基站无线回传技术研究

Research on Wireless Backhaul Technology of Base Station

刘　振（中兴通讯股份有限公司，陕西 西安 710114）
Liu Zhen（ZTE Corporation，Xi'an 710114，China）

摘　要：
有些场景光纤传输部署困难、成本高、周期长，需研究使用无线传输将基站和核心网连通。首先介绍了无线回传的应用场景，详细论述和对比了实现无线回传的可行技术方案，分析了无线回传中头开销、MTU和时延的影响，为特定场景使用无线回传方案提供了参考。

关键词：
无线回传；接入回传一体化；桥接模式；虚拟专用网
doi：10.12045/j.issn.1007-3043.2024.03.014
文章编号：1007-3043（2024）03-0069-07
中图分类号：TN929.5
文献标识码：A
开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

Abstract：
In some scenarios，it is difficult to deploy optical fiber backhaul，the cost is high，and the period is long. Therefore，it is necessary to use wireless backhaul to connect base stations and the core network. It first introduces the application scenario of wireless backhaul，discusses and compares the feasible technical solutions to implement wireless backhaul，analyzes the impact of header overhead，MTU and delay in wireless backhaul，and provides a reference for using wireless backhaul solutions in specific scenarios.

Keywords：
Wireless backhaul；Integrated access and backhaul；Bridge mode；Virtual private network

引用格式：刘振. 基站无线回传技术研究[J]. 邮电设计技术，2024(3)：69-75.

0 引言

光纤传输时延低、带宽大，为基站连接核心网的首选，但存在成本高，挖沟埋缆施工难度大和周期长等问题[1]，同时当业务需求不高时，光纤传输带宽利用率不高，投入产出比低。特定场景下卫星、微波和无线回传技术可弥补有线回传的不足。卫星回传部署容易，使用灵活，但资费贵、传输带宽小、时延大，多用于应急通信场景。微波回传技术成熟、传输带宽大、时延低，但成本高、施工困难、易受雨、雾等外部条件影响。另外，微波频段高，衍射能力较差，只能在视距（Line of Sight，LOS）条件下使用，很难应用于非视距（Non Line of Sight，NLOS）场景[2]。

随着无线通信技术发展，4G/5G带宽更大、调制阶数更高、天线更多[3]、容量更高，可提供无线回传。本文首先分析3GPP中4G/5G无线回传方案，并详细讨论了基于现有技术实现无线回传的其他方案，并对各种无线回传技术进行了对比。

多种回传方式各有利弊，需根据实际情况进行选择，表1所示为多种回传方案的对比。

1 无线回传应用场景分析

4G/5G无线回传的宿主基站不仅能为普通用户提供无线回传，还能够为缺乏传输资源的基站提供无线

收稿日期：2024-01-30

表1 各种回传方案对比

回传方式	有线回传	卫星回传	微波回传	无线回传
频谱资源	-	专用授权频谱	专用授权频域	专用授权频谱
容量	极高	较低	高	中
时延	短	长	短	中
干扰	-	可控	可控	可控
回传距离	大	大	和站高及所处环境相关	同基站和终端高度、天线增益、频段相关
应用场景	具备有线回传的场景	偏远地区、海面、应急通信等	海岛、有线传输无法部署等场景	无线覆盖可达，容量需求低
成本	较高	成本和资费都较高	成本高	低
安装难易	挖沟埋缆、海底光缆部署困难	部署容易，需打通卫星信关站到核心网链路	安装调试困难	安装调试简单

回传，在一些特殊场景可以使用。

1.1 传输部署困难场景

海岛站点部署海底光缆成本高、施工困难、施工周期长，网络容量需求不大的海岛可用无线回传方式建站。人口稀少的农村、山区等区域对网络容量小，只要有信号覆盖即可，也可以通过无线回传建立基站，既能满足覆盖需求，又能够降低建网成本。

1.2 超密组网场景

随着无线用户数的飞速增长和业务类型的层出不穷，5G超密集组网技术可极大扩展网络容量，提高网络覆盖范围，为用户提供更好的使用体验[4]。但5G超密集组网时，数量众多的小站采用有线电缆或光纤回传会导致部署和租赁成本、站址选择和维护成本都较高。基站密集部署场景下，每个小基站业务容量需求波动较大，回传链路可能处于空闲状态，会导致有线回传链路使用效率低，也造成投资成本浪费[5]。

