

文章编号: 2095-4980(2021)03-0433-05

基于 BATMAN-adv 的多跳无线网络

赵志豪¹, 陈娅冰¹, 张 戩²

(1.烟台工程职业技术学院 信息与传媒系, 山东 烟台 264006; 2.哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 无线自组网具有去中心化、多信道、多跳等特点, 适用于专网和临时应急网络的快速搭建。为了使网络具有更宽的覆盖、更强的绕射能力和更高的吞吐量, 系统选择一种支持 IEEE802.11 ac 的三射频接口物理层节点, 在此基础上, 结合 BATMAN-adv 路由协议进行研究, 实现了一种基于多接口多信道的自组网系统。仿真实验数据表明, 该系统在 5G 频谱中能够全双工使用正交信道降低干扰, 将网络链路拓展至 5 跳以上, 网络损耗衰减低于 30%, 网络吞吐量高于 300 Mbps。

关键词: 自组网; 多信道; 正交信道; 吞吐量

中图分类号: TN915.03

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019571

Multi-hop wireless network research based on BATMAN-adv

ZHAO Zhihao¹, CHEN Yabing¹, ZHANG Jian²

(1.Information and Media Department, Yantai Engineering & Technology College, Yantai Shandong 264006, China; 2.College of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150001, China)

Abstract: Self-organized wireless network, featured by non-centralized, multi-channel, multi-hop, meets the requirements of emergence networks and dedicated networks. To gain the network performance with longer range cover, non-visible communication and higher throughput, tri-radio nodes supporting IEEE802.11 ac protocol are selected. Combining with Better Approach To Ad-hoc Network Advanced(BATMAN-adv) routing protocol, a system of self-organized wireless network with multi-channel and multi-interface is realized. The field test data indicates that the system extends coverage to 5 hops with 30% throughput loss and the throughput is up to 300 Mbps with orthogonal channels under full duplex mode in 5 G spectrum.

Keywords: self-organized; multi-channel; orthogonal channels; throughput

无线网状网络(Wireless Mesh Network, WMN)^[1]是一种区别于传统无线网络的新型通信网络。传统的无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)中, 节点必须通过与接入点(Access Point, AP)连接、点对点的传输方式建立通信系统。而在 WMN 网络中, 每个节点既可以作为路由器, 转发来自其他节点的数据包, 也可以作为通信的发起端和接收端。WMN 网络节点具有对等性, 是一种自组织的分布式网络, 采用多点对多点的拓扑实现多路径传输^[2]。源和目的节点可以选择这些路径作为主要路径和备选路径, 也可以选择多跳路径并发传输实现负载均衡, 提高传输的可靠性与安全性。WMN 在大型无线社区如企业、机场、港口等建设中具有广阔的应用前景。

近年来, 随着 WMN 网络的不断发展, 研究其针对路由算法的研究越来越多, 主要分为 3 种: 反应式路由、先验式路由、混合式路由。反应式路由的特点是按照需求建立路径, 开销小, 实时性差, 典型的路由协议有按需距离矢量(Ad-Hoc On-Demand Distance Vector, AODV)^[3]、动态源路由(Dynamic Source Routing, DSR)^[4]; 先验式路由的特点是泛洪机制维护一张到达目的节点现存路径的路由表, 时延小, 可扩展性差, 典型的路由协议有优化链路状态路由(Optimized Link State Routing, OLSR)^[5]。混合式路由是尽力互补 2 类路由协议的优缺点, 典型的无线混合网状协议(Hybrid Wireless Mesh Protocol, HWMP)^[6]是 IEEE802.11s 标准中默认的路由协议。

无线多跳网络寻优路径(Better Approach To Mobile Ad-Hoc Networking, BATMAN)协议属于先验式路由协议, 在现实环境实验中, 较之其他的 WMN 路由协议具有更佳的性能。与 OLSR 不同, 它是距离矢量协议, 依靠各节

收稿日期: 2020-12-30; 修回日期: 2020-01-08

基金项目: 山东省高等学校科技计划基金资助项目(J18KA339)

作者简介: 赵志豪(1979-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为微波通信技术与物联网技术。email:zzhhero523@163.com

点周期性发送源节点信息(Originator Message, OGM)的机制^[7], 报告站点位置, 发现和保持路径, 逐跳转发数据。

BATMAN-adv 是演进的 BATMAN 协议, 继承了其基础算法。多数无线路由协议是在第 3 层网络层实现的, 通过发送用户数据协议(User Datagram Protocol, UDP)包来影响内核操作路由表。而 BATMAN-adv 是完全工作在开放式系统互联模型(Open System Interconnect, OSI)二层的的路由协议, 不仅路由信息使用原始的以太网帧, 协议还处理数据流量。所有节点就像处于本地连接, 即使不了解网络拓扑, 也不会受到网络变化的影响。从而有效缓解了基站的工作压力, 增加了网络吞吐量和可扩展性。

