



家庭 Wi-Fi mesh 组网技术

徐龙杰, 郭宁, 郭涛, 韩建亭

(中国电信股份有限公司上海研究院, 上海 200122)

摘要: Wi-Fi mesh 是一种适用于大面积或复杂户型的 Wi-Fi 自组网解决方案, 为用户提供全覆盖、自切换、易安装的优质无线网络。Wi-Fi mesh 具备自组网、自管理、自修复和自平衡等诸多优点, 但现有 Wi-Fi mesh 产品实现方案存在标准不统一、实现复杂、终端能力要求高、无法互通的问题。首先讨论了现有家庭网络中多热点 AP 协同工作的实现情况, 接着对当前 Wi-Fi mesh 主流技术进行了分析, 重点探讨了家庭 Wi-Fi mesh 的技术方案 and 对比。进而面向家庭应用场景, 为运营商提出了一种模块化、易实现、终端能力需求低且互通性好的 Wi-Fi mesh 技术实现方案。

关键词: Wi-Fi; mesh; 自组网; 家庭网络

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018282

Home Wi-Fi mesh networking technology

XU Longjie, GUO Ning, GUO Tao, HAN Jianting

Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China

Abstract: Wi-Fi mesh is a kind of suitable for large or complex home wireless self-organizing network solution. It can provide users with full coverage, self-handoff and easy installation of high-quality wireless network. Wi-Fi mesh has many advantages, such as self-organizing, self-management, self-repair and self-balance. But the existing Wi-Fi mesh product implementation scheme is not uniform, complex, high terminal capability requirement and unable to interoperate. The realization of multi AP collaborative work in home network was firstly discussed, then the main current technology development of Wi-Fi mesh was analyzed, and the technical scheme and comparative analysis of home Wi-Fi mesh was focused on. Then, aiming at home application scenario, a Wi-Fi mesh technology implementation scheme for operators was presented, which was modularized, easy to realize, with low terminal capability requirement and good interoperability.

Key words: Wi-Fi, mesh, self-organizing network, home network

1 引言

随着家庭智能终端数量的不断增加, 家庭无

线网络质量的要求不断提高, 家庭 Wi-Fi 无线接入网络也逐渐从单个接入点 (access point, AP) 向多 AP 协同工作的模式转变, 而家庭中多个 AP

间协同工作的能力是决定家庭无线网络质量的关键因素,业内当前的解决办法主要有无线中继和 Wi-Fi mesh 网络两种。

- 无线中继:也称无线扩展器(repeater),通过标准的 Wi-Fi 自动配网协议 WPS 配对或用户手工配置的方式,实现主/从 AP 节点连接通信。
- Wi-Fi mesh:是一套系统且功能强大的多 AP 间自组网的实现方案,该方案中多个节点间通过专用的通信协议实现。

无线中继是一种简单的无线扩展实现方式,多节点间的协同能力有限,无任何无线网络质量保障的措施,当主 AP 的无线配置信息变更后,其下联中继器(AP)都需重新配置一遍,用户体验差;该方式只能算作解决家庭无线网络信号从无到有的一种应急解决办法,作为高质量宽带服务提供者的运营商不会选择该方案,故无线中继不是本文关注的重点;Wi-Fi mesh 是一种适用于大面积或较复杂户型的家庭 Wi-Fi 组网方案,它是一套系统、完整、高质量的多 AP 协同工作实现方案,但目前业界已推出的 Wi-Fi mesh 产品都是各个终端或芯片厂商的私有协议,存在标准不统一、兼容性差、不能互通的问题,因此迫切地需要一种适用于家庭网络的通用 Wi-Fi mesh 解决方案。

2 Wi-Fi mesh 技术分析

目前面向家庭推出的 Wi-Fi mesh 产品实现技术,主要是采用 IEEE 802.11S、WDS 和 multi-AP

(简称 MAP^[1]) 3 种技术实现标准,实现家庭多 AP 间的协同工作的需要。

2.1 IEEE 802.11S

IEEE 802.11S Wi-Fi 自组网协议标准较为完整,2006 年被提交至 IEEE,2011 年被正式纳入标准体系。它适用于多给路由分布式 Wi-Fi 组网场景,比较适合于企业网、校园网等比较大型的覆盖场景;还具有跨厂商兼容互通、长期演进、功能完备、家庭内部局域网数据转发去中心化的优势,其实现的 MAC 帧格式如图 1 所示。

