



面向5G-A的ATG航空互联网关键技术及应用研究

孙逊¹, 宋旭光¹, 马洪源², 冯志强¹, 卢友伟¹

(1. 中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080;

2. 中国移动通信集团有限公司, 北京 100080)

摘要:从航空通信技术演进来看,传统卫星通信因成本高、时延大、带宽受限的固有限制,难以适配航空互联网爆发式需求,导致国内航线互联网普及率较低。5G ATG (Air to ground) 技术凭借低时延、高带宽的特性,成为突破该瓶颈的核心路径。聚焦5G ATG核心网关键技术与应用,通过“现有方案对比-架构设计-关键技术-部署策略-商业模式”的逻辑构建端到端技术体系。首先对比卫星与ATG方案的技术特性与缺陷以明确ATG方案优势,其次基于兼容性、可靠性等原则设计ATG分层架构并研究后路由地址管理、差异化QoS保障等关键技术,再通过两种部署方案的工程特性对比提供组网选择依据,最后提出多元商业模式为运营商落地提供路径,支撑智慧航空基础设施建设,推动航空互联网从“卫星依赖”向“空地协同”演进。

关键词:航空互联网;组网架构;关键技术;部署策略;商业模式

中图分类号: TN915

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025295

0 引言

近年来,随着全球航空业的蓬勃发展,乘客对于机上互联网服务的需求呈现爆发式增长。无论是商务人士在飞行途中处理紧急事务,还是休闲旅客通过在线娱乐消磨时光,机上网络都已成为提升航空旅行体验的关键因素。然而,民航局统计数据显示,截至2024年年底,民航全行业运输飞机在册为4 394架,其中具备地空通信上网服务能力的为252架,仅占比约6%。这一供需之间的巨大矛盾,凸显了航空互联网发展的迫切性。传统航空互联网以卫星通信为核心,低轨卫星方案虽覆盖广、速率较高,但星座建设成本高、终端功耗大;中高轨卫星方案虽稳定性强,但带宽有限(单用户速率<10 Mbit/s)、时延高(约200~500 ms)、运维复杂、故障修复周期长、

受天气影响大。诸多局限导致卫星方案的航空互联网用户资费居高不下,难以规模化普及。

基于5G-A的ATG航空互联网技术为破解该瓶颈提供了可能。5G-A作为5G的增强版本,基于其构建的ATG地空通信技术,通过沿航线部署地面基站,可实现飞机与地面的直接通信,有效缩短了通信距离,降低了通信成本。且核心网网元、基站、机载CPE均实现国内自主研发,兼具性能与安全优势。因此,研究ATG核心网技术,对完善空天地一体化通信体系、推动航空互联网规模化落地具有重要意义。

1 现有解决方案分析

卫星通信是当前实现全球范围航空互联网覆盖的主要技术路径,依据卫星轨道高度可划分为低轨卫星(LEO)方案与中高轨卫星(MEO/GEO)方

案两大类。两类方案虽均以“空间段-地面段-机载段”三级架构为基础框架,但在系统规模、设备配置与功能定位上存在显著差异,分别适配不同航空场景的通信需求。

1.1 低轨卫星 (LEO) 通信方案

低轨卫星方案以“高带宽、低时延”为核心技术定位,主要面向干线航班高密度上网需求,典型案例包括 Starlink 航空版、OneWeb 航空方案等。从系统架构来看,低轨卫星方案采用“大规模星座+分布式地面关口站+专用机载终端”的三层体系,空间段需要部署数百至数千颗低轨卫星(轨道高度 500~2 000 km)组成星座网络,例如 Starlink 计划部署 4.2 万颗卫星,通过卫星间星际链路实现全球无缝覆盖。从核心性能特性来看,低轨卫星方案是卫星通信领域中最接近地面网络性能的类型,但仍受限于星座规模与空间传输链路特性。在速率与时延方面,单飞机接入带宽可达 50~200 Mbit/s,单用户峰值速率 50~100 Mbit/s,端到端时延<100 ms,虽优于中高轨卫星方案,但受卫星轨道运行特性影响,单星对同一航线的覆盖时间仅为 10~15 分钟/架次,卫星切换过程中存在毫秒级断连风险;在覆盖范围方面,需要待星座完全部署后才能实现全球连续覆盖;在可靠性方面,受暴雨、暴雪天气影响,会导致较为严重的信号衰减,从而造成服务中断。另外,当星座故障后,修复需要依赖卫星补发,周期长达数周。

1.2 中高轨卫星 (MEO/GEO) 通信方案

中高轨卫星方案主要适配支线航班、跨洋航线的基础上网需求,突出其“广覆盖、高稳定”的优势,典型案例包括 Inmarsat Global Xpress、亚太 6D 卫星方案等。其中,高轨(GEO)卫星因“相对地球静止”的轨道特性,是当前技术最成熟的卫星通信类型。从系统架构来看,中高轨卫星方案采用“小星座+区域集中式地面站+轻量化机载终端”的简化体系。从核心性能特性来看,中高轨卫星方案的优势在于覆盖稳定性,但

性能上限受轨道高度制约。在速率与时延方面,高轨方案单飞机接入带宽 5~15 Mbit/s,端到端时延约 540 ms,无法支撑实时视频、在线办公等时延敏感业务,中轨方案速率及时延均有所改善,但不及地面通信网络;在覆盖范围方面,高轨卫星单星覆盖 1/3 地球表面,跨洋、偏远地区无须额外部署,是当前极地航线、远海航班的唯一通信选择;在可靠性方面,受降雨、电离层扰动影响,同样存在信号衰减问题,需要预留冗余带宽以保障业务连续性。