由于 BATMAN-adv 出众的网络性能, 在一个实际的 WMN 网络社区项目中应用该协议获得通过, 本文详细介绍物理层节点多射频接口设计方案、BATMAN-adv 协议的配置方法, 以及根据实网打流数据对网络多跳路径质量、大带宽等关键性能深入研究。

1 基于路径质量的多跳优化

在当前普遍使用 BATMAN 协议(BATMAN IV)中, 路由度量依据链路的质量度量值, 称为 TQ(Transmission Quality)值^[8]。TQ 值分为 2 个部分: 路径质量(Path Transmit Quality, PTQ)和本地链路质量(Link Transmit Quality, LTQ)。本地链路质量 LTQ 用来统计与一跳邻居之间的链路质量。BATMAN IV 协议采用了一种反射机制来统计本地链路质量。运行了 BATMAN IV 路由协议的网络节点会周期性地地在自身的每个接口上向外广播 OGM 数据包。因此, 本地节点通过 OGM 消息接收到由邻居节点的接口发出的 OGM 数据包, 对这些 OGM 数据包利用滑动窗口进行统计可以得到接收质量(Receive Quality, RQ)。在邻居节点收到该 OGM 数据包之后, 同时也会将数据包对外进行广播转发。因此, 每个接口发出的 OGM 数据包会被邻居接口接收并转发, 并最终被自身接口再次接收, 根据这些 OGM 数据包利用滑动窗口进行统计可以得到反射接收质量(Echo Quality, EQ)。根据反射接收质量和反向接收质量, 由式(1)得到本地链路质量 LTQ:

$$LTQ = f(EQ, RQ) \tag{1}$$

路径质量 PTQ 用来统计一条路径的路由度量, 数据包依据全局链路质量来选择最佳下一跳进行路由。在 BATMAN 路由协议中, 全局路由为多段链路的路由度量的累积值, 累积方法:

$$PTQ = PTQ_{old} \times LTQ \tag{2}$$

式中 PTQ_{old} 为该节点之前的路径中累积的路径质量。

为了提高链路的对称性, 优化路由选择, BATMAN IV 路由协议在路径质量累积的过程中加入了很多惩罚因子, 具体包括跳数惩罚系数、链路非对称性惩罚、相同接口惩罚系数等。

在得到全局路径 PTQ 之后, 根据路径度量值更新路由排名。假设当前从一跳邻居 B 接收到该 OGM 数据包, 之前的路由最佳下一跳为 A 节点, 如果要将 B 更新成最佳路由下一跳, 则需要满足:

- a) 从节点 B 接收到的 OGM 数据包是最新的(用序列号进行判断)。
- b) 从节点 B 接收到的 OGM 数据包所得到的路径度量 PTQ 值, 大于当前的路由表项中以节点 A 作为路由转发节点的路径 PTQ 值。

如果两者的 PTQ 值相同, 则比较从本节点分别到节点 A 和节点 B 的链路的对称性, 只有在节点 B 对应的链路对称性更优时, 才将 B 节点更新成最佳路由下一跳^[9]。

2 网络节点信道分配与配置

设计 WMN 网络物理层节点时, 首先要考虑信道与接口。国内无线工业科学医学(Industrial Scientific Medical, ISM)频谱在 2.4 GHz 有 11 个信道, 而考虑到信道间的干扰, 通常只使用 1,6,11 三个正交信道, 且频宽仅 20 MHz; IEEE802.11 ac 使用 5 GHz 信道, 频宽从 20~80 MHz 可调, 极大提高了通信速率。5 GHz 信道在 20 MHz、40 MHz 和 80 MHz 时正交可用信道分布, 如图 1 所示。

