

面向智家场景的5G固移融合 架构和连接技术研究与实践

Research and Practice on 5G Fixed-Mobile Convergence
Architecture and Connectivity Technology for Smart Home Scenario

彭 健(中国联通广东分公司,广东 广州 510627)
Peng Jian(China Unicom Guangdong Branch,Guangzhou 510627,China)

摘 要:

针对智能手机远程访问控制智能家居设备存在的时延高、隐私泄露及场景受限等问题,提出一种基于5G核心网的固移融合连接技术方案。通过引入数字身份ID实现无SIM卡家庭网关安全接入5G核心网,并结合5G LAN技术与5G专网智能分流技术构建起广域虚拟局域网,同时采用IPSec+VxLAN双隧道架构优化传输效率。该方案在某省联通实验室完成了试点验证,结果表明该技术能有效突破网络边界限制,为智能家居应用提供安全、低时延、广覆盖的远程连接解决方案,具备规模化商用推广价值。

关键词:

5G;5G固移融合;智能家居;数字身份ID;5G LAN
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.07.011
文章编号:1007-3043(2026)07-0061-07
中图分类号:TN915
文献标识码:A
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Aiming at the problems of high latency, privacy leakage, and limited application scenarios of smart home devices accessed remotely by smart phones, a fixed-mobile converged connection solution based on 5G core network is proposed. By introducing digital identity ID to ensure secure access to 5G core network for SIM card-less home gateway, and combining 5G LAN with 5G private network intelligent triage technology, a wide-area virtual local area network is built, and IPSec+VxLAN dual-tunnel architecture is adopted to optimize transmission efficiency. The solution has been validated in a lab of China Unicom. The results show that this solution can effectively break through the network boundary limitations and provide a secure, low-latency, wide-coverage remote connectivity solution for smart home applications, which is valuable for commercialization and promotion on a large scale.

Keywords:

5G;5G fixed-mobile convergence;Smart home;Digital identity ID;5G LAN

引用格式:彭健. 面向智家场景的5G固移融合架构和连接技术研究与实践[J]. 邮电设计技术,2026(7):61-67.

1 概述

随着科技的进步和人们生活水平的提高,智能家居产品逐渐走进大众家庭,提高了家居生活的便捷性和舒适性。近年来,全球智能家居市场保持着快速增长,根据市场研究与咨询机构 Grand View Research 的

数据,其2023年的市场规模已达1 310亿美元,2030年预计将达到3 420亿美元,复合年均增长率(Compound Annual Growth Rate, CAGR)达12.3%。从智能家居设备出货量看,IDC预测2025年全球智能家居设备出货量将达14亿台,其中,智能手机处于智能家居设备控制的主导地位,使用智能手机作为控制入口的智能家居设备的占比维持在68%~72%。如何通过智能手机安全、高效地远程访问这些智能家居设备,逐渐成为

收稿日期:2026-06-05

人们高度关注的问题。从技术角度看,5G网络切片、边缘计算等能力为智能手机远程连接控制智能家居设备提供了新路径,然而,现有3GPP标准对无SIM终端接入的支持不足,导致家庭网关(家庭光猫,FTTR网关)与移动终端难以实现运营商级的端到端直连。本研究通过对5GC架构进行扩展,对这一技术空白进行了研究和探索,并取得了一定的成果。

2 目前主流的远程访问技术与存在问题

当前用户通过智能手机APP远程访问和操作智能家居设备的连接技术可归纳为云端中继技术、P2P直连技术、局域网直连技术、VPN隧道技术、短距无线直连等几类,其技术原理、适用场景和存在问题如表1所示^[1]。

表1 目前的远程访问技术分析

远程访问技术	技术原理	适用场景	存在问题
云端中继	手机与设备通过厂商云服务器中转指令与数据流进行通信	a) 跨网络访问(如在公网远程控制家庭内设备) b) 低实时性操作	时延高、云服务宕机风险;隐私数据泄露风险
P2P直连	基于NAT穿透技术(STUN/TURN/ICE协议)建立手机与设备的点对点连接直接通信	a) 高实时性需求 b) 大文件传输	NAT穿透成功率低
局域网直连	手机与设备处于同一局域网时,通过本地IP直接通信	a) 家庭内设备快速控制 b) 低延迟媒体数据流	适用场景有局限性
VPN隧道	通过VPN技术将手机接入家庭局域网	a) 企业级远程办公 b) 敏感数据操作	配置复杂、连接速率低
短距无线直连	手机与设备基于蓝牙等技术,实现短距离直接通信	a) 近场设备配对 b) 低功耗传感器网络	传输距离短;部分需网关中转

