网络部署中可以根据用户的接入宽带需求合理优化无线 Mesh 网络的 AP 节点处部署的天线数,实现网络部署成本的降低。

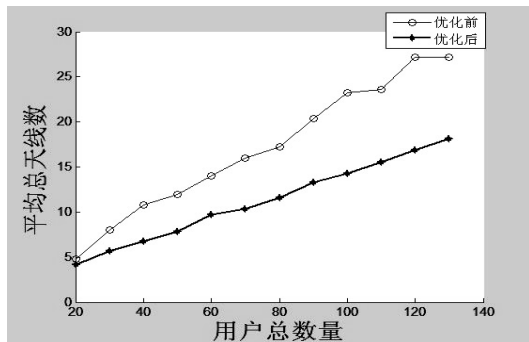


图 1 仿真实验中优化前后天线数量的变化

## 3 结束语

文中针对拓扑控制在网络用户接入层 AP 节点处部署的局限性,提出一种新的研究方法,从用户的需求出发来研究 AP 的合理部署,即基于用户 QoS 分析的网络部署优化方法;然后提出了一个基于用户 QoS 分析的网络部署优化算法;最后,通过实验仿真对算法的可用性和可行性进行了分析,指出了文中算法适用的范围及在不同的情景下优化效果的差别。

### 参考文献:

- [1] Alicherry M, Bhatia R, Li L. Joint channel assignment and routing for throughput optimization; in multi-radio wireless mesh networks [C] // Proceedings of the 11th annual international conference on mobile computing and networking. New York, NY, USA: ACM, 2005: 58-72.
- [2] Amaldi E, CaPone A, Cesana M, et al. Optimization models and methods for planning wireless mesh networks [J]. Computer networks, 2008, 52: 2159-2171.
- [3] He B, Xie B, Agrawal D P. Optimizing deployment of Internet

算法,用以解决软体的碰撞检测。算法使用 AABB 包围盒做初步检测,快速排除掉不发生碰撞的物体。再对可能发生碰撞的物体在包围盒的重叠范围内进行空间分解,使用哈希表作为数据储存结构,找出可能发生碰撞的基本几何元素对,检测出具体碰撞点。并能够判断是否是自碰撞。对哈希表的更新分两种情况处理。由于大幅度缩小了空间分解的区域,以及有针对性的更新,该算法拥有较高的运算效率。

#### 参考文献:

- [1] Lin M, Gottschalk S. Collision detection between geometric models: A survey [C]//Proceedings of IMA conference on mathematics of surfaces. Birmingham, UK; Eurographics Association, 1998: 37–56.
- [2] Bridson R, Marino S, Fedkiw R. Simulation of clothing with folds and wrinkles [C]//Proc of ACM/Eurographics symposium on computer animation. [s. l.]: ACM Press, 2003: 28–36.
- [3] Waterworth J. Virtual reality in medicine: A survey of the state of the art [R]. Sweden: Umea University, 1998.
- [4] 邹益胜, 丁国富, 许明恒. 实时碰撞检测算法综述 [J]. 计算机应用研究, 2008, 25(1): 8–12.
- [5] Teschner M, Kimmerle S, Heidelberger B, et al. Collision detection for deformable objects [C]//Proc of computer graphics forum. [s. l.]: [s. n.], 2005: 1–21.
- [6] Zachmann G, Langetepe E. Geometric data structures for computer graphics [M]. [s. l.]: [s. n.], 2003: 27–31.
- [7] Gregory A, Lin M, Gottschalk S, et al. H-COLLIDE: A framework for fast and accurate collision detection for haptic interaction [R]. Carolina: University of North Carolina, 1998.
- [8] Larsson T, Akenine-Moller T. Collision detection for continuously deforming bodies [C]//Proc in Eurographics. [s. l.]: [s. n.], 2001: 325–333.
- [9] Teschner M, Heidelberger B, Mueller M, et al. Optimized spatial hashing for collision detection of deformable objects [C]//Proceedings of vision, modeling, visualization. [s. l.]: [s. n.], 2003: 47–54.
- [10] Teschner M, Heidelberger B, Mueller M, et al. A versatile and robust model for geometrically complex deformable solids [C]//Proceedings of CGI'04. [s. l.]: IEEE Computer Society Press, 2004: 312–319.
- [11] Heidelberger B, Teschner M, Keiser R, et al. Consistent penetration depth estimation for deformable collision response [C]//Proceedings of vision, modeling, visualization. Stanford, USA: [s. n.], 2004: 339–346.
- [12] Barton P M, Jeffrey K H, Mark D C. The paradyne parallel performance measurement tool [J]. IEEE computer, 1995, 28(11): 37–46.
- [13] Datta S, Stojmenovic I, Wu J. Internal node and shortcut based routing with guaranteed delivery in wireless networks [J]. Cluster computing, 2002, 5: 169–178.
- [14] Stojmenovic I, Datta S. Power and cost aware localized routing with guaranteed delivery in wireless networks [J]. Journal of wireless communications & mobile computing, 2004, 4: 175–188.
- [15] Li Wenge, Li Taoshen. A Delaunay triangulation based method for optimizing backbone wireless mesh networks [C]//Proc of international conference on computer science and service system. Nanjing: [s. n.], 2011: 959–962.
- [16] 贺鹏, 李建东, 陈彦辉, 等. Ad Hoc 网络中基于方向性天线的分布式拓扑控制算法 [J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1308–1318.
- [17] 卢晓林. 基于定向天线的 Ad Hoc 网络拓扑控制算法研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- [18] 黄丽莹, 韦岗, 姜胜明. 使用定向天线的骨干无线网络网络容量研究 [J]. 计算机应用, 2007(6): 1306–1309.
- [19] 公维宾, 常义林, 沈中. Ad Hoc 网络中改善拓扑控制性能的移动控制算法 [J]. 软件学报, 2011, 22(10): 2335–2345.
- [20] 印妮. 基于 QoS 的无线 Mesh 网络路由协议及相关技术的研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2012.
- [21] gateway in wireless mesh networks [J]. Computer communications, 2008, 31(7): 1259–1275.
- [22] Filippini I, Cesana M. Topology optimization for hybrid optical/wireless access networks [J]. Ad Hoc networks, 2010, 8: 614–625.
- [23] So A, Liang B. Minimum cost configuration of relay and channel infrastructure in heterogeneous wireless mesh networks [C]//Proc of IFIP networking. Atlanta, GA: [s. n.], 2007: 275–286.
- [24] Hu Ziping, Verma P K. Gateway placement in backbone wireless mesh networks using directional antennas [C]//Proc of 2011 ninth annual conference on communication networks and services research. [s. l.]: [s. n.], 2011: 175–180.
- [25] Kumar A, Tripathi R. Effective resource utilization in wireless mesh networks using smart antenna [C]//Proc of seventh international conference on wireless and optical communications networks. [s. l.]: [s. n.], 2010: 1–5.
- [26] Bose P, Lilorin P, Stojmenovic I, et al. Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless network [J]. ACM/Kluwer wireless networks, 2001, 7: 609–616.
- [27] Karp B, Kung H T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]//Proceedings of the 6th annual international conference on mobile computing and networking. Boston, MA, USA: [s. n.], 2002: 243–254.

(上接第 56 页)

基于用户QoS分析的无线Mesh网络部署优化

作者：[谢玉城](#)，[李陶深](#)，[葛志辉](#)，[XIE Yu-cheng](#)，[LI Tao-shen](#)，[GE Zhi-hui](#)

作者单位：[广西大学 计算机与电子信息学院, 广西 南宁, 530004](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)



英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(1)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201401014.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201401014.aspx)