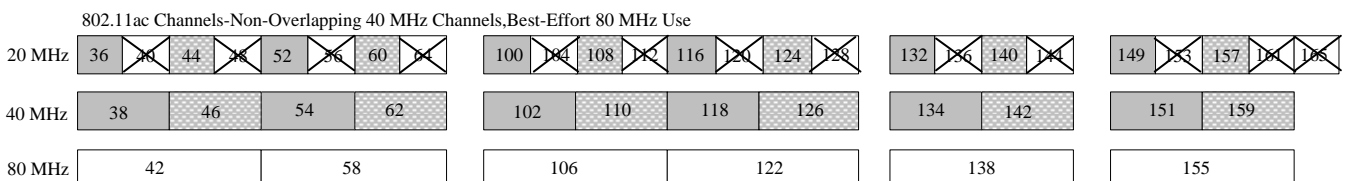
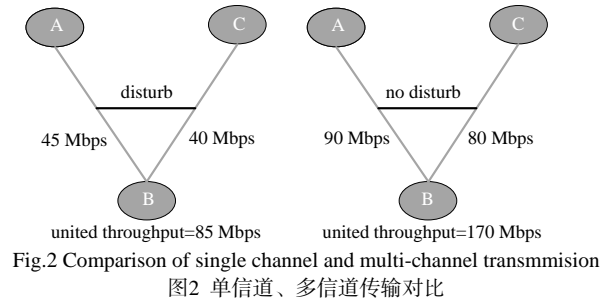


Fig.1 5 GHz channel allocation
图 1 5 GHz 信道分布

早期的 WMN 是单信道网络，多个承载业务的节点对共享同一信道，因此，在同一时刻，只会存在一组承载业务占用信道，而其他承载业务的节点必须使用某种侦听或退让算法实时确定信道使用情况，从而造成信道使用率低，网络吞吐量差。

在节点中提供多个射频接口扩展为多信道并发承载业务提供了物理层基础，根据图 1 的信道资源合理有效分配网络中多个信道，分别工作在不同信道或者接口的多个承载业务节点对能够同时传输数据帧，还可以设置业务节点对的全双工工作模式^[10]，对于保证服务质量和提高系统吞吐量具有重要意义。

单、多信道传输数据，网络吞吐量的差别，如图 2 所示。信道容量为 100 Mbps，在单信道中，A,B,C 均使用同一信道，每条链路容量为 $100/2=50$ Mbps；多信道中，A,B,C 均使用不同信道，每条链路容量为 100 Mbps。



2.1 多射频接口的节点设计

基于多接口、多信道的网络设计原则，WMN 网络的硬件节点基于高通 IPQ806x 芯片的处理器设计了一个具有三个射频接口(A,B,C)的网络处理单元，其中射频接口是 MINI-PCIE 接口，A,B 接口支持 5 GHz 的射频模块，C 接口支持 2.4 GHz 的射频模块。射频单元应用高通 QCA9892 无线射频模块。

高通 IPQ806x 处理器是一款性能卓越的无线处理 CPU，如图 3 所示，主要特征包括：a) 具有 1.4 GHz 的主频；b) 1 GB DDR3 系统内存；c) 可支持 4×4 MU-MIMO 的 802.11 ac 射频模块；d) 3 个 PCIE 射频卡槽，支持 802.11 a/b/g/n/ac 等协议的 Mesh AP；e) 5 个千兆以太网接口。高通 QCA9892 是一款大功率、高带宽和超远距射频模块。具有以下性能：a) 频率范围 5.180~5.825 GHz，每条链路 27 dBm，聚合链路 30 dBm 的发射功率；b) 最大功耗 7.5 W(Max)；c) 温度范围：-40~85 °C(TBC)带散热片；d) 2x2 MIMO 技术，理论速 867 Mbps，支持 802.11ac，并向下兼容 802.11 a/n；e) 支持动态频率选择(Dynamic Frequency Selection, DFS)，支持 802.11 d,e,h,i,k,r,v 时间戳和 w 标准。



Fig.3 Qualcomm IPQ806x wireless node
图3 高通 IPQ806x 无线节点方案

2.2 BATMAN-adv 协议的实现

软件部分基于开源 OpenWrt 系统。OpenWrt 可以被描述为一个嵌入式的 Linux 发行版(主流路由器固件有 dd-wrt,tomato,OpenWrt 三类)，而不是试图建立一个单一的、静态的系统。OpenWrt 的包管理集成了大规模网络部署的路由算法和协议，满足广域网中的各个节点 IP 群部署。其中 BATMAN-adv 协议是以模块的形式存在于 Linux 内核之中，需要手动添加该模块并进行编译^[11]，过程如下：

- a) 在 OpenWrt 源码根目录下，make menuconfig;
- b) 弹出图形化菜单，选择协议；
 - kernel modules →;
 - Network support →;
 - Kmod-BATMAN-adv;
- c) 在 OpenWrt 根目录进行编译；

Make V=s;

编译成功的 bin 文件通过 tftp 烧写到硬件节点后，通过 ssh 与电脑连接，如果在/etc/config 目录中能够找到 BATMAN-adv 文件，表示移植成功。

