

基于定向天线无线 Mesh 网络拓扑控制研究

黄文东,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:为了改善无线 Mesh 骨干网络全向天线通讯机制所带来的严重信号干扰问题,提出一种基于定向天线的无线 Mesh 网络拓扑控制技术。首先,采用 GG 模型建立 Mesh 网络拓扑,简化拓扑结构,从而有效地降低骨干网络拓扑复杂度;其次,采用定向天线通讯机制,从通讯角度上控制信号传输方向,进而降低信号干扰范围;最后,采用功率控制技术调整发送功率,降低信号通讯距离,减小信号干扰范围。仿真实验结果证明了拓扑控制技术和功率控制技术相结合的有效性。

关键词:无线 Mesh 网络;拓扑控制;GG;定向天线;功率控制;信号干扰

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)02-0250-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.02.062

Research on Topology Control for Wireless Mesh Network Based on Directional Antenna

HUANG Wen-dong, LI Tao-shen, GE Zhi-hui

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

Abstract: In order to improve serious signal interference of wireless Mesh backbone network due to omni-directional antenna communication mechanism, a topology control technology in Mesh network based on directional antenna is proposed. First, this method used GG model to build topology to reduce complexity of backbone network topology. And then, utilized directional antenna communication mechanisms to control transmission direction of signal, reducing interference of communication. Finally, used the power control technique to adjust the transmission power to decrease communication distance and reduce the range of interference. The simulation results also indicate the validity of the topology control combined the power control.

Key words: wireless Mesh network; topology control; GG; directional antenna; power control; signal interference

0 引言

无线 Mesh 网络^[1] (Wireless Mesh Network, WMN) 是一种自组织、自管理的多跳无线网络,具有覆盖率高、可扩展性强、可靠性强等特点,被广泛应用于各种领域。WMN 主要由骨干路由器节点和用户终端节点两部分组成,用户终端节点可通过骨干网络访问 Internet 网络。针对骨干节点之间无线通信,如何控制各节点之间的连通,降低通讯之间的干扰,对于 WMN 的性能起着十分重要的作用。拓扑控制的好坏直接影响着网络的整体性能,好的拓扑控制可以降低 WMN 的干扰,提高 WMN 的整体性能,发挥 WMN 自身的优势。因此,WMN 的拓扑控制技术研究一直是当今一个热点问题。

目前,针对 WMN 提出了很多拓扑控制算法,总体上可以分为两大类^[2]:集中式拓扑控制技术和分布式拓扑控制技术。在集中式拓扑控制技术中,网络中设置了中心节点,依据全局网络信息,建立强连通拓扑网络。由于该技术需要获取全局网络信息才可构建拓扑,导致整体网络的扩展性不是很好;与集中式技术相反,分布式拓扑控制技术没有设置中心节点,要求每个节点只需要根据从邻居节点收集到的相关信息就可以自动建立局部拓扑,因此分布式拓扑控制技术具有很好的扩展性和移动自适应性质。

文献[3-4]提出了 CONNECT 和 BICONN-AUGMENT 拓扑控制技术,属于集中式拓扑控制技术。技术的主要目的是解决网络中每一个节点的发送功率最

收稿日期:2013-04-22

修回日期:2013-07-27

网络出版时间:2013-11-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60963022,61103245);广西自然科学基金(2012jjAAG0044);广西教育科研基金(TLZ100714)

作者简介:黄文东(1985-),男,硕士,研究方向为无线 Mesh 网络;李陶深,博士,教授,研究方向为无线 Mesh 网络、分布式数据库;葛志辉,博士,教授,研究方向为无线 Mesh 网络、网络性能优化。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131129.0945.032.html>

小化的问题,以及对于同构自组网络的1-连通问题。

文献[5-6]提出的 LINT 和 LILT 拓扑控制技术都是一种基于局部信息链路状态的拓扑控制技术,属于动态拓扑控制技术。在这两种技术中,每个节点都要定期更新邻居列表的连接状态信息,以调整自身的邻居连接个数使其保持在一定的合理范围。