由图 1 可知,IEEE 802.11S 是通过扩展 IEEE 802.11 MAC 层实现的六地址数据交换,在 Wi-Fi MAC 层实现路由,实现比较复杂,对终端能力要求高,开发和维护的成本比较高,普通家庭无线 AP 终端性能无法保障,故产业链高通、博通、MTK 等大的芯片厂商对 IEEE 802.11S 支持力度不大,目前采用 IEEE 802.11S 的 Wi-Fi mesh 的产品并不多,近期在国际的标准组织中也未看到关于 IEEE 802.11S 技术标准演进推动的新进展。

2.2 WDS

无线分布式系统(wireless distribution system, WDS)是无线连接两个接入点的协议。WDS 最初在无线应用领域中,是无线基站与无线基站之间进行联系通信的系统。IEEE 802.11 协议定义的 Wi-Fi MAC 层数据帧结构中有预留 4 个地址域,基于 WDS 的 mesh 链路采用四地址或三地址与 802.11 保持一致,即当 ToDS 和 FromDS 为 1 时,采用四地址格式;当 ToDS 为 0,FromDS 为 1 时,采用三地址格式,如图 2 所示。

8 byte

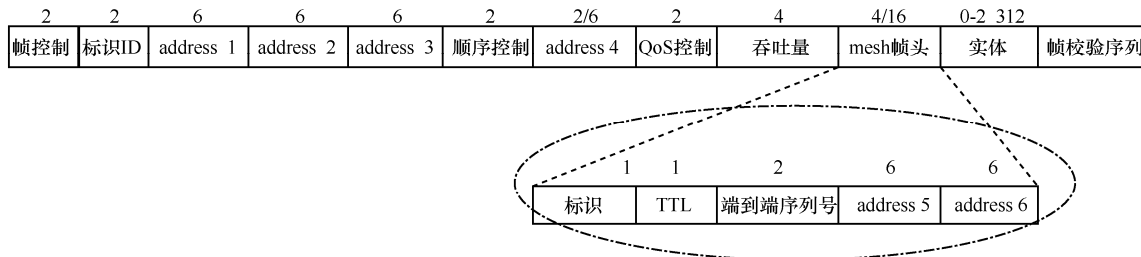


图1 IEEE 802.11S MAC 帧格式



由图 2 可知, toDS 和 fromDS 为 1 时, WDS MAC 帧携带的是四地址 (addr 1~addr 4) 的信息。

基于 WDS 的实现方案特性, 决定了基于 WDS 的 Wi-Fi mesh 产品实现容易, 终端能力要求低, 故随着无线应用家庭化的普及, WDS 已经快速被应用到家用无线 AP 产品上, 并被用户所接受, 当前市场上主流的 Wi-Fi mesh 产品大都是基于该标准。

但因三地址格式只支持 AP 和 station 之间传输数据, 在 AP 和 AP 之间下行数据目的地址会丢失导致无法传输到目的 STA。只能依赖于 IP 路由, 但是非 IP 的数据分组依旧无法传输。故只能采用 WDS 四地址格式传输, 数据帧只与 MAC 层相关, 数据不需要上 IP 层处理, 效率高, 但是 WDS 只规定了数据格式, 并未规定 AP 和 AP 之间如何建

立连接和交换密钥, 各厂商的实现方式各不一样。故基于 WDS 的 Wi-Fi mesh 协议同样存在互通性和标准不完全统一的问题, 仍需优化解决。2017 年 Wi-Fi 联盟 (WFA) 成立了一个基于 WDS 模式的 MAP 技术讨论组, 重点研究该问题, 从而产生了 MAP 标准协议。

2.3 MAP

MAP 重点解决基于 WDS 协议不同厂商 Wi-Fi mesh 产品间的互通性的问题, WFA 在 2018 年发布了用于家庭网络自组网的 MAP 标准协议, 并且作为 WAF easy mesh 的互通性认证标准。MAP Wi-Fi mesh 实现方案的 MAC 帧格式, 如图 3 所示。