1.3 方案对比及适配场景

从整体架构、性能指标、部署成本、运维难度、覆盖范围、业务适配性、长期运营成本等 7 个维度,对现有的卫星通信两类方案及 ATG 方案进行对比,明确其差异化定位,卫星通信方案与 ATG 方案对比分析见表 1。

从对比结果来看,5G ATG 方案在成本、性能、运维三大核心维度形成对卫星方案的显著优势。同时,需要明确的是,卫星通信方案与 5G ATG 方案并非对立替代关系,而是基于场景互补的协同关系。其中,卫星方案的核心适配场景为跨洋航线、极地航线、偏远地区支线航线等无地面基站覆盖的区域,其核心价值在于“全球覆盖的不可替代性”,可满足极端场景下的基础通信需求;而 5G-A ATG 方案的核心适配场景为国内干线航线,依托其“低成本、高性能、易运维”的综合优势,解决卫星方案在人口密集、航线集中区域的成本与性能瓶颈,最终形成“ATG 覆盖核心区域、卫星覆盖边缘区域”的空天地一体化航空互联网架构。

2 端到端架构设计

2.1 总体架构设计原则

从网络适配性与前瞻性来看,5G ATG 航空互联网架构设计需遵循四大原则以确保技术可行性与业务扩展性。一是兼容性原则,要求严格遵



表1 卫星通信方案与ATG方案对比分析

对比维度	低轨卫星方案	中高轨卫星方案	5G ATG方案
整体架构	空间段（千颗级星座）+ 地面段（全球关口站）+ 机载段（10~15 kg 终端）	空间段（3~8颗卫星）+ 地面段（区域关口站+机载段（3~8 kg 终端）	地面段（沿线基站+核心网）+ 机载段（2~5 kg CPE），无空间段
核心性能	速率：50~200 Mbit/s/飞机时延：<100 ms 丢包率：0.3%~1%	速率：5~15 Mbit/s/飞机时延：> 500 ms 丢包率：1%~3%	速率：35~100 Mbit/s/飞机时延：10~30 ms 丢包率：<0.1%（目标）
部署成本	星座建设：约800万元/星，全球覆盖约700亿元 单飞机改装：200万~300万元	卫星建设：约20亿元/星 单飞机改装：50万~100万元	基站部署：50万~80万元/站（沿航线部署） 单飞机改装：30万~50万元
运维难度	高（卫星故障需要补发，关口站全球协同）	中（卫星运维周期长，关口站区域协同）	低（基站/核心网本地化运维，故障修复为小时级）
覆盖范围	全球（需要星座完整部署），跨洋/极地覆盖优	全球（除两极），跨洋覆盖优	依托地面基站，覆盖干线航线、低空经济区，跨洋/偏远地区需要与卫星协同
业务适配性	支持高清视频、在线办公，但成本高	仅支持网页浏览、社交通信，实时业务受限	支持高清视频、飞机健康监控、应急通信，成本敏感场景适配优
长期运营成本	带宽资费：21 000~35 000元/(月·架)运维成本：最高	带宽资费：7 000~14 000元/(月·架)运维成本：较高	带宽资费：3 500~7 000元/(月·架)运维成本：较低

循3GPP标准，与地面5G核心网协议栈无缝兼容，保障用户跨网络（地面-空中）的统一业务体验，避免因协议差异导致的服务中断；二是可靠性原则，要求核心网网元考虑容灾机制，确保单一节点故障时业务不中断，同时承载网采用独立VPN隔离，避免与其他业务相互干扰，保障通信安全；三是灵活性原则，支持“ATG+卫星”双模切换，可根据航线覆盖情况（如地面覆盖/无地面覆盖）自动选择通信方式，且能适配不同机型的机载设备，无需大规模改造；四是扩展性原则，预留6G技术接口，支持未来平滑升级，同时具备带宽、用户规模弹性扩容能力，可随航空互联网用户增长动态调整资源，避免容量瓶颈。

2.2 端到端分层架构设计

ATG航空互联网端到端架构按“地面网络层-空口传输层-机载网络层”三级逻辑构建，各层级通过明确的设备与网元配置，形成功能协同的通信体系，既实现各层技术特性的精准适配，又保障端到端业务的稳定流转，ATG航空互联网端到端分层架构如图1所示。

2.2.1 地面网络层

地面网络层作为架构的核心支撑层，包含核心网、运营平台、传送网三类关键网元与设备，

承担“控制决策、运营管理、数据传输”三大核心职能。

核心网设备与网元涵盖控制面网元（AMF、SMF、CHF、UDM、PCF）与用户面网元（专用UPF）。其中，AMF（接入与移动性管理功能）、SMF（会话管理功能）、CHF（计费功能）、UDM（统一数据管理功能）、PCF（策略控制功能）构成控制核心，负责用户接入认证、飞行场景下的会话动态调整、业务计费、用户签约数据存储与策略下发；专用UPF（用户面功能）作为数据转发节点，针对航空场景优化数据路由逻辑。