总体来说,现有技术存在适用场景有限、隐私数据暴露、业务体验差等问题。面对智能手机与智能家居设备互访的强烈需求和现有技术的缺陷,作为手机和智能家居设备的网络提供者,电信运营商有必要研究一种更优化的连接方案,解决现有技术的问题,实现移动网络下智能手机和家庭宽带内的智能家居设备的优化连接。

3 基于5G网络实现的固移设备直连互访技术研究和实践

3.1 总体方案

从扩展适用场景、提高业务体验和数据安全等方

面出发,为用户提供一种让智能手机在广域范围内简便、高速、安全的直接连接至家庭内网,进而对智能家居设备进行管控的创新连接技术具有重要意义。因此,本研究基于3GPP提出的固移融合架构,进行了大胆的架构拓展和技术创新,将家庭网关纳入5G核心网的统一鉴权和会话管理内^[2-4],最终实现移动网络内的手机终端通过运营商内部网络直接接入家庭局域网,并通过内网IP直接与家庭局域网内的智能家居设备进行通信。

相比现有技术,本方案具有以下优势。

a) 广域泛在:移动终端可在国内任意位置直连住所局域网内的智家设备。

b) 稳定高速:移动终端与智家设备通过运营商级网络互通,稳定性高,连接速率高。

c) 安全私密:移动终端与智家设备的交互完全在运营商内部网络内完成,数据不上公网。

d) 即插即用:通过网管下发SDK插件和配置,家庭网关免人工配置、即插即用。

e) 生态友好:对智家终端及其应用软件无改动和适配要求,便于推广。

f) 用户友好:智家应用的使用方式无变化,不改变用户现有使用习惯。

3.2 架构设计

固移融合一直是3GPP的重点发展方向之一,为实现终端在非3GPP网络(例如Wi-Fi网络)下的接入,3GPP制定了相应的标准,设计了相关的架构和业务流程。在本研究中,要实现无SIM终端(家庭网关)安全、快捷地接入5G网络,进而将家庭网关所在的家庭局域网纳入5G核心网的管理,以便与5G无线网络内的移动终端实现互联。因此,本文参考了非3GPP接入的网络架构^[5-6],并对组网和相关网元/系统的能力进行了拓展,架构设计如图1所示。

在该架构中,智家UDM、智家SMF、智家UPF、智家AAA为本研究引入的新网元,这些网元除支持目前大网网元能力外,还针对本研究设计的业务流程进行了能力上的扩充,而业务流程中的相关信令交互基本都遵循了3GPP的协议规定。组网架构中各网元/系统的功能需求如表2所示。

中国联通大网网元(UDM、PCF、SMF、UPF)均已支持所需功能,无需升级改造,在实际部署时,主要需考虑智家业务新网元(UDM、SMF、UPF、AAA)的部署方案。其中,智家UDM、智家SMF可以选择独立部署或

