

基于多模无线智能物联网的设计与实现

龚轩涛, 罗文佳

(西南财经大学天府学院, 四川 绵阳 621000)

摘要:随着物联网的快速发展,各种规范协议和技术的更新迭代,当前大多物联网 IOT 系统都是针对某一种特定的无线协议进行的配网和接入互联,很少有解决方案能自适应支持不同链路层之间的智能组网和互联互通。对此,提出一种通用、智能自适应的组网方案。该方案在 BLE 和 WIFI 等 IOT 物理层的基础上,自适应选择最优网络协议栈并部署建立网状网络,智能检测无线环境的状态,自动识别并快速建立 LLC 网络和 ad-hoc 网络并互联。设备制造商或者服务提供商采用这套方案能快速地使所提供的设备智能化,并快速接入物联网,大大缩短其产品的研发周期,并能保证其物联网设备和服务的稳定性和安全性。该自组网稳定性好,可扩展性高,与其他无线设备交互的兼容性强,且网络节点设备的信息安全可靠,同时支持两种独立的网络协议栈,各自建立在不同的物理链路层之上并能满足不同的应用场景。

关键词:6LoWPAN; route-over; mesh-under; Babel

中图分类号:TP393.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)05-0197-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.05.041

Design and Implementation of Multi-mode Wireless Intelligent Internet of Things

GONG Xuan-tao, LUO Wen-jia

(Tianfu College of Southwestern University of Finance and Economics, Mianyang 621000, China)

Abstract: With the rapid development of the Internet of things (IoT) and the updating and iteration of various standard protocols and technologies, most IoT systems at present are network distribution and access interconnection for a specific wireless protocol, and few solutions can adaptively support intelligent networking and interconnection between different link layers. Therefore, we provide a general, intelligent and adaptive networking scheme. Based on the IoT physical layer, such as BLE and WIFI, the scheme adaptively selects the optimal network protocol stack and deploys network to detect the state of the wireless environment intelligently and automatically identify and quickly establish the LLC network and ad-hoc network and interconnect. Equipment manufacturers or service providers can quickly make the provided equipment intelligent, and quickly access to the IoT, greatly shortening the research and development cycle of their products, ensuring the stability and security of their IoT equipment and services. The ad hoc network has great stability, high scalability, strong compatibility with other wireless devices, and the information security and reliability of the network node equipment is high. At the same time, it supports two independent network protocols, each of which is built on different physical link layers and can meet different application scenarios.

Key words: 6LoWPAN; route-over; mesh-under; Babel

0 引言

据统计,近年来每年有 100 亿的微控制芯片用于物联网领域,而伴随着工业领域以及普通消费领域对物联网设备和服务的庞大的市场需求,提供优质、可靠、稳定的互联解决方案和设备,将百万甚至千万量级的智能设备接入因特网并互联互通是目前亟待研究和解决的问题。在工业界和学术界,物联网协议标准也

是一个高度重视的议题。快速变革的移动网络技术以及微控制芯片、M2M 的快速演进,也加速了物联网技术的发展。目前国际移动芯片和设备制造商每年会投入大量资源用于 IOT 技术和产品的研究,在未来对 IOT 领域投入和研发会更多。

由于物联网的快速发展,不同标准的协议和技术也随之被不同标准委员会提出,其中包括 IEEE、IETF

收稿日期:2018-06-05

修回日期:2018-10-08

网络出版时间:2018-12-21

基金项目:四川省教育科研计划项目(16ZB0537)

作者简介:龚轩涛(1978-),女,讲师,硕士,研究方向为网络通信。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20181221.1524.028.html>

和 ITU。这些标准广泛涉及数据链路层、网络路由协议、会话层协议以及应用层协议的整个网络协议栈。这些标准都是为了满足 IOT 生态圈领域的特定需求,包括管理和安全等。针对不同的地域范围和低功耗,链路层协议的标准有 IEEE 802. 15. 4、IEEE802. 11^[1-4]、Bluetooth Low Energy^[5-7]、Zigbee Smart Energy^[8]等;针对无线设备的移动性和易失性,路由协议标准有 RPL、Babel、batman-adv、CORPL 等。针对能够较好地支持 IPV6 数据在低功耗和易失性高的 IOT 网络中传输,网络层封装协议有 6LoWPAN^[9-10]、6TiSCH、IPV6 over Bluetooth Low Energy 等。针对物联网应用的多样性和安全性,应用层协议有 MQTT、SMQTT、COAP、XMPP 等。