运营平台设备由AAA（认证授权服务器）、DMS（设备管理系统）、计费系统组成。AAA服务器负责对接航司用户库，完成乘客与机组的身份鉴权；DMS系统实时监测地面基站、机载终端的运行状态，支持故障远程诊断与参数配置；计费系统具备按流量、时长、业务类型的多维度计费能力，可灵活适配航司套餐需求。三者协同形成“鉴权-监控-计费”一体化运营能力，支撑网络高效运维与商业服务落地。

传送网设备以SPN（切片分组网）、IP承载网为核心传输载体，配套业务隔离模块与带宽调度单元。SPN通过切片技术，为控制面信令、用

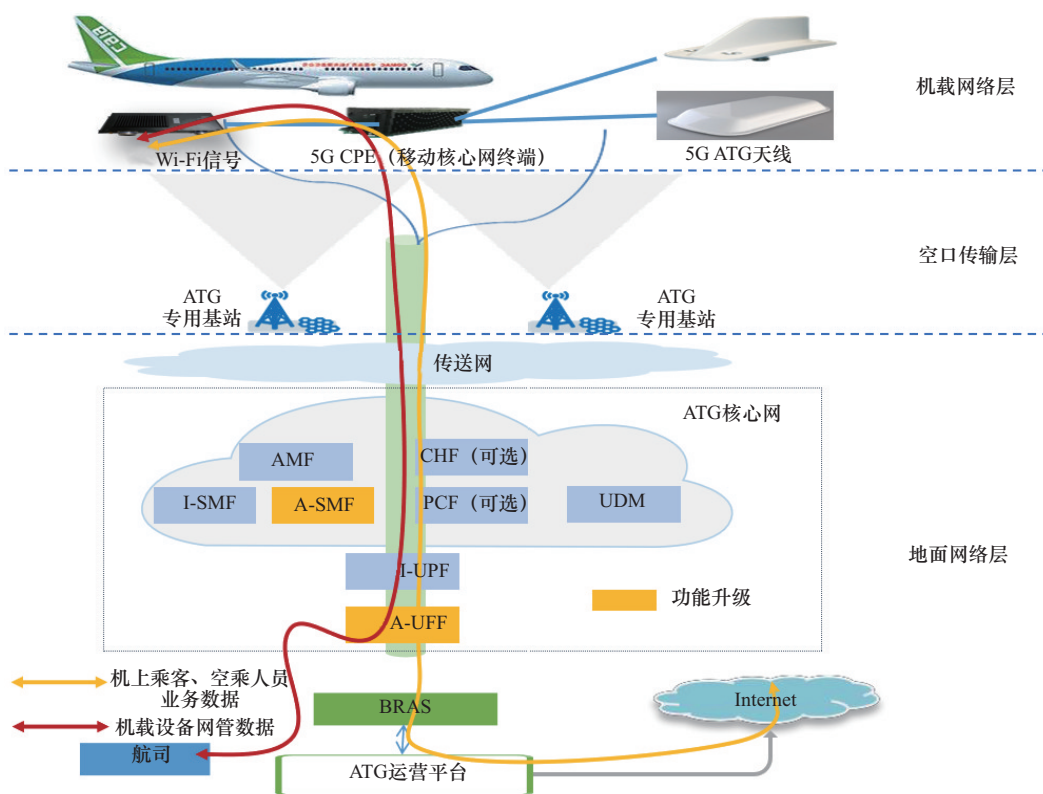


图1 ATG航空互联网端到端分层架构

户面数据提供低时延、高可靠的传输通道，同时实现ATG业务与地面其他业务的物理或逻辑隔离，避免相互干扰，保障飞行数据传输的安全性与稳定性。

另外，BRAS（宽带远程接入服务器）作为ATG场景中连接“机载CPE”与“核心网”的关键网元，负责接收机舱内所有乘客终端的流量，完成用户认证、流量分类与标记，是差异化QoS保障的“流量入口分类器”。

2.2.2 空口传输层

空口传输层作为“地面-机载”的通信桥梁，通过专用设备与增强技术模块，解决高速飞行场景下的信号覆盖、干扰控制与传输效率问题。

该层级核心设备包括ATG基站、智能自适应天线，以及波束成形、超级上行等增强技术模块。其中，ATG基站为定制化空域覆盖基站，配备高功率发射单元与抗干扰处理模块，单基站覆

盖范围约75~300 km，可适配航线沿线的广域覆盖需求；智能自适应天线采用mMIMO架构，支持波束动态调整；增强技术模块则嵌入基站信号处理单元，实现多技术协同。

依托上述设备与模块，空口传输层具备三大核心能力：一是精准覆盖能力，通过基站“之”字形布局与天线波束跟踪，实现航线全域无死角覆盖，特殊地形（高山、戈壁）区域可通过信号增益优化保障覆盖质量；二是干扰抑制能力，通过特定频段的专属适配（与地面宏站、通感站保持安全隔离距离）及动态功率控制，降低地空同频干扰；三是高效传输能力，借助超级上行提升机载终端发送功率，单链路传输速率较传统空口技术有明显提升。