由图 3 可知, MAP 是在 WDS 四地址基础上的应用, 其 MAC 层也是四地址格式, 并采用 IEEE

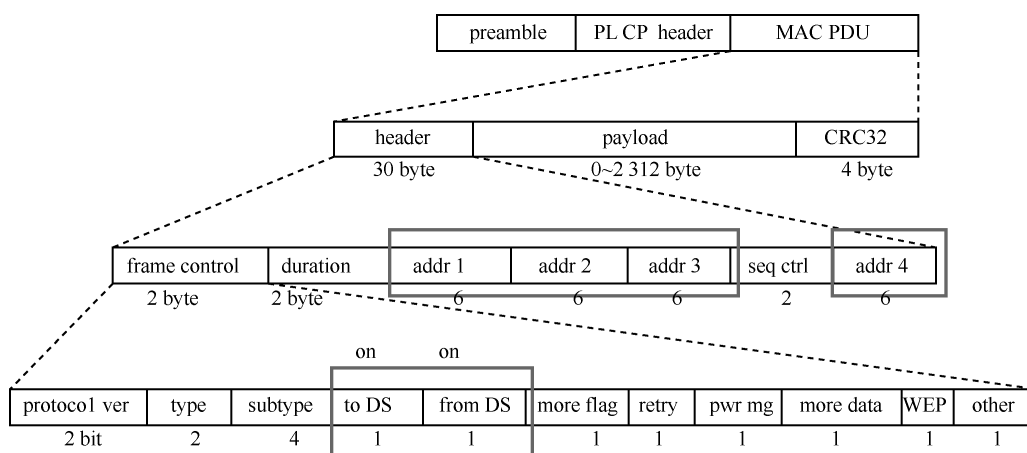


图 2 WDS MAC 帧格式图

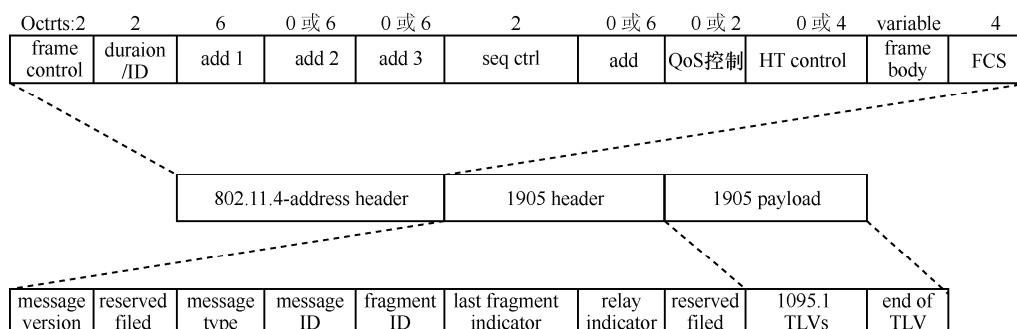


图 3 MAP 协议 MAC 帧格式

1905.1^[2]协议实现 mesh 网络中各个节点间的信息互通。

(1) MAP 协议组网后也会涉及 AP 之间的数据传输, 并且 MAP 采用的数据为 IEEE 1905.1 数据, 非 IP 数据, 故只能采用四地址进行传输。其数据格式和 WDS 四地址数据格式完全一致。

(2) MAP 额外规定了 AP 和 AP 之间如何建立连接和交换密钥, 其规定采用 AP 的 station 接口和上行 AP 的回传 BSS 连接, 连接成功后如果两个设备都支持 MAP, 则后续的数据传输采用四地址格式传输, 从而解决了兼容性的问题。

2.4 方案比较

Wi-Fi mesh 实现技术方案比较见表 1。

由表 1 可知: 基于 IEEE 802.11S 的 Wi-Fi 自组网协议标准较为完整, 具有跨厂商兼容互通、数据转发去中心化的优势, 适用于大面积多路由的分布式 Wi-Fi 组网场景, 但它采用六地址方式, 实现复杂, 硬件能力要求高, 开发和维护成本高, 产业链厂商的支持力度小, 且技术标准的演进缓慢; WDS 主要是无线连接两个接入点 (AP) 的协议, 采用三/四地址方式, 实现简单, 硬件能力