文献[7-8]提出了一种基于定向天线的拓扑控制技术(CBTC),它假设每个节点有 n 个扇区,一开始逐渐增加自己的发送功率,直到功率增加到最大或是每个扇区至少能找到一个邻居节点为止,但是该技术节点的平均连接度和发送功率相对较高。

文献[9-10]给出的基于簇的拓扑控制算法结合了集中式与分布式算法的一些优点,既保证了图的强连通性(k 连通图),又保证了算法的可实现性。

然而,在 WMN 中,骨干网络负责用户终端与 Internet 网络的连接,骨干路由器网络之间通过无线设备进行通讯,各路由器都与在自己通讯范围内的所有邻居节点建立连接,导致了网络的拓扑复杂度高、维护信息量大、数据流汇聚网关路由器的状况,使得网关路由器与周围路由之间信息交换频繁,无线信号在网关及其周围路由节点处产生了密集现象,各信号相互产生严重干扰,导致数据包丢失、网络的整体性能骤降的结果。为了降低干扰,大多数研究者采用了功率控制技术,通过对发送功率的控制,调节传输距离和干扰范围,从而降低干扰。但是,目前的功率控制没有从根本上解决干扰问题,因为干扰问题主要源于骨干节点之间采用全向天线通讯时,对邻居节点造成的干扰,单纯的功率控制只能减少全向天线的干扰半径,但在干扰半径范围内的邻居节点依然受到通讯干扰,影响了 Mesh 网络的性能,而且运用了简单的拓扑控制技术,只要在信号传输范围内,就要建立连接,这样势必增加了网络的复杂度,也导致了通讯之间的干扰问题。所以说,全线天线通讯机制的干扰问题和拓扑控制才是 Mesh 网络干扰产生的最主要原因。

1 解决方案的提出

针对于 Mesh 骨干网络原始拓扑所存在的复杂性高、维护信息量大、平均连接度高、全向通讯信道干扰严重等不足之处,根据 GG 模型特点,文中提出使用 GG 模型结合定向天线通讯机制对 Mesh 骨干网络进行拓扑控制,同时通过功率控制,进一步降低干扰。

1.1 GG

GG(Gabriel Graph)^[11]是一种基于图论的拓扑连接图,必须满足条件:对于拓扑中的任意两个 u, v 节点,如果存在除 u, v 以外的任何节点 e ,使得 $d^2(u, e) + d^2(v, e) \leq d^2(u, v)$,则 u, v 两节点之间不存在直接连

接。GG 模型不仅能保证连通性,而且具有良好的健壮性、抗毁性,平均节点度低,没有交叉边,建立简单,维护方便等特点。可见,GG 模型可以优化拓扑,降低拓扑复杂性。

经过研究分析发现,当 GG 应用于自由空间广播通讯模型中,在发送功率与距离平方为正相关时,GG 是最节能的拓扑。

1.2 自由空间广播模型

无线电广播模型主要用来计算数据在发送端发送功率以及到达接收端时的功率之间的关系。自由空间广播模型^[7]用于表示发送端和接收端无障碍的直接通讯模型,H. T. Friis 提出了此模型的发送功率和接收功率之间的关系:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \tag{1}$$

其中, P_t 表示数据在源节点发送功率; G_t, G_r 表示节点天线的发送增益和接收增益; λ 表示波长; d 表示源节点和目的节点之间的通讯距离; L 表示系统的链路损耗; P_r 表示数据到达目的节点的接收功率。

2 定向天线的拓扑控制算法

假设无线 Mesh 网络为同构网络,各骨干路由节点的最大发送功率 P_t 相同、每个节点的信号接收阈值 P_{th} 相同、每个节点最大通讯半径 R_{MAX} 相同、每个节点的位置坐标可以获取。假设:

- $G(n)$ 表示 n 个节点的初始拓扑;
- $d(u, v)$ 表示节点 u, v 之间的距离;
- $Neib(u)$ 表示节点 u 建立连接的邻居节点;
- $Eff_Neib(u)$ 表示 u 节点所有可通讯节点。