2.2.3 机载网络层

机载网络层作为乘客与机组的直接接入层，通过专用机载设备实现地面信号的适配转换与机



舱内网络覆盖，包含机载CPE、机载高增益天线、机舱Wi-Fi设备3类核心硬件。机载CPE（客户前置设备）为航空级定制终端，需要通过民航适航认证，内置信号解调、协议转换与会话管理模块，可将地面ATG基站的无线信号转换为机舱内可识别的网络信号，同时支持多基站并发接入，保障飞行切换时的业务连续性。机载高增益天线采用低损耗、高方向性设计，通常安装于飞机腹部或背部（避开机身金属结构遮挡），具备信号精准接收与抗干扰能力，可在高速飞行中稳定捕获地面基站信号，为机载CPE提供高质量输入信号。机舱Wi-Fi设备，包含多SSID（服务集标识）管理单元与带宽调度模块，支持乘客SSID与乘务员SSID的独立配置，其中乘务员SSID具备带宽优先分配与低时延保障能力，满足机组调度通信需求，同时支持多用户并发接入（单设备可承载300+用户），并通过动态带宽分配避免局部拥塞。

三者协同使机载网络层具备“信号转换-稳定接收-分级接入”能力，既实现地面与机舱的信号适配，又保障不同用户群体的差异化业务体验。

3 关键技术及业务流程

3.1 基于后路由的地址管理技术

基于后路由的地址管理技术，是针对ATG场景“多终端并发接入、飞机高速移动、机舱用户零配置”的核心需求，构建的专用地址管理方案。该技术以机载CPE为核心接入枢纽，乘客终端通过机载Wi-Fi接入后，无须单独建立网络连接，而是依托机载CPE与核心网预先建立的地址关联关系完成数据传输，本质是“先定关联、再转数据”。

地址关联建立是后路由技术落地的基础，核心是在核心网与机载CPE间预设“机载CPE-乘客终端网段”的绑定关系，后路由方案示意图如

图2所示，主要有3种适配方案：其一为SMF本地配置，运营商在ATG核心网控制面SMF中，直接绑定机载CPE的静态IP与机舱Wi-Fi分配的乘客终端网段（例如，将机载CPE地址10.131.0.1与乘客网段10.133.1.0/24关联），机载CPE接入时，SMF自动将关联规则下发至UPF；其二为AAA服务器签约，将“机载CPE-乘客网段”关联关系作为航司签约数据存储在AAA服务器，机载CPE认证时，AAA将关联信息同步至SMF与UPF，适配航司多飞机统一管理需求；其三为UPF本地配置，在航空枢纽边缘UPF中直接预设关联规则，机载CPE建会话后，UPF无需等待控制面指令即可生成转发规则，降低跨网元交互时延。

基于预设的地址关联关系，可以实现业务的“集中汇聚-精准分发”，终端接入与认证流程如图3所示，具体业务流程如下。

（1）将机载Wi-Fi设置为路由转发模式，把机载Wi-Fi配置预规划的IP地址段作为乘客终端网段，并在后续流程下发给乘客终端；预设机载CPE IP地址与乘客终端网段的绑定关系，具体可参考上述方案。

（2）飞机起飞后，机载CPE自动扫描沿线ATG基站信号，发起携带航班号的5G核心网附着请求；AMF与UDM交互验证CPE身份，认证通过后完成网络注册，随后机载CPE发起PDU会话建立请求，核心网自动激活预设的IP地址关联规则。