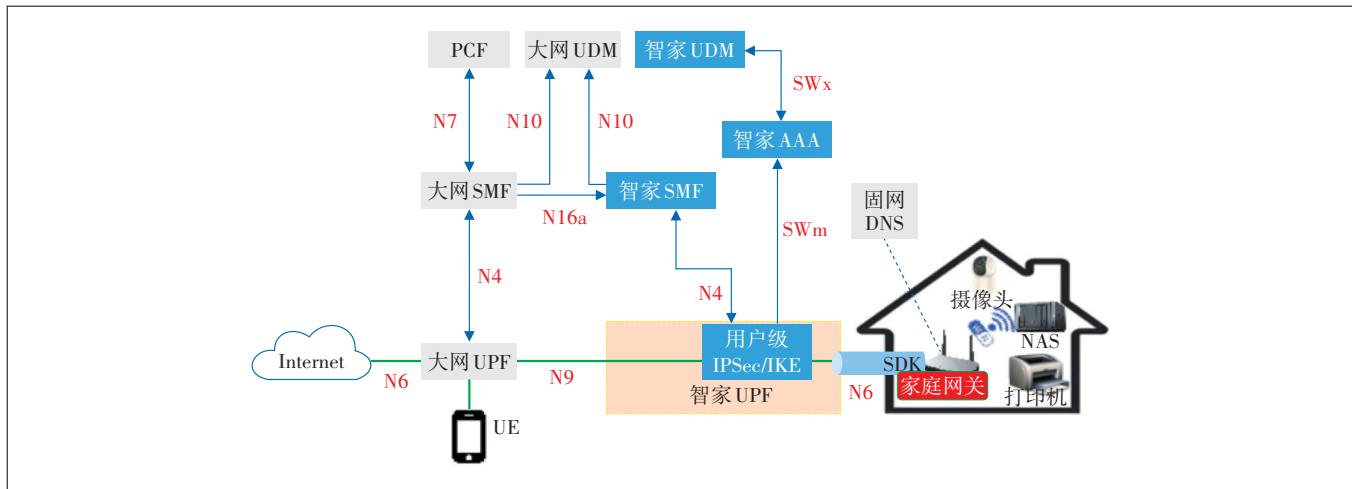


图1 固移融合组网架构

表2 网元/系统的功能需求

业务域	网元/系统	能力需求
固网	家庭网关(光猫、FTTR)	a) 集成SDK,与智家UPF交互完成IKE协商 b) 认证通过后建立并维护隧道
	固网DNS	固网DNS增加解析记录:配置智家UPF的域名信息和智家UPF的IP地址映射关系 ^[7]
移动网	智家UDM	a) 基于签约内容,保存家庭网关的家庭组信息 b) 支持SWx接口,支持SDK接入5GC的安全鉴权服务
	智家SMF	家庭网关会话管理,包括会话绑定和维护等
	智家UPF	a) 固移会话关联和报文转发 b) 负责SDK接入与隧道建立及维护 c) 基于非3GPP接入认证流程,支持SWm接口,作为中间节点,完成SDK与智家AAA的安全鉴权
	智家AAA	基于非3GPP接入业务流程,支持SWm、SWx接口,支持SDK接入5GC的安全鉴权服务
	大网UDM	支持签约5G LAN组
	大网PCF	支持智能分流功能
	大网SMF	支持智能分流功能
	大网UPF	支持智能分流功能

者分别与大网UDM、大网SMF合设,智家AAA也可选择独立部署或与VoWiFi-AAA(如有)合设,智家UPF则建议单独设置。合设方式有利于简化组网,降低投资,而分设方式更有利于业务隔离,保护大网业务安全。

3.3 关键技术

3.3.1 数字身份ID

为构建以移动核心网为中心的统一网络架构,3GPP在固移融合技术的相关协议中定义了终端通过非可信网络接入到4G/5G核心网的网络架构和业务流

程^[8],使带有SIM卡的终端可以通过标准的鉴权和认证流程接入到4G/5G核心网^[9]。但是对于市面上海量的无SIM卡终端,目前还没有一个简便、安全的接入到4G/5G核心网的方案。

本研究引入了终端数字身份ID的理念,通过在智家UDM内为家庭网关签约数字身份ID,并将其传递到加载在家庭网关中的定制SDK内,通过此SDK支持的IKEv2、EAP扩展鉴权认证协商能力,使家庭网关能通过智家AAA和智家UDM的鉴权认证并成功接入5GC。

如图2所示,在用户签约阶段,BOSS系统在收到用户的签约请求后,为其分配家庭组ID,并基于签约用户(户主)的IMSI号,为其家庭网关生成数字身份ID,数字身份ID结构为户主IMSI号+若干位随机数。

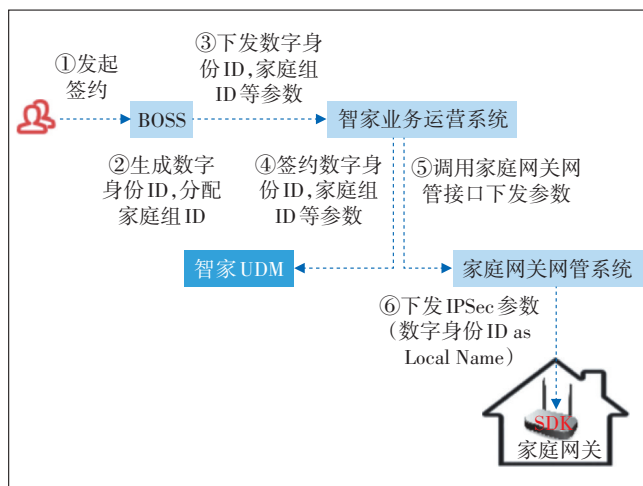


图2 数字身份ID生成和分发流程

然后,BOSS系统将家庭网关数字身份ID、家庭组信息等发送到智家业务运营系统,智家业务运营系统收到相关参数后,一方面在智家UDM内对家庭网关进行签约,为其登记数字身份ID和家庭组等信息,另一方面调用家庭网关的网管系统,将数字身份ID作为IPSec配置参数中的本端名称(Local Name),下发到其家庭网关的SDK中。