2.1 信息收集拓扑建立算法

算法的思想是:骨干网络每个节点一开始都要通过 hello 消息来广播自己的位置信息,并且时刻监听和接收周围邻居节点的 hello 消息,收到邻居节点消息后,首先,存储到 $Eff_Neib(u)$ 列表中,如果收到同一个节点的信息,则要更新 $Eff_Neib(u)$ 队列中的信息;其次,定期对 $Eff_Neib(u)$ 列表进行检测,找出符合连接条件的邻居节点,并发送连接请求,收到回复后建立连接,并将建立连接的邻居节点保存在 $Neib(u)$ 列表中,这样就确定了与邻居节点的拓扑关系;最后,建立起基于 GG 模型的拓扑结构。算法的步骤如下:

Step1:每个节点 u 以最大功率 P_t 发送 hello 消息,广播自己的位置。

Step2:收集周围节点的 hello 消息,存到 $Eff_Neib(u)$ 队列中。

Step3:扫描检测 $Eff_Neib(u)$ 队列中是否有达到连接要求的节点。

Step4:找到满足要求的节点,发送连接请求,收到回复后将节点存入 $\text{Neib}(u)$ 队列中。

算法的伪代码如下:

```

初始化  $G(n)$ 
for(every node  $u$  in  $G(n)$ ) {
Broadcast( $u$ , "hello"); /* 广播消息 */
Recv("hello",  $v$ );
if( $v$  not in  $\text{Eff\_Neib}(u)$ ) Insert( $v$ ,  $\text{Eff\_Neib}(u)$ );
else Update( $v$ ,  $\text{Eff\_Neib}(u)$ );
for(every node  $v$  in  $\text{Eff\_Neib}(u)$ ) {
if(every node  $w$  in  $\text{Eff\_Neib}(u)$  &&  $w \neq v$  && ( $d^2(u, w) + d^2(v, w) > d^2(u, v)$ ))
if( $v$  not in  $\text{Neib}(u)$ ) {
Send(quest,  $v$ );
if(Recv(ack,  $v$ )) Insert( $v$ ,  $\text{Neib}(u)$ ); }
}
}

```

2.2 功率控制技术

网络拓扑建立以后,节点 u 与节点 v 之间的通信采用定向天线通讯机制,可以根据目的节点 v 的位置信息计算出通讯距离 d ,结合自由广播模型就可以计算出发送功率的大小,由公式(1)可知:

$$P_t = \frac{P_r(d) (4\pi)^2 d^2 L}{G_t G_r \lambda^2} \quad (2)$$

在无线电广播通讯中,由于数据信号到达目的节点时可能存在信号干扰问题,因此为了能正确接收数据,那么信噪比要满足如下公式:

$$\frac{P_r}{P_n} \geq \alpha \quad (3)$$

由公式(3)可知,只有接收端接收的数据信号功率与干扰信号的功率的比值不小于信噪比阈值,数据才会被接收端正确接收。为了能将发送功率降低到最低,即保证正确接收又达到最节能的效果,只要满足数据信号在接收端的功率为接收功率阈值 P_{th} ,并且保证信噪比不小于其阈值,这样就可以得到最小发送功率与接收功率阈值之间的关系:

$$P_{min} = \frac{P_{th}(d) (4\pi)^2 d^2 L}{G_t G_r \lambda^2} \quad (4)$$

依据公式(4)就可以得到最小发送功率 P_{min} 、有效噪声最小干扰功率 P_n 、干扰距离 d_n 三者的关系公式为:

$$P_{min} = \frac{P_n(d_n) (4\pi)^2 d_n^2 L}{G_t G_r \lambda^2} \quad (5)$$

运用公式(3)、(4)、(5)就可以得到在保证通讯距离为 d 的两节点可以正确接收数据的基础上,源节点发送数据信号的干扰距离和通讯距离之间的关系为:

$$d_n = d\sqrt{\alpha} \quad (6)$$

3 实验结果分析

文中进行了网络通讯模拟实验并对实验结果进行对比,实验平台采用 C++ 语言搭建的定向通信模拟平台,实验模拟场景在 500×500 的范围内,每个节点的最大通讯广播半径为 150 m,每个节点都有定向通讯设备。实验以节点到达原始拓扑中邻居节点的平均跳数作为评价拓扑控制优劣的性能指标;以通讯过程中对周围邻居节点影响的数目作为评价干扰程度的指标。