（3）完成PDU会话建立，核心网基于预设的IP地址关联规则，向机载CPE下发IP地址（一般为固定配置的静态IP地址）。

（4）机载CPE将会话建立时收到的IP地址发送给机载Wi-Fi服务器，作为WAN口IP地址。

（5）乘客终端接入机载Wi-Fi后，机载Wi-Fi服务器为乘客终端分配IP地址。（此步骤与第2~4步无先后顺序关系，可以由乘客在飞机起飞前

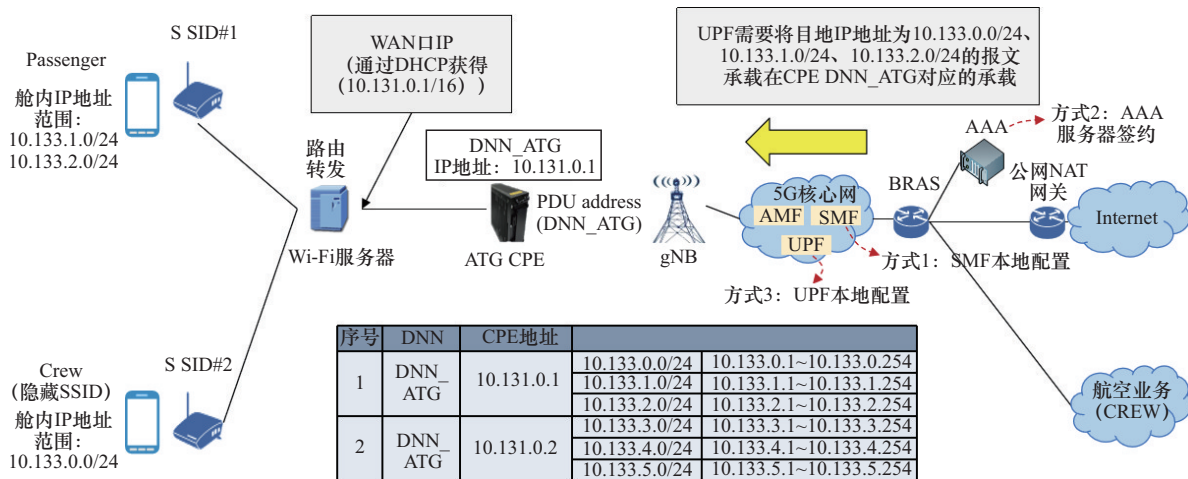


图2 后路由方案示意图

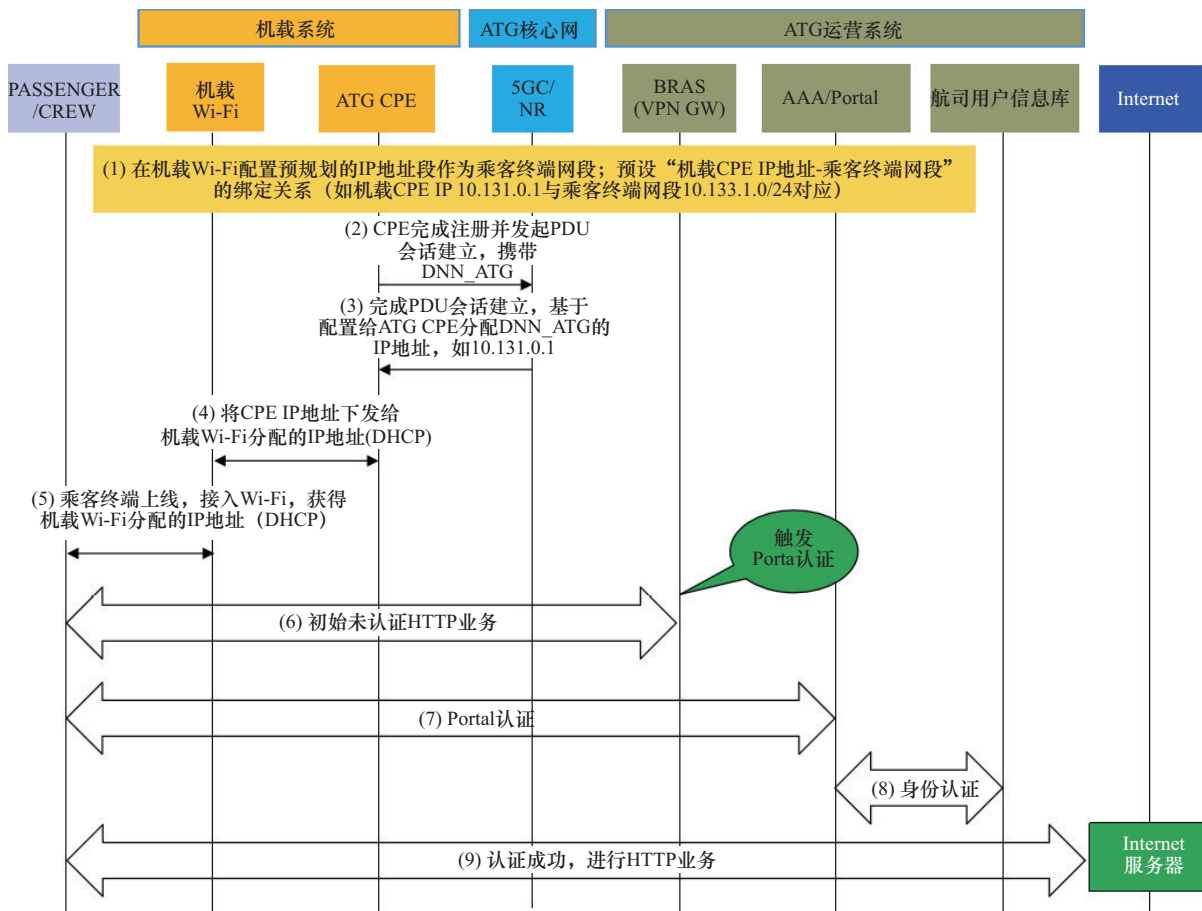


图3 终端接入与认证流程

完成)。

(6) 乘客初始未认证, 发起业务时, 上行数据包路由至BRAS, 触发Portal认证。

(7) BRAS将认证重定向至AAA/Portal界

面, 乘客输入个人身份信息、座位号信息等, 发起身份认证。

(8) AAA基于乘客输入信息与航司身份信息库进行信息校验, 判断信息是否准确。



(9) 认证成功后, 建立乘客终端访问互联网的数据通道。上行数据先汇聚至机载CPE, 再通过机载CPE建立的PDU会话上传至UPF; 下行数据到达UPF后, UPF根据关联关系定位目标机载CPE, 经ATG基站转发至CPE, 再由CPE分发至对应乘客终端, 全程无需乘客终端单独建链。

3.2 差异化QoS保障技术

针对航空互联网“用户分层、业务分级”的需求, 构建动态QoS管控体系, 解决传统方案无法满足用户差异化业务体验保障需求的问题, 确保高优先级业务(如机组调度、VIP视频)的服务质量。

差异化QoS保障技术通过“签约识别-流量标记-策略下发-动态调整”四级机制实现精准管控: 一是AAA系统作为用户等级存储中枢, 预先录入用户签约信息(普通/VIP/紧急), 该信息与航司会员体系、应急权限管理系统等联动(如航司白金会员标记为VIP, 机组终端标记为紧急)。当用户通过机载Wi-Fi接入时, AAA在认证过程中同步将用户等级信息传递至BRAS, 为后续流量分类提供依据, 避免等级误判; 二是BRAS作为流量入口分类节点, 基