需求低, 但 WDS 协议只定义了数据格式, 节点间如何连接, 密钥如何交换等没有定义, 终端厂商只能在 WDS 的基础上改造自己的私有组网协议, 互通性存在问题; MAP 协议是由 WFA 提出基于四地址 WDS 协议的通用 Wi-Fi mesh 实现方案, 其实现简单, 终端能力要求适中互通性好, 产业链的支持力度大, 更适用于家庭网络应用场景。

3 基于 MAP 的 Wi-Fi mesh 实现方案

Wi-Fi 联盟推出的 MAP 实现方案解决了基于 WDS 方案产品互通性的问题, 也是采用四地址^[3]的实现方案与 IEEE 802.11 Wi-Fi 的四地址保持一致, 实现简单, 通用性又好, 故该方案很快获得了产业链各大芯片及终端厂商的支持, 并在 Wi-Fi 联盟内很快完成主流 Wi-Fi 芯片厂商间设备的互通性测试。MAP 方案定义了设备间的通信协议和标准, 解决了 Wi-Fi mesh 网络中 AP 间的互通性问题, 但 MAP 并未定义设备底层 MAC 层与上层应用层的接口, 该部分都是各厂商自己实现。运营商为其宽带用户提供的智能组网业务, 除了需要实现不同

表 1 Wi-Fi mesh 实现技术方案比较

对比项	技术方案			
	IEEE 802.11S	WDS	MAP	备注
标准组织	IEEE	IEEE	WFA——Wi-Fi 联盟	
发布时间	2011 年		2018 年	
认证测试	无	无	有	MAP 认证测试是 Easy Mesh
设备互通性	差	稍差	好	高通、博通、MTK、Marvell 都支持 MAP
回传方式	Wi-Fi only	Wi-Fi	Wi-Fi/以太网/电力线/同轴	
适用场景	大型楼宇	家庭、小型企业	家庭	
硬件能力需求	六地址分组头, 需要额外的 CPU 运算能力和内存	三/四地址, 主流 Wi-Fi 芯片都能处理	四地址 WDS, 家用路由器 Wi-Fi 芯片都能处理	
高级特性	仅连接	仅连接, 其他功能厂商自定义	智能连接、频段引导、漫游、云端管理	
路标规划	无	无	持续演进中	IEEE 802.11S 停留在 2011 年的版本



厂商 Wi-Fi mesh 设备间的互通外, 还需要统一各厂商的 Wi-Fi mesh 能力 (自组网、新节点加入的操作方法和流程等)、统一 App 或本地 Web 页面的管理控制、统一云平台的接入管理, 因此, 运营商提供的 Wi-Fi mesh 产品只完成底层设备间互通的标准协议是不够的, 还需要统一组网终端 MAC 层与应用层部分的接口, 因此, 本文提出了基于 MAP 的通用 Wi-Fi mesh 实现