在家庭网关接入鉴权阶段,本研究借鉴并扩展了3GPP定义的VoWiFi业务中IPSec隧道建立和用户鉴权的信令流程^[6]。在网元角色方面,家庭网关、智家UPF分别对应VoWiFi业务中的UE和ePDG;在信令参数方面,在SW_m和SW_x接口的Diameter消息中将数字身份ID定义为可用于认证的新AVP。数字身份ID认证流程如图3所示。

在SDK向智家UPF发起建立IPSec隧道请求时,经预共享密钥加密后的数字身份ID在IKE_AUTH消息中作为本端名称(Local Name)被传递到智家UPF,智家UPF收到请求后启动网络侧鉴权流程,向智家AAA发送Diameter-EAP-Request(DER)消息,其中数字身份ID被填写在新扩充的一个AVP中。智家AAA收到DER之后,向智家UDM发送一条Multimedia-Auth Request(MAR)请求对数字身份ID进行鉴权认证。智家UDM收到MAR之后查询数据库验证此数字身份ID已签约,回复认证通过消息。

数字身份ID不仅能应用在家庭网关,还可应用于海量的无SIM卡设备上。数字身份ID作为安全便捷的号码分身,支持泛在智连,使有联网能力的无SIM卡设备可以安全注册到5G网络,并使此类设备可直接访问和控制与其绑定的移动终端。此方案使移动终端可以突破各种网络桎梏,便捷地与万物直联,为广大用户数字生活万物互联潜在场景提供了全新的安全且便捷的接入方案。

3.3.2 5GC智能分流技术

5GC智能分流技术是中国联通为支持5G随行专网产品定制研发的一套技术。该技术通过对5GC网元UDM、PCF、SMF、UPF的能力进行拓展,实现了在用户免配置、无感知的前提下同时访问公网和企业内网,并支持国内漫游接入场景^[10-11]。

本研究通过应用智能分流技术,实现了在移动终端侧免配置、无感知、支持漫游的前提下,移网侧5GC将其家庭组流量分流至智家UPF,并进一步在智家UPF基于用户的家庭组实现了与家庭内网的直连。图4给出了基于5GC智能分流技术实现智家流量分流至智家UPF的示意,其中归属地与接入地可以为不同地区(即此方案支持国内漫游)。