于AAA同步的用户等级, 对上行流量进行DSCP(区分服务代码点)标签标记, 例如, VIP用户流量打EF级标签(对应最高用户业务优先级)、普通用户流量打AF41级标签(对应中高优先级)、紧急业务流量打CS7级标签(对应超优先级, 高于EF级)。DSCP标签随数据包全程携带, 成为后续网元执行QoS策略的“优先级标识”; 三是SMF根据签约信息与业务需求, 向RAN/UPF下发QoS Profile(含RQA资源需求、RQI QoS标识), UPF按RQI标记数据包并映射至专用无线承载。CPE支持反射QoS功能, 通过收到的下行数据包推演出对应的上行QoS规则, 将上行数据包映射到相应的QoS Flow上。四是PCF实时监测基站带宽利用率(可选), 超阈值时自动降低普通用户带宽(例如, 带宽利用率超80%时, 下发策略将普通用户带宽从10 Mbit/s降至5 Mbit/s), 优先保障VIP与紧急业务的资源需求。

以VIP用户发起高清视频业务为例, ATG差异化QoS保障方案示意图如图4所示, 差异化QoS保障的关键业务流程如下。

(1) 乘客终端接入机载Wi-Fi后, 发起Portal认证, 认证请求经机载CPE转发至核心网AAA系

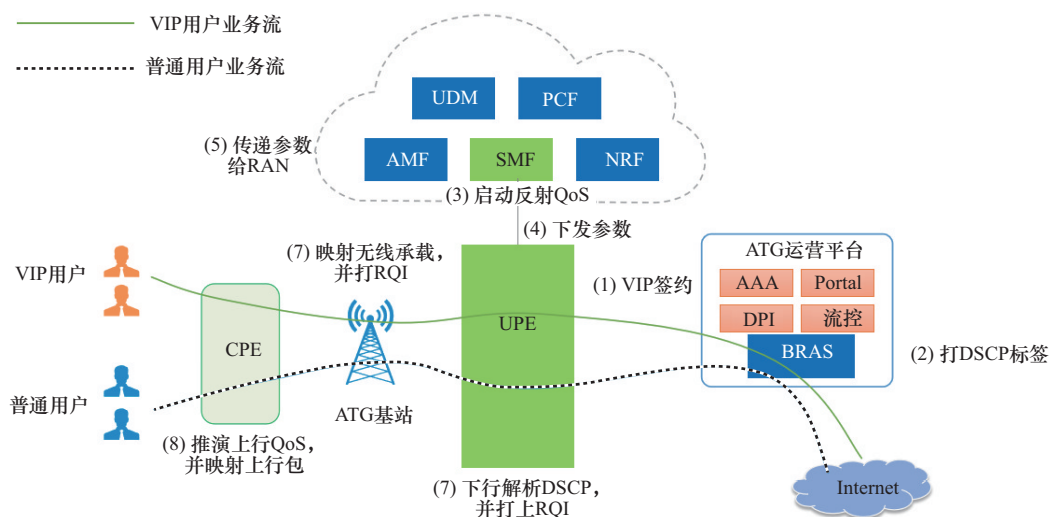


图4 ATG差异化QoS保障方案示意图

统；AAA 系统查询航司用户信息库，确认用户为 VIP 客户，并将“VIP 用户标识”同步至 BRAS。

(2) 当互联网侧有 VIP 用户的下行业务流（如高清视频流）需要传输至 UE 时，业务流先到达 BRAS；BRAS 基于步骤 1 同步的“VIP 用户标识”，识别该下行业务流归属 VIP 用户，为其打上专属 DSCP 标签（如 EF 级，对应高优先级）并转发至 UPF。上行业务流此时 BRAS 暂不处理，后续通过反射 QoS 保障。

(3) SMF 静态配置会话管理控制策略：明确“仅 VIP 用户可启动反射 QoS”，同时配置反射 QoS 定时器（如 300 s），用于 UE 维持上行 QoS 规则有效期；SMF 基于 AAA 同步的 VIP 用户签约信息，预先为该用户分配“VIP 专属 QoS”（含 RQA 资源需求、RQI 标识），确保后续策略下发匹配。

(4) SMF 下发 QoS 参数至各网元：①向 RAN 下发含 RQA 的 QoS Profile，明确 RAN 需要为 VIP 用户下行业务流分配的无线资源；②向 UPF 下发 RQI 标识及“DSCP-RQI 映射规则”（EF 级→RQI=1），指示 UPF 处理下行业务流时添加 RQI，处理上行业务流时验证 QoS Flow；③向 UE（经机载 CPE 转发）下发反射 QoS 定时器，告知 UE “需要基于下行数据包推演上行 QoS 规则”。

(5) AMF 通过 N2 接口将该 QoS Profile 转发至 RAN；RAN 基于 RQA 提前预留无线承载资源（如专用 DRB），避免下行业务流到达时资源不足。

(6) UPF 接收 BRAS 转发的、带 EF 级 DSCP 标识的下行业务流，基于步骤 4 下发的“DSCP-RQI 映射规则”，UPF 识别该业务流对应 RQI=1，在数据包头部添加 RQI=1 标记，并通过 N3 接口将带 RQI 标记的下行业务流转发至 RAN。

(7) RAN 接收 UPF 转发的下行业务流，解析数据包的 QFI 与 RQI=1 标记；基于步骤 5 接收的 QoS Profile，RAN 将该业务流映射至提前预留的“VIP 专属无线承载（DRB）”，并维持 RQI=1 标记随流传递。通过 ATG 空口将下行业务流转发至