方案。

3.1 软件架构

基于 MAP 的通用 Wi-Fi mesh 实现方案软件实现架构, 如图 4 所示。

由图 4 可知, 基于 MAP 的 Wi-Fi mesh 软件实现架构, 从底到上可分成: Wi-Fi 驱动层、MAC 层和应用层, 具体如下。

Wi-Fi 驱动层: 是 Wi-Fi 模块基本能力层, 主

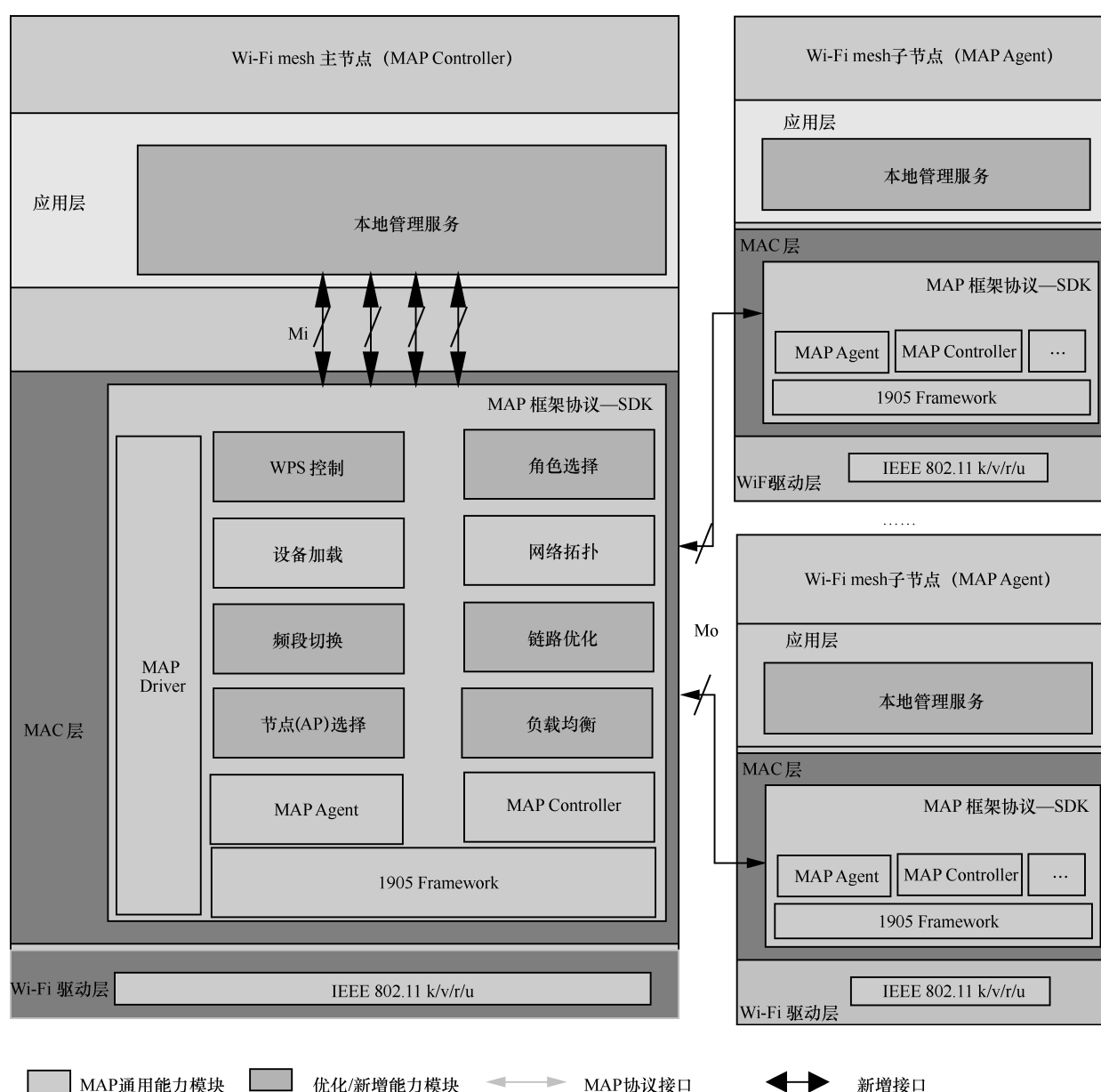


图 4 基于 MAP 的通用 Wi-Fi mesh 软件技术架构图

要是指 IEEE 所定义的标准 IEEE 802.11k、IEEE 802.11v、IEEE 802.11r、IEEE 802.11u 等能力。

MAC 层：主要是指基于 MAP 框架协议的 mesh 能力实现层，主要包括：MAP 驱动适配器、1905 Framework 框架协议和网络节点的设备加载、身份识别、角色定义、节点选择、频段切换、负载均衡等 mesh 特性的能力实现模块。

应用层：是 mesh 网络节点的上层应用层，主要包括本地管理服务（local manager service）实现模块等。

3.2 协议标准

基于 MAP 的 Wi-Fi mesh 通用实现方案，家庭网络节点的 Wi-Fi mesh 能力实现集中在 MAC 层，采用通用的 MAP 标准协议实现。

3.3 节点角色

基于 MAP 的通用 Wi-Fi mesh 实现技术方案，节点的角色包括 Wi-Fi mesh 主节点 MAP 控制器（Controller）和 Wi-Fi mesh 子节点 MAP 代理（Agent）两类，与 MAP 标准协议定义的一致。