3.3.3 5G LAN技术

5G LAN是3GPP在R16阶段,为满足垂直行业通信业务需求,实现5G与垂直行业融合而提出的技

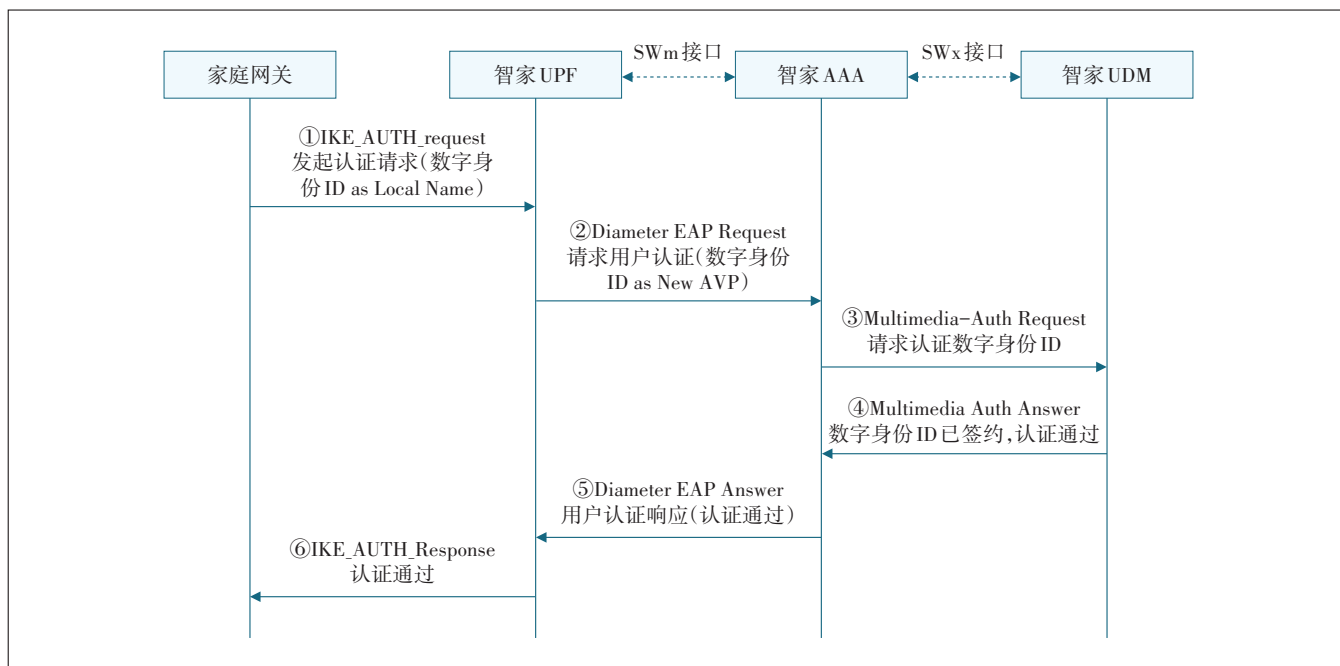


图3 数字身份ID认证流程^[6]

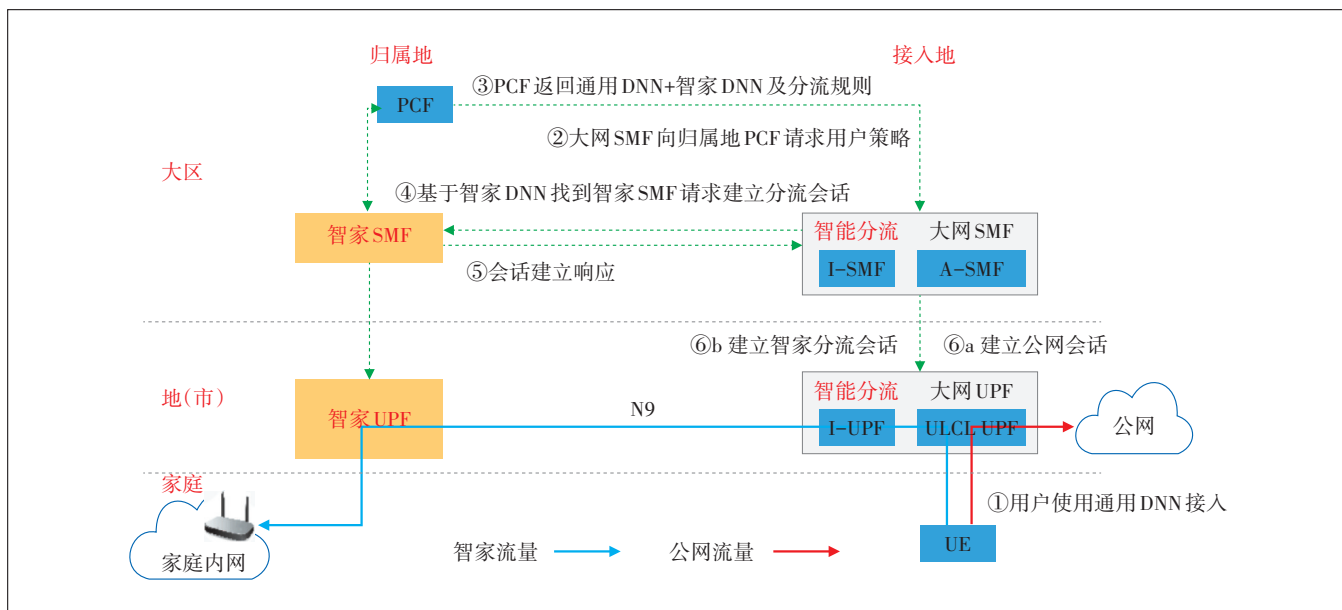


图4 基于智能分流能力的智家流量分流^[10-11]

术^[2-3]。它基于5G网络,通过在UDM内为用户签约虚拟网络组(VN Group),进而通过SMF/AMF基于组策略动态构建逻辑隔离的局域网,让5G网络具备提供广域局域网的能力。该技术支持二层和三层通信、单播及组播广播,实现了终端间直接互通、跨区域通信,打破终端物理距离限制,可灵活组建局域网。