机载 CPE，再由 CPE 分发至目标 UE。

(8) UE 接收带 RQI=1 标记的下行业务流，同时读取步骤 4 下发的反射 QoS 定时器。基于反射 QoS 机制，UE 推演对应的上行 QoS 规则。后续当 UE 发起上行业务流时，自动将其映射至相应的高优先级 QoS Flow，上下行业务流均获得高优先级保障。

3.3 ATG 与卫星通信协同技术

针对 ATG 地面基站的覆盖局限性，构建“ATG 为主、卫星为辅”的双模协同体系，在 ATG 覆盖区优先使用 ATG 网络（低成本、高性能），在无 ATG 覆盖区自动切换至卫星网络，且切换过程中保障业务连续性。

为实现上述功能，首先机载 CPE 须具备 ATG 与卫星双模接入能力，实时检测 ATG 信号强度，并向 AMF 上报卫星接入能力；其次 SMF 须支持“ATG UPF-卫星网关 UPF”双锚点架构，在 ATG 覆盖区内会话锚定至 ATG 专用 UPF；ATG 覆盖区外，SMF 通过 N4 接口动态更新会话锚点至卫星网关 UPF，保持用户 IP 与会话上下文不变；三是通过 QoS 参数映射机制，将 ATG 网络的 QoS 策略（如 5QI 等级、带宽限制）同步至卫星网络，确保业务体验一致性。

当飞机飞离 ATG 覆盖区时，机载 CPE 检测到 ATG 信号强度低于阈值，触发双模切换请求，向 AMF 上报卫星接入能力与当前会话状态；AMF 通知 SMF 启动锚点切换，SMF 与卫星网关 UPF 建立会话连接，下发会话规则（含 QoS 映射参数）；SMF 通过 N4 接口向原 ATG 专用 UPF 发送会话释放指令，同时向卫星网关 UPF 下发用户上下文；机载 CPE 断开 ATG 连接，接入卫星网络，与卫星网关 UPF 建立数据隧道；用户业务流量平滑切换至卫星链路疏通，全程无感知，待飞机重新进入 ATG 覆盖区时，流程反向执行，切换回 ATG 网络。



4 部署策略及应用思考

4.1 ATG核心网部署策略

考虑ATG业务需求特点，基于运营商现有网络资源，本文提出两种5G ATG核心网部署方案。

方案一为集中新建ATG专用核心网，包含完整控制面（AMF、SMF、CHF、UDM、PCF）与用户面（UPF）网元，同时打通各省至ATG专用核心网的跨省SPN/PTN及IP承载链路，实现各省ATG基站接入。其优势在于专用网元独立运行，与其他业务隔离，便于支持差异化QoS保障等定制化功能，能更好地适配航空场景需求，ATG核心网部署方案一架构示意图如图5所示。

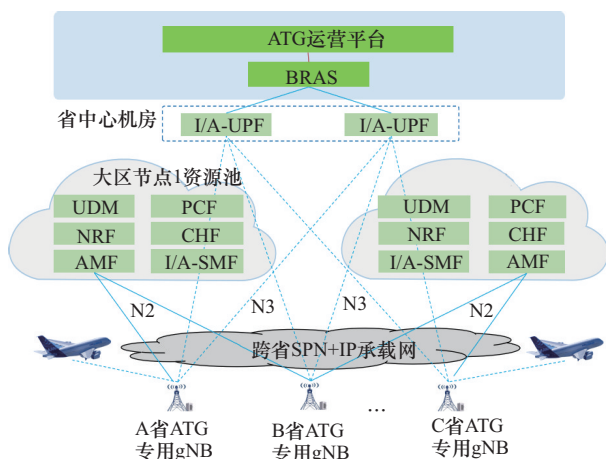


图5 ATG核心网部署方案一架构示意图

方案二为接入侧复用各省核心网大网，集中部署锚点侧设备。复用各省核心网的AMF、I-SMF、I-UPF网元，各省ATG基站通过本省SPN/PTN及IP承载网对接接入侧核心网，同时集中建设锚点SMF、UPF。其优势在于复用现有资源以减少新建成本，并且锚点侧集中一定程度上简化运维。但受限于核心网大网原有架构，定制化能力较弱，ATG核心网部署方案二架构示意图如图6所示。

从工程复杂度、业务感知、运维运营、业务开通、安全监管以及业务隔离性与可拓展性等方面对两方案进行对比，ATG核心网部署方案对比结果如下。

从适用场景来看，集中新建专用核心网更适合商用目标网，能满足高质量、高扩展需求；复用各省大网接入侧核心网，集中建设锚点方案则更适合试验网或过渡网，适配成本敏感、需求简单的场景。

4.2 ATG商业模式思考

基于用户分层、场景分类的原则，5G ATG核心网考虑多元化的商业模式，实现运营商、航司、用户共赢。

合作模式方面，一是采用B2B2C模式，通过运营商与航司合作，运营商提供网络服务，航司向乘客收费，收益按比例分成，适配大众乘客需求；二是采用B2B模式为航司提供机组调度、飞