图 1 表示同一实验场景不同拓扑控制模式下,每一个节点相对于原始拓扑中邻居节点的通讯跳数的比较情况;图 2 表示在同一实验场景不同网络规模下网络整体节点平均通讯跳数的比较情况。

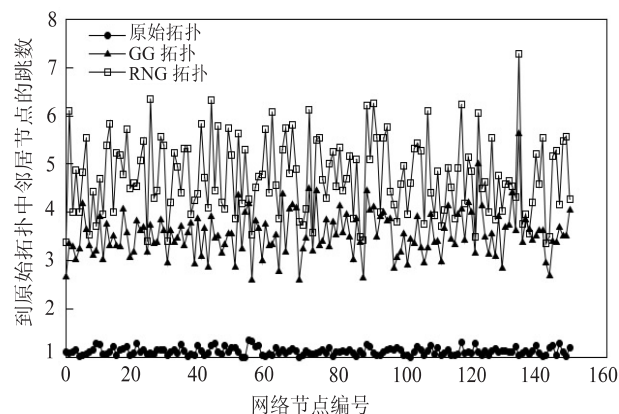


图 1 通讯跳数的比较情况

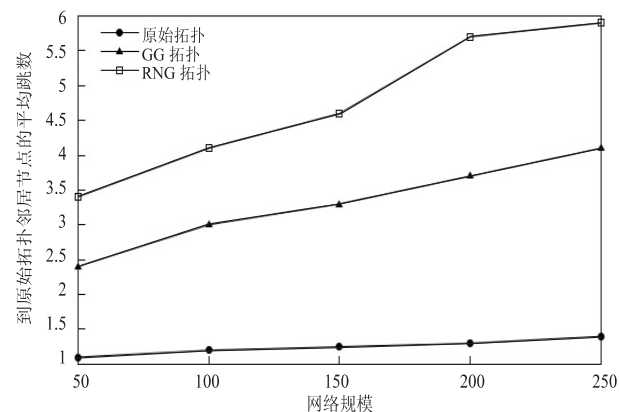


图 2 不同拓扑控制的节点平均通讯跳数比较情况

从实验结果可以看出,由于全向天线的覆盖范围大,所以与邻居节点的通讯主要是通过一跳完成,而采用了 GG 之后,通过 GG 拓扑要求采取定向天线通讯方式,由于网络拓扑简单化,导致源节点与邻居节点要经过中间节点的转发才能通信,也就增加了通讯的跳数,但是相比于 RNG 拓扑控制,GG 拓扑的跳数相对较小,也在网络通信可以接受的范围内。由此可见,GG 在拓扑控制方面优于 RNG 拓扑控制,也进一步证明了 GG 拓扑控制技术的可行性。