本研究对5G LAN技术进行了运用和扩展,通过对UDM、SMF和UPF的定制开发,使其支持为家庭网关签约家庭组(即5G LAN的VN组),并进一步通过在智家UPF内对归属于同一家庭组的移动终端和家庭

网关的会话进行关联^[12],实现它们基于局域网IP的互通(见图5)。需要说明的是,本方案支持一个家庭组内存在多个移动终端以及多个家庭网关,当组内存在多个家庭网关时,需要为这些家庭网关所在的住所的局域网规划不同网段。

3.3.4 IPSec+VxLAN双隧道

本研究中,家庭网关与智家UPF之间需要通过建立隧道IPSec来保障家庭网关的安全接入和家庭组内的业务隔离^[13],但是IPSec隧道对两端设备(特别是家庭网关)的性能消耗很大,会极大地影响智家UPF与

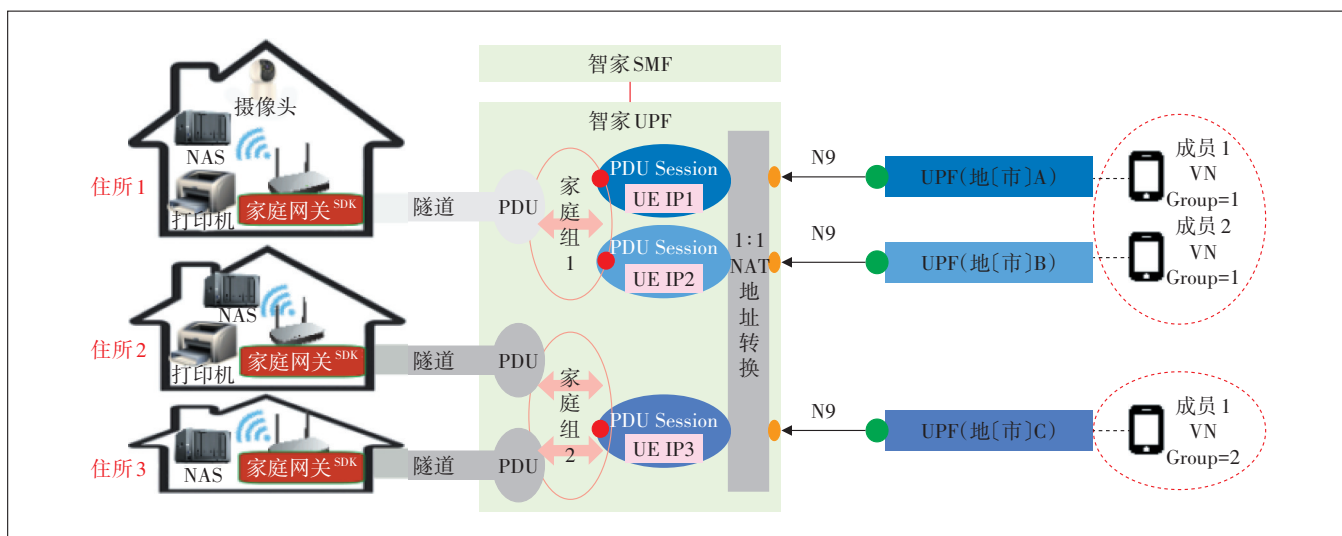


图5 基于5G LAN能力的家庭组会话关联示意

网关间的数据包吞吐速率。因此,本研究基于控制面和用户面分离(CU分离)理念,对家庭网关的SDK进行了进一步的升级,使其能与智家UPF同时建立和维护IPSec和VxLAN这2条隧道(见图6),其中IPSec隧道用于转发接入鉴权和隧道维护相关的控制面数据包,而VxLAN隧道用于转发用户面数据包。通过此双隧道技术,既保障了网络通信的安全,又使业务感知得到了极大提高(同一个测试环境,使用IPSec隧道传送用户面数据包的速率约为80 Mbit/s,使用VxLAN隧道时达到640 Mbit/s)。