接下来要通过配置无线参数使协议生效。

命名一个无线接口 adhoc0，设置其运行在 5 180 MHz 的频段，频宽为 40 MHz。为 BATMAN-adv 增加 adhoc0 这个接口，用于构建 mesh 网络，命令如下：

```
batctl if add adhoc0;
root$ip link set up mtu 1532 dev adhoc0;
root$iw dev adhoc0 ibss join mesh-network 5180 HT40+;
root$batctl if add adhoc0;
```

下一步需要配置 network 脚本。添加 'batnet' 的接口，接口命名为 'adhoc0'。由于 BATMAN-adv 插入一个额

4 结论

本文实现了一种多接口多信道的 WMN 网络,在实际网络中,通过多信道的并发与正交使用,极大提高了 WMN 网络的负载能力和效率;通过应用 BATMAN-adv 协议的二层数据转发优势,多跳链路的衰减和干扰得以抑制,实现远距离、超高速的多跳 WMN 社区网络。通过实验室和外场测试的数据可以观察到,每跳吞吐量损耗降低到 10%,并且整跳链路在 5 跳后的损耗在 30%左右。

在未来大规模的智慧城市建设中,这样的 WMN 链路将有能力覆盖所有街道,提供接入服务,BATMAN-adv 协议恰逢其时,对于更多的网络节点较其他协议具有优势,而容灾的收敛性问题和安全鉴权都是值得深入研究的课题。

参考文献:

- [1] ALOTAIBI Eiman,MUKHERJEE Biswanath. A survey on routing algorithms for wireless Ad-Hoc and mesh networks[J]. Computer Networks, 2012,56(2):940-965.
- [2] MOHSEN Jahanshahi,ALIREZA Talebi Barmi. Multicast routing protocols in wireless mesh networks:a survey[J]. Computing, 2014,96(11):1029-1057.
- [3] XING Yihai,TENG Yinglei,DONG Muxin,et al. A dynamic programming solution for QoS routing in wireless ad hoc network with energy constraints[J]. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2012,19(2):33-37.
- [4] DAVID B J,DAVID A M,JOSH B. DSR:the dynamic source routing protocol for multi-hop wireless Ad hoc Networks[J]. Ad Hoc Networking, 2001(5):139-172.
- [5] 杨彬. MANET 网络中 OLSR 路由协议研究与改进[D]. 成都:电子科技大学, 2013. (YANG Bin. Research and improvement of OLSR protocol for MANET[D]. Chengdu,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2013.)
- [6] BEN Othman J,SAAVEDRA Benitez Y I. IBC-HWMP:a novel secure identity-based cryptography-based scheme for Hybrid Wireless Mesh Protocol for IEEE 802.11 s[J]. Concurrency and Computation:Practice and Experience, 2011,25(5):686-700.
- [7] 高健. 基于无线 Mesh 网的 B.A.T.M.A.N.路由协议的研究与优化[D]. 武汉:武汉理工大学, 2013. (GAO Jian. Study and optimization of B.A.T.M.A.N. routing protocol based on wireless mesh network[D]. Wuhan,China:Wuhan University of Technology, 2013.)
- [8] 楚广阳,张宇峰. 基于 Mesh 网络的视频图像多路径传输策略研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2015. (CHU Guangyang, ZHANG Yufeng. Transmission strategy of multi-path video image in mesh network[D]. Harbin,China:Harbin Institute of Technology, 2015.)
- [9] 吴限,余敬东. 多接口多信道无线多跳网路由技术研究及实现[D]. 成都:电子科技大学, 2017. (WU Xian,YU Jingdong. Research and implementation of routing technology in multi-interface multi-channel wireless multi-hop networks[D]. Chengdu, China:University of Electronic Science and Technology of China, 2017.)
- [10] 张维维. 无线 Mesh 网络路由与信道分配优化研究[D]. 吉林大学, 2018. (ZHANG Weiwei. Research on routing and channel allocation optimization in wireless mesh networks[D]. Changchun,China:Jilin University, 2018.)
- [11] 马新舒. 基于 Batman-adv 的自组网系统设计与实现[J]. 系统安全, 2019(5):80-81. (MA Xinshu. Design and implementation of self-organized network based on Batman-adv[J]. SYS Security, 2019(5):80-81.)
- [12] 夏旭光,姚红萍,刘朝阳. 大型平板微波天线伺服俯仰系统工程设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2019,17(2): 278-282,287. (XIA Xuguang,YAO Hongping,LIU Chaoyang. Engineering design on pitch system of large plate microwave antenna[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2019,17(2):278-282,287.)