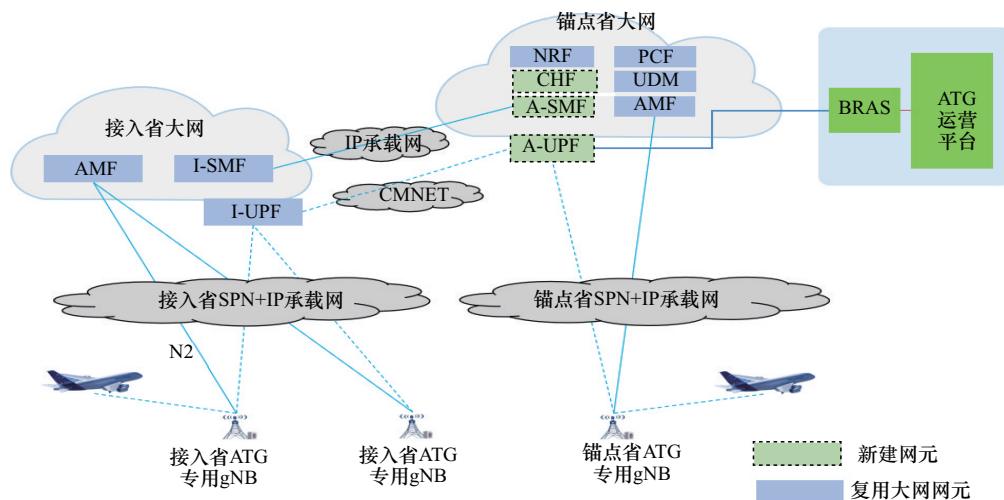


图6 ATG核心网部署方案二架构示意图

表2 ATG 核心网部署方案对比结果

分类	方案一：集中新建 ATG 专用核心网	方案二：复用各省大网接入侧核心网，锚点侧集中部署
工程复杂度	较高，需要新建 ATG 专用核心网；需要调整承载网络，实现 N2/N3 接口的跨省对接，涉及大量数据配置，启用新的 VPN 等	较低，复用各省现网接入侧核心网，用户面不涉及 IP 承载网跨省数据配置调整
业务感知	略好，需要进行基站间切换，核心网无须进行跨 POOL 切换	一般，在飞机运行期间，需要进行基站间切换，核心网侧需要进行跨 POOL 切换，可能影响用户业务感知
运维运营	清晰，网络独立，方便运维运营	复杂，各基站接入省核心网和锚点侧核心网均需要进行网络运维运营
业务开通	较好，业务发展初期可以采用“白卡”方案（非现网号码），暂时满足业务开通需求；但后续规模商用仍需要根据安全要求，更新 CPE 的机卡绑定方式	一般，目前面临明文密钥开卡造成的安全风险，可能导致本方案当前不可用，启用时间取决于 CPE 的机卡绑定合规性具备时间
安全监管	较复杂（1）网络安全监管 • AMF 集中设置，与各省基站拉远互通，与现网的安全监管要求不匹配，需安全监管侧配合改造；• 后续如有基于 ATG 业务形态提出的其他监管要求，仅升级独立核心网，改造范围较小（2）业务安全监管：需额外单独考虑基于用户的业务安全监管方案	较复杂（1）网络安全监管 • 符合现有 5G ToB 安全监管要求，安全监测设备可复用；• 面向未来不确定的各项安全监管要求，可能涉及对 ToB 现网的大规模改造调整（2）业务安全监管：需要额外单独考虑基于用户的业务安全监管方案
技术可拓展性	较好，面向业务运营后续更多的相关功能要求改造范围小、效率高、成本低	较差，接入侧的功能改造需要多省配合，范围广、效率低、成本高
业务隔离性	较好，接入侧到最终业务疏通均由专用网络承载	一般，接入侧由大网承载（可通过切片逻辑隔离），锚点侧可实现业务隔离
项目投入	项目投入相对较高	项目投入相对较低

机运维数据传输等服务，按带宽/流量收费，适配航司专业需求，保障飞行安全与运维效率；三是采用 B2G 模式为民航局提供空域监测、应急通信服务，例如灾害场景下为应急救援提供专用通信链路，提升公共服务能力。

资费策略方面，乘客端采用按时长与按航程结合的收费方式，时长套餐可分为基础套餐与进阶套餐，航程套餐可考虑按短途（例如航程短于 2 h）、中长途（如航程大于 2 h、小于 4 h）与长途（如航程大于 4 h）定价，同时与航司会员体系绑定，提升用户黏性；航司端可按飞机月均流量收费。

5 结束语

本文围绕 5G ATG 核心网开展研究，通过对比卫星与 ATG 方案，明确 ATG 方案在性能、成本上的优势，基于兼容性、可靠性等原则设计

“地面-空口-机载”的 ATG 网络分层架构，研究后路由地址管理、差异化 QoS 保障、ATG 与卫星协同等关键技术，通过对比两种部署方案为不同场景提供组网选择，结合多元商业模式为工程落地提供实施路径。未来需要进一步探索 ATG 与卫星双模深度融合，完善空天地一体化网络。

[作者简介]

- 孙逊（1985-），女，中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师，主要研究方向为移动通信核心网、5G 专网。
- 宋旭光（1997-），男，中国移动通信集团设计院有限公司工程师，主要研究方向为移动通信核心网。
- 马洪源（1984-），男，中国移动通信集团有限公司、信高级工程师，主要研究方向为移动通信核心网。
- 冯志强（1981-），男，中国移动通信集团设计院有限公司工程师，主要研究方向为移动通信核心网。
- 卢友伟（1998-），男，中国移动通信集团设计院有限公司工程师，主要研究方向为移动通信核心网。