图6 智家UPF与家庭网关间IPSec+VxLAN双隧道

3.4 业务流程

基于架构设计以及使用的关键技术,本研究提出的方案的业务流程如图7所示。

3.4.1 签约阶段

首先,用户向BOSS发起随行私网业务签约请求(见图7中①)。

BOSS向相关系统进行业务签约,具体包括以下几个步骤。

a) 通知大网UDM为该移网用户签约随行私网DNN以及家庭组(5G LAN组)(见图7中②)。

b) 通知PCF为该移网用户签约分流规则(见图7中③)。

c) 基于用户IMSI,生成数字身份ID,并将数字身份ID等相关参数传递给智家业务运营系统,通知其为用户名下家庭网关签约随行私网业务(见图7中④)。

d) 智家业务运营系统通知智家UDM为家庭网关签约随行私网业务(数字身份ID、家庭组等)(见图7中⑤)。

e) 智家业务运营系统通过家宽网管系统向用户家庭网关下发SDK插件以及相关参数(见图7中⑥)。

3.4.2 家庭网关接入阶段

a) 家庭网关SDK根据参数中的智家UPF域名,向固网DNS查询并获取智家UPF IP(见图7中⑦)。

b) 家庭网关发送IKE鉴权请求消息给智家UPF,消息中包含家庭网关数字身份ID等参数(见图7中

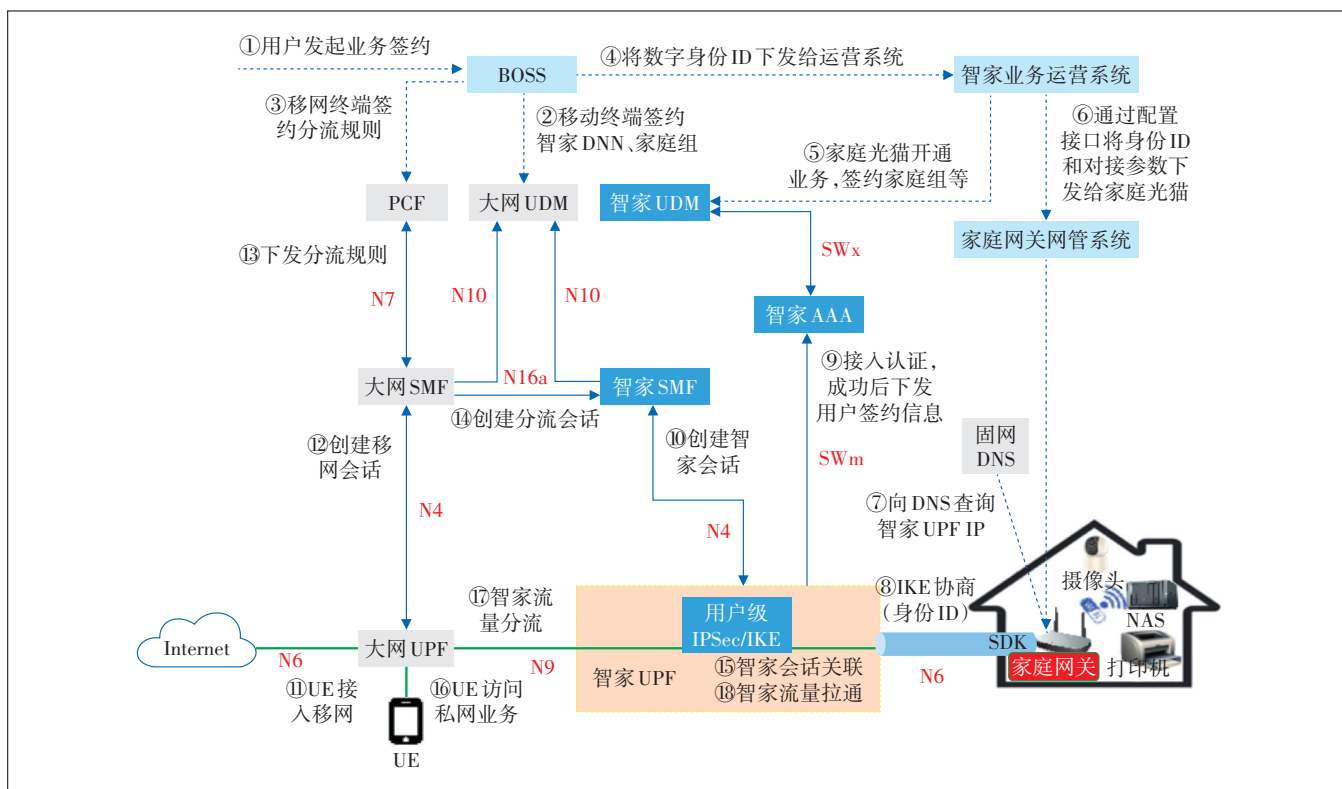


图7 固移融合连接互通业务流程

⑧)。

c) 智家UPF向智家AAA请求进行用户鉴权,智家AAA向智家UDM校验用户身份,鉴权通过后,智家UDM向智家UPF返回家庭网关签约信息(见图7中⑨)。

d) 智家UPF向智家SMF申请创建家庭网关的会话,智家UPF与家庭网关建立IPSec以及VxLAN隧道(见图7中⑩)。

3.4.3 移网终端接入阶段

a) 移网终端申请接入网络(见图7中⑪)。

b) 大网SMF收到创建移网会话申请(见图7中⑫)。

c) 大网SMF向PCF请求用户策略,PCF下发用户签约(通用DNN+随行私网DNN)及分流规则(见图7中⑬)。

d) 基于智能分流能力,大网SMF根据随行私网DNN找到智家SMF,在大网UPF与智家UPF之间建立起智家分流会话(见图7中⑭)。

e) 智家UPF根据移网侧会话以及家庭网关侧会话的家庭组,将归属于同一家庭组的会话进行关联(见图7中⑮)。

3.4.4 智家业务触发阶段

a) 移网侧终端发起智家业务。因为固移直连通道已经建立并关联,手机APP可以通过智家设备的家宽局域网IP访问到智家设备,因此APP将通过智家设备的局域网IP发起业务(见图7中⑯)。

b) 基于分流规则,大网UPF将智家业务流量通过智家分流会话发送至智家UPF(见图7中⑰)。

c) 智家UPF根据家庭组,将组内固移会话的流量拉通(见图7中⑱)。

3.5 试点情况

2024年4月,某省联通牵头在5G创新实验室进行了本方案的试点。该试点基于本研究制定的组网架构和业务流程,成功完成了端到端的业务验证,实现了固移终端通过联通内部网络直接互通并运行智家业务,其中,重点测试了手机终端访问家庭NAS并进行文件传输业务场景,实测速率高达640 Mbit/s,相比现有技术,业务体验有巨大提升。