由于各种规范协议和技术的不断更新迭代,各设备厂商和芯片制造商以及云端服务提供商所提出的方案也不尽相同,大多是针对特定的无线模块和数据链路层所设计出的物联网组网方案,扩展性差且难以部署,移动性差,对物联网的云端服务和应用功能多样性的支持差,兼容性和安全性都不够健全。鉴于物联网设备和服务的各种需求和挑战,文中提出一种通用、高效的物联网智能组网系统。该方案在 BLE 和 WIFI 等 IOT 物理层的基础上,自适应选择最优网络协议栈并部署建立网状网络,设备可靠性高,自组网的可扩展性高,与其他无线设备交互的兼容性强,并能支持不同物联网的应用场景,包括智能电表、消费者穿戴设备、家庭安全报警、工厂视频监控、地质科研、能源管理、灾难预测等,并保证了网络服务的安全性。

1 技术架构

1.1 解决方案总框架

在目前的物联网生态中,存在多种链路层和网络层的标准,以及 IOT 在各领域的应用需求,包括低功耗的数据监测和吞吐较大的远程流媒体监控。文中提出一种通用、智能的自适应组网方案,能智能检测无线环境的状态,自动识别并快速建立 LLC 网络和 ad-hoc 网络并互联,设备制造商或服务提供商采用这套方案能快速地使所提供的设备智能化,并快速接入物联网,大大缩短其产品的研发周期,并保证其物联网设备和服务的稳定性和安全性。该方案同时支持两种独立的网络协议栈,各自建立在不同的物理链路层之上并能满足不同的应用场景,总框架如图 1 所示。

在低功耗、易失的无线自组网络中,普遍采用基于低频 MCU 的 sensor、actuator 作为输入输出设备,这些设备物体层普遍基于 BLE、Zigbee、Z-Wave^[11]等低功耗的无线模块,因此该物联网方案为其提供一种基于 6LoWPAN 的网络协议栈来支持 LLN 网络。其中 RPL

主要是基于 LLN 网络的路由算法,保证设备节点能将数据接入因特网,6LoWPAN 主要是为了使能 IPV6 的数据包在 LLN 等短传输包长的物理层中进行传输,从而进行 IPV6 包头的压缩和封装。例如,IPV6 最大帧长为 1 280 bytes,而 IEEE802. 15. 4 的最大帧长为 270 bytes,BLE 的帧长可能更小。

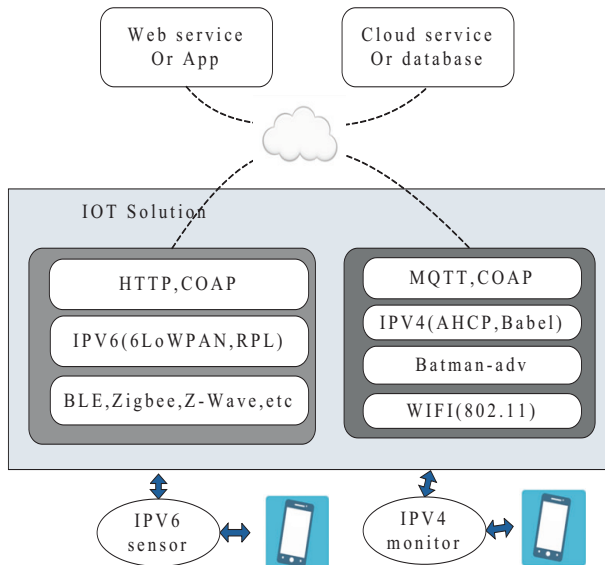


图 1 解决方案总框架

在传输距离远、吞吐较高的无线自组网中,这些网络的设备节点大多采用 IEEE802. 11 等无线模块,这类 ad-hoc 覆盖面较广、稳定性较高、吞吐率较大,能满足远程监控流媒体等服务需求。该物联网方案同时提供一种基于 IEEE802. 11 的网络协议栈来支持 WiFi ad-hoc^[12-16]网络。其中 AHCP 为 ad-hoc 网络配置管理,解决 mesh 网络节点中的 IP 管理和分配问题,Babel 工作在 lay3 层并能提供一种避免死锁的基于距离矢量的路由算法,Batman-adv 工作在 lay2 层且是一种基于距离矢量的路由算法,对上层协议和应用透明。该方案从数据链路层引入 AES 加密协议,从数据传输层引入 TLS、TDLS,保证了数据交互的安全保密性。