3.4 网络拓扑

为了提升家庭 Wi-Fi mesh 网络的工作效率，降低对 Wi-Fi mesh 终端处理能力的要求，本方案继续采用 MAP 标准定义的树状或链状的网络结构。

3.5 Wi-Fi mesh 能力

针对 MAP 标准协议没有明确或定义的 WPS 控制、角色选择、频段切换、节点（AP）选择、链路优化^[4]和负载均衡等功能模块部分，本方案统一明确和定义具体的规则和处理机制，使得运营商所采购的产品不仅能够实现互通，还能够做到统一的处理规则 and 用户体验。

3.6 实现接口

Wi-Fi mesh 网络中各设备间的外部通信接口采用 MAP 的标准定义的节点间的外部（Mo）接口（详见图 4）；Wi-Fi mesh 网络节点终端 mesh

能力与本地应用服务之间的内部（Mi）接口（详见图 4），如：终端角节点角色的设置、网络拓扑查看接口等，MAP 协议中没有定义，需要新增。该类接口的定义示例，见表 2 和表 3。

表 2 Wi-Fi mesh 终端角色设置接口

角色	说明
函数原型	int mesh_ap_role_select (int role)
函数说明	设定 MAP 设备角色的身份：Controller、Agent 或终端自动选择
参数说明	0：自动选择，1：Controller，2：Agent
返回值	0：成功，非 0：失败

表 3 Wi-Fi mesh 网络拓扑结构查询接口

角色	说明
函数原型	int mesh_network_topology_query (char* almac)
函数说明	该函数用于查询网络拓扑结构
参数说明	* @almac: MAP 设备的 ALID
返回值	0：成功，-1：失败

4 结束语

本文提出的基于 MAP 的 Wi-Fi mesh 实现方案，Wi-Fi mesh 网络节点间的通信采用通用 MAP 的通信协议，解决了不同厂商 Wi-Fi mesh 终端的互通和兼容性问题；基于 MAC 层的四地址 WDS 实现方式，实现简单，对终端的处理能力需求适中，当前主流家用吉比特双频路由器（AP）的 Wi-Fi 芯片都能满足，容易得到芯片及终端厂商的积极响应；基于 MAP 的 Wi-Fi mesh 实现方案的 mesh 能力实现在 MAC 层，其与外部设备间的通信接口协议和与本地的终端管理服务系统的接口都已定义，易于模块化，便于运营商或芯片厂商统一提供该部分的通用能力实现模块，大大降低终端厂商的开发工作量和成本。因此，基于 MAP 的 Wi-Fi mesh 实现方案，是为运营商提供的一套面向家庭 Wi-Fi mesh 网络的理想解决方案。



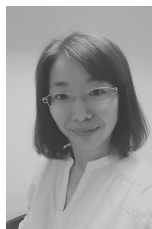
参考文献:

- [1] Wi-Fi Alliance. Multi-AP specification v1.0[S]. 2018.
- [2] IEEE. IEEE standard for a convergent digital home network for heterogeneous technologies: IEEE 1905.1[S]. 2013.
- [3] IEEE. IEEE standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: IEEE 802.11[S]. 2016.
- [4] 乐光学, 宋昊, 熊小峰, 等. 基于多目标的 MIMO 无线 mesh 网络信道优化策略[J]. 电信科学, 2016, 32(11): 16-25.
LE G X, SONG H, XIONG X F, et al. Channel optimization scheme for MIMO wireless mesh network based on multi-objective[J]. Telecommunications Science, 2016, 32 (11): 16-25.

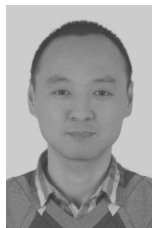
[作者简介]



徐龙杰（1978-），男，中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师，主要从事智慧家庭、无线通信技术及固定移动网络融合方面的研究工作。



郭宁（1977-），女，中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师，主要从事智慧家庭、终端及固定移动网络融合方面的研究工作。



郭涛（1978-），男，中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师，主要研究方向为家庭网络、智能终端和开放平台等。

韩建亭（1967-），男，中国电信股份有限公司上海研究院教授级高级工程师，主要从事家庭网络、智慧家庭、固网移动融合、移动互联网融合通信等领域的技术研究和产品开发方面的工作。