4 结束语

随着智家设备的普及和智家业务场景的涌现,用户亟需一种优化的固移终端互通技术来提供更安全、

更稳定、更快速的业务体验,本文基于3GPP固移融合的框架,进行了创新和扩展,提出了一种创新的组网方案和业务流程并成功进行了实践验证。该方案使家庭网关能使用“数字身份ID”,经统一身份认证,安全连接到5GC,并进一步使移动终端能在广域范围内(支持全国漫游)直接通过局域网IP访问家庭网关下的智家设备。此方案不改变用户对智家应用的原有使用习惯,也无需考虑不同品牌智家终端的适配问题,更加便于标准化推广,可以为业内固移融合演进提供参考。

参考文献:

- [1] 王红岩,高卫东. 5G通信技术在物联网中的应用[J]. 中国宽带, 2025, 21(4): 122-124.
- [2] 3GPP TS 23.501: System architecture for the 5G system[S].
- [3] 3GPP TS 23.502: Procedures for the 5G system[S].
- [4] 3GPP TS 38.415: PDU session user plane protocol[S].
- [5] 3GPP TS 24.302: Access to the 3GPP evolved packet core(EPC) via non-3GPP access networks[S].
- [6] 3GPP TS 33.501: Security architecture and procedures for 5G system[S].
- [7] 薛强,杨世标,缪一民,等. 5G UPF与固网BNG的融合思路、方案及实践[J]. 数字通信世界, 2024(10): 42-46.
- [8] 3GPP TS 23.402: Architecture enhancements for non-3GPP accesses[S].
- [9] 刘浩. 5G与局域网融合组网方案探讨[J]. 长江信息通信, 2023, 36(7): 207-209.
- [10] 王鹏,丁亮亮. 5G随行专网架构及关键技术研讨[J]. 现代传输, 2024(2): 28-32.
- [11] 成静静,龙湛. 构建面向教育行业的定制化5G随行专网[J]. 数据通信, 2024(3): 7-9.
- [12] 谭哲,帅濛,高军诗,等. 固定网络与移动网络融合组网方法研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2023, 36(5): 8-14, 37.
- [13] 邓玲. 双千兆固移协同创新及应用实践[J]. 邮电设计技术, 2023(12): 84-88.

作者简介:

彭健,工程师,学士,主要从事移动通信技术研究. 5G新技术跟踪. 5G产品创新. 5G专网业务产品研究工作。