1.2 网络协议栈分层结构图

该物联网解决方案能自适应同时支持不同链路层之间的智能组网和互联互通,分别集成了两种独立的网络协议栈。

该 IOT 平台在系统启动之后,会启动两个完全独立的协议栈,来满足不同类应用场景和服务需求,并加快 LLN 和 ad-hoc 网络的建立。WIFI 无线模块会搜索所处环境的无线信号并根据 IBSS 协议组建 WIFI ad-hoc 网络,AHCP 收到网络接口建立成功的消息之后,快速分配网络 IP 资源,保证 mesh 网络节点中 IP 地址的唯一性并在 lay3 层用来标识设备,Babel 会通过 WIFI 无线模块来交互 HELLO、IHU、Update 消息并基于 Bellman-ford 最短路径算法生成路由表信息,为

后续更高效稳定地收发 UDP/TCP 包做准备。BLE 无线模块的启动建立类似于 WIFI 模块,从数据链路层的建立生成 LLN 网络,IPV6 地址由 MAC 地址的全球唯一性而自动配置生成,无需 AHCP 等协议标准参与,RPL 专门是针对无线设备的移动性和易失性而制定的一种网络路由协议,但系统无数据可传输时,模块能快速进入休眠模式节省功耗,当需要数据收发时,模块能快速唤醒并进行数据处理。两个无线模块分别形成独立的无线自组网并互联互通,自适应配置会根据周边环境噪声选择一种更稳定的数据传输方式接入因特网。

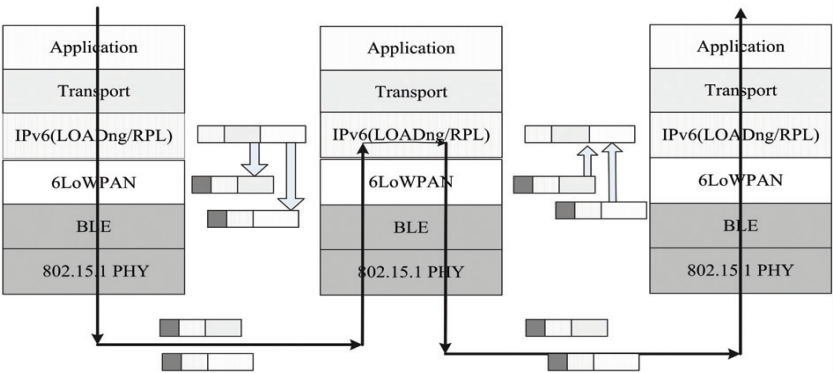


图 2 基于 LLN 网络路由算法

基于 WIFI ad-hoc 网络路由方式有 router-over 和 mesh-under, 分别对应该物联网方案层 3 的 Babel 和层 2 的 batman-adv。该 IOT 平台针对 WIFI ad-hoc 整合了两种路由算法,设备制造商和物联网服务商可根据具体应用需求和场景选择更合适的方式,这给上层应用和服务提供了灵活的功能选择和场景适应范围。batman-adv 参考图 3。UDP/TCP 数据包由层 2 决定目标机的下一跳 HOP 的 MAC 地址,数据链路层并不需要把数据交给层 3 网络层进行决策-是否需要自行处理还是查找 IP 路由表并选择下一跳 HOP,由于避免交给层 3 网络层决策,所以传输效率更高,但是稳定性欠缺。