图 3 表示同一个实验场景下不同拓扑控制和功率控制技术一次通讯平均影响节点数目的比较情况;图

4 表示不同实验场景下的不同控制技术一次通讯网络整体平均受影响节点数目的比较情况。

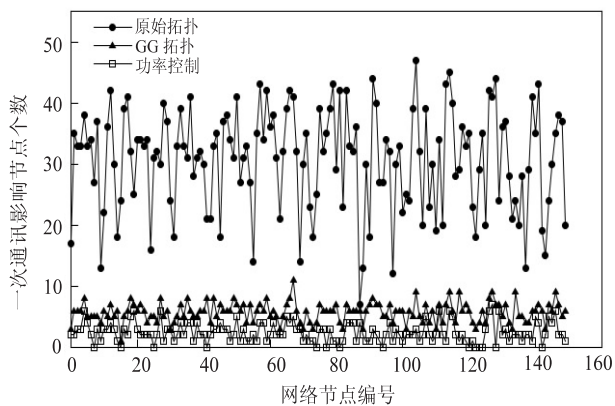


图 3 一次通讯平均影响节点数目的比较情况

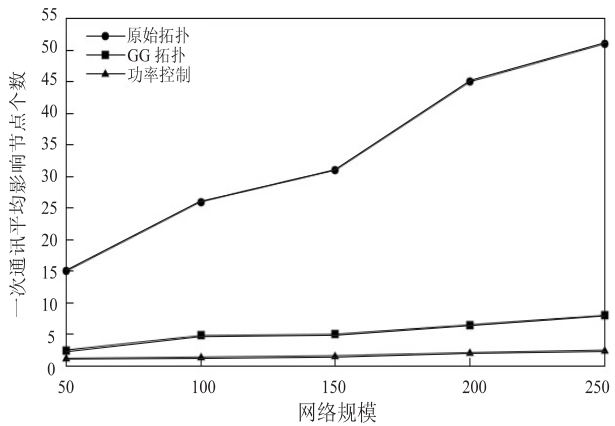


图 4 一次通讯网络整体平均受影响节点数目的比较情况

从实验结果可以看出,由于 GG 的拓扑控制简化了网络连接,加上采用定向通讯机制,相比原始拓扑,从通讯角度上减少信号的干扰范围,在很大程度上降低了受干扰的节点数目;功率控制技术将节点间通讯功率控制在最小,不仅减小了传输距离,也减小了干扰范围,进一步降低了受干扰节点数。由此可见,拓扑控制和功率控制的结合运用很好地改善了受影响节点数目和干扰范围,随着网络规模的增加,受影响节点数目相对稳定,同时也验证了 GG 拓扑控制和功率控制结合运用的可行性。

4 结束语

文中针对 WMN 的特点、拓扑控制存在的问题以及通讯机制产生的干扰问题,提出一种基于 GG 拓扑控制模型和自由空间广播模型的功率控制技术以及定

向通讯技术相结合的综合拓扑控制算法。理论分析以及实验对比表明,这种将拓扑控制、定向通讯技术以及功率控制相结合的拓扑控制技术不但降低了网络拓扑的复杂度,同时从通讯角度和通讯距离上降低了通讯信号的干扰范围,从而进一步降低通讯机制导致的信号干扰,使得网络的整体性能得以改善,验证了基于定向天线无线 Mesh 网络的拓扑控制研究方案的可行性和实用性。

下一步将继续研究在 Mesh 网络拓扑控制基础上考虑定向天线的有效分配,多信道通信的分配,节约能耗和节约成本等问题,进一步提升 Mesh 网络的整体性能和市场应用价值。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Wang Xudong, Wang Weilin. Wireless mesh networks: A survey [J]. Computer networks, 2005, 47 (4): 445-487.
- [2] 叶 宁. Ad Hoc 网络拓扑控制算法的设计与仿真 [D]. 沈阳: 东北大学, 2008.
- [3] 陈友荣, 俞 立, 董齐芬. 基于近邻算法的无线传感器网络功率控制 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2010, 44 (7): 1321-1326.
- [4] Li N, Hou J C. Localized fault-tolerant topology control in wireless ad hoc networks [J]. IEEE transaction on parallel and distributed systems, 2006, 17 (4): 307-320.
- [5] 张 伟. 无线 Mesh 网络拓扑控制研究 [J]. 通信技术, 2010, 43 (4): 201-203.
- [6] Ben-Othman J, Bessaoud K, Bui A, et al. Self-stabilizing algorithm for energy saving in wireless sensor networks [C] // Proc of IEEE symposium on computers and communications. [s. l.]: [s. n.], 2011: 68-73.
- [7] 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.
- [8] He Linna. Research on train control system based on communications [J]. Applied mechanics and materials, 2013, 253: 1427-1430.
- [9] 吴成洪. 无线传感器网络拓扑控制研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [10] 胡致远, 王 景, 邓建良, 等. 无线 Mesh 网络规则拓扑结构与容量研究 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27 (11): 4197-4220.
- [11] 路 纲, 周明天, 牛新征, 等. 无线网络邻近图综述 [J]. 软件学报, 2010, 19 (4): 888-911.

基于定向天线无线Mesh网络拓扑控制研究

作者：[黄文东](#)，[李陶深](#)，[葛志辉](#)，[HUANG Wen-dong](#)，[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](#)

ISTIC

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

年，卷(期)：2014(2)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201402063.aspx