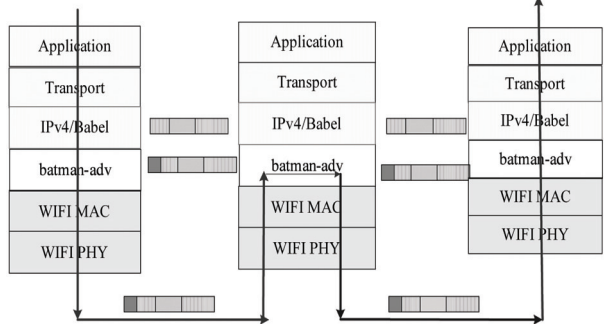


图 3 基于 WIFI ad-hoc 网络的 mesh-under 路由算法

Babel 参考图 4。UDP/TCP 数据包经过每一个网络节点,数据链路层数据都会交给层 3 网络层进行决策-是否需要自行处理还是查找 IP 路由表并选择下一

2 路由机制

基于 LLN 网络的 6LoWPAN 系统的网络路由方式是 lay3 的路由表转发机制。6LoWPAN 介于 OSI 网络模型中的层 3 和层 2 之间,属于适配封装层,主要是为了压缩、分段和重组 IPV6 数据包。LLN 网络的数据转发方式参考图 2。

数据包经过每一 HOP 的时候,6LoWPAN 都会将 MAC 上传的数据包再次重组合成完整的 IPV6 包交付给层 3,层 3 会根据 IPV6 数据包的目标地址,选择是需要交给上层应用处理还是再次查找目标 IP 的下一跳 HOP 进行转发。

跳 HOP,由于源设备和目标设备中间的任意一个节点的层 3 网络层都会参与数据的转发,所以稳定性更高,但是传输效率上要低于层 2。

在 WIFI ad-hoc 网络环境良好的情况下,选择 mesh-under 路由效果会优于 route-over,在 WIFI ad-hoc 网络环境存在较多噪声的情况下,选择 route-over 路由效果会优于 mesh-under。该方案会统计过去某一时间段的消息投递成功率和空口环境的优劣程度,自适应切换至更优的路由方式来保证消息传输的可靠性和系统响应的稳定性。

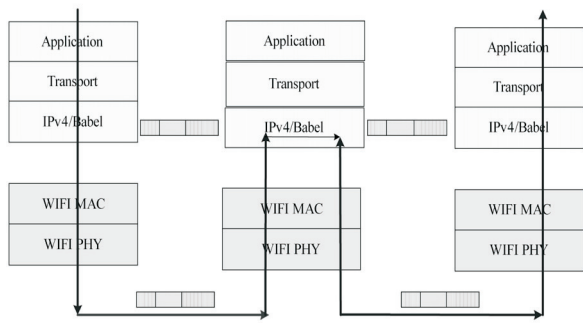


图 4 基于 WIFI ad-hoc 网络的 route-over 路由算法

3 路由算法性能分析

该系统在同等通道噪声环境下进行 route-over 和 mesh-under 路由算法的性能实验对比,实验基本参数如表 1 所示。

表 1 实验基本参数

| 项目 | 参数 |
|-----------------|-------------|
| IP 层数据包长度 | 1 500 bytes |
| MAC 层 MTU 长度 | 100 bytes |
| mesh 节点总数 | 3,6,9 |
| Hop 级数 | 1-9 级跳跃 |
| fragment 个数 | 15 个 |
| route-over 路由算法 | Babel |
| mesh-under 路由算法 | batman-adv |

按照 MAC 层 MTU 长度的大小,IP 层的封报经过 Layer2 层分割成 15 个分片包,网状网络的无线自组网的节点个数分别为 3~9 个,实验得出不同 HOP 跳跃级数下的 IP 封包发送成功率,如图 5 所示。

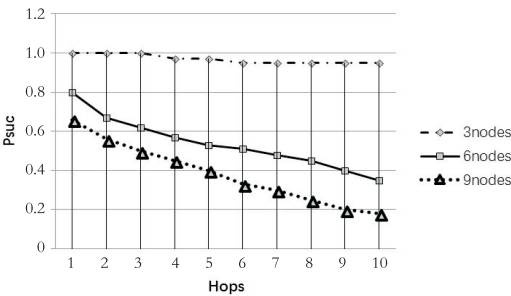


图 5 batman-adv 路由算法的 IP 报文发包成功率

通过分析结果可知,当 mesh 网络中的节点个数逐渐增多,两种路由算法的 IP 报文传输成功率都明显降低,这是因为信道的竞争点更多,信道的噪声比较大,降低了单个节点抢占信道的成功率。另外,当通信路径中 Hop 级数逐渐增多,batman-adv 的 IP 报文传输成功率也随之下降,对比 Babel,虽然网络信道竞争冲突加重同样使得 IP 报文的传输成功率下降,但是通信路径中 Hop 级数逐渐增多并没有对 IP 报文的传输成功率影响过多。这主要是因为路由中的每一个跳跃点都会重新组包并交还给 IP 层进行下次路由选择,每一级 Hop 的封包概率又恢复到 1,因此 route-over 路由算法比 mesh-under 路由算法更稳定、鲁棒性更高,但缺点是路由中的每一级 Hop 点都必须支持到完整的 Lay3IP 协议栈,而且每一个分片包都需要进行 IP 报文的组包、路由、拆包的运算,增加了跳跃点的 CPU MIPS、内存资源需求、电流功耗等。因此,route-over 路由算法对物联网中设备的硬件配置和电源的使用寿命有一定的要求。

4 结束语

提出一种通用、智能自适应的无线模块组网方案。该方案在 BLE 和 WIFI 等 IOT 物理层基础上,自适应选择最优网络协议栈并部署建立网状网络,该自组网稳定性好,设备可靠性高,可扩展性高,与其他无线设备交互的兼容性强。该方案能智能检测无线环境的状

态,自动识别并快速建立 LLC 网络和 ad-hoc 网络并互联,支持不同物联网的应用场景,并保证了网络服务的安全性。设备制造商或者服务提供商采用这套方案能快速地使所提供的设备智能化,并快速接入物联网,大大缩短其产品的研发周期,并能保证其物联网设备和服务的稳定性和安全性。

参考文献:

[1] 李 浩,高泽华,高 峰,等. IEEE802. 11 无线局域网标准研究[J]. 计算机应用研究,2009,26(5):1616-1620.

[2] 韩旭东,曹建海,张春业. IEEE802. 11g 协议关键技术与性能分析[J]. 山东通信技术,2003,23(3):25-28.

[3] 茅周佳,洪佩琳,卢汉成. 一种参数动态可调的自适应 WLAN 间切换算法[J]. 小型微型计算机系统,2008,29(5):919-923.

[4] 李 鹏,张春业,韩旭东. 最新 WLAN 协议 IEEE802. 11g 物理层性能分析[J]. 重庆邮电学院学报:自然科学版,2004,16(6):97-100.

[5] 曾胡涛,黄 晔,白玉军. 基于 BLE Mesh 组网应用系统设计[J]. 传感器与微系统,2017,36(12):64-67.

[6] GALININA O,MIKHAYLOV K,ANDREEV S,et al. Smart home gateway system over bluetooth low energy with wireless energy transfer capability [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking,2015,2015:178.

[7] 徐春燕,肖扬文,蔡 敏. BLE Mesh 网络协议综述[J]. 电子技术应用,2017,43(4):29-31.

[8] 符凌峰,赵春宇,黄震宇,等. 基于 ZigBee 技术的连栋温室低功耗环境监测系统设计[J]. 传感器与微系统,2016,35(8):74-76.

[9] 王义君,钱志鸿,王 雪,等. 基于 6LoWPAN 的物联网寻址策略研究[J]. 电子与信息学报,2012,34(4):763-769.

[10] 霍宏伟,张宏科,郜 帅,等. 一种 IPv6 无线传感器网络节点的设计与实现[J]. 计算机应用,2006,26(2):303-306.

[11] 丁 飞,张西良. Z-Wave 无线家庭网络技术[J]. 电视技术,2005(11):70-72.

[12] 滕 劲,徐昌庆. WiFi 中多 AP 间快速切换的研究与实现[J]. 通信技术,2009,42(11):121-123.

[13] 黄浩军,尹 浩,陈和平,等. 无线 Ad Hoc 网络能量感知地理路由协议研究进展[J]. 软件学报,2014,25(5):1061-1084.

[14] 王国栋,王 钢. 有损链路环境下移动 Ad Hoc 网中一种具有能量效率和负载均衡的地理路由算法(英文)[J]. Chinese Journal of Aeronautics,2010,23(3):334-340.

[15] ZHANG Chi, SONG Yang, FANG Yuguang, et al. On the price of security in large-scale wireless ad hoc networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking,2011,19(2):319-332.

[16] ALOTAIBI E,MUKHERJEE B. A survey on routing algorithms for wireless ad-hoc and mesh networks[J]. Computer Networks,2011,56(2):940-965.