5G系统引入了更大系统带宽，FR1（Frequency Range）单载波最大可支持100M带宽，FR2单载波最大可支持400M带宽，还可通过载波聚合扩大带宽，提高系统吞吐量。所以，5G小区高速率不仅能为接入用户提供服务，还具备为基站提供回传的能力，因此3GPP协议在R16引入了IAB（Integrated Access and Backhaul）功能[6]。

超密集组网场景下引入IAB具有如下优势。

a）不须有线连接，可进行灵活传输节点部署，有效降低部署成本和站址选择难度。

b）接入和回传都使用无线传输技术，减少频谱及硬件成本。

c）可根据网络负载情况自适应调整接入和回传资源分配比例，提高无线资源利用率。

1.3 移动基站场景

随着乘坐地铁、高铁、邮轮旅游人数的增加，这些交通工具内部对网络需求也增加，而地铁、高铁、邮轮的材料对无线信号衰减较大，正常基站很难覆盖到其内部，可通过部署移动基站并通过无线回传实现舱内基站和核心网连接。

随着无人机技术的发展，在应急通信场景，可使用无人机搭载空中移动基站，快速实现对受灾区域无线网络覆盖[7]。无人机空中移动基站回传方式也可采用无线回传方式解决。

2 无线回传技术分析

移动通信网络包含终端、接入网、传输网和核心网4个部分，终端、基站和核心网各网元分别处理不同协议层，各有分工不可或缺。因此，要实现无线回传，无线回传网络也需要包含终端、接入网、传输网和核心网的完整无线网络，如图1所示。

为了实现无线回传，将一套完整的无线网络部署在基站和核心网之间，对设备部署和维护都产生较大影响，需简化无线回传网络架构。主要有2种技术路线：一是将宿主核心网功能下沉到宿主基站，可减少传输和宿主核心网，会增加宿主基站功能；另一个是将宿主核心网和中继核心网共享，核心网需同时处理宿主基站和中继基站业务。

2.1 LTE Relay技术

LTE Relay为LTE-Advanced关键技术之一，可扩大小区覆盖范围，提升终端边缘速率[8]，采用核心网下沉到宿主站技术路线。3GPP定义的LTE Relay网络架构如图2所示[9]。

LTE Relay架构包含3种子架构，其中Alt.1为基本架构，宿主站对应的核心网为独立设备。Alt.2将宿主站对应的核心网SGW（Serving Gateway）/PGW（Packet

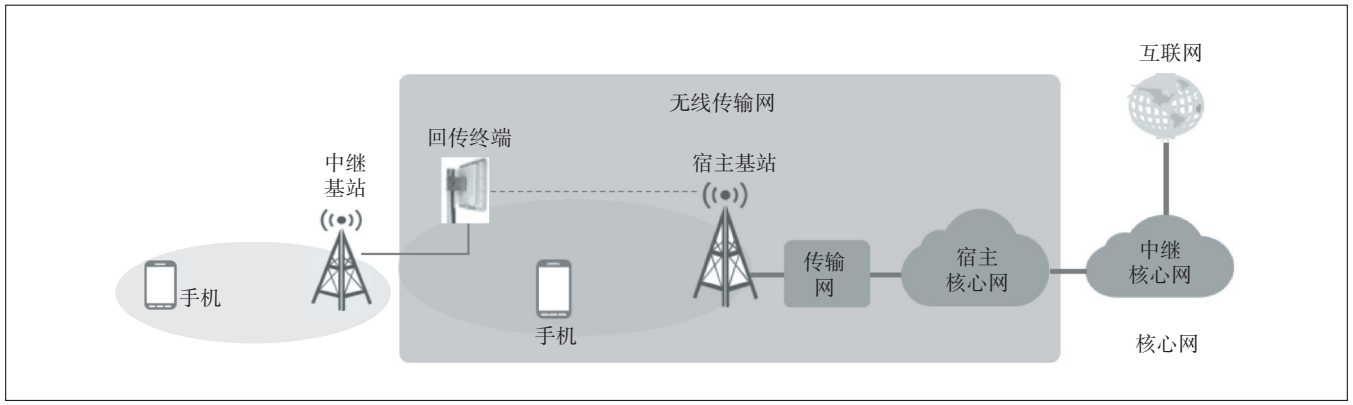

图1　无线回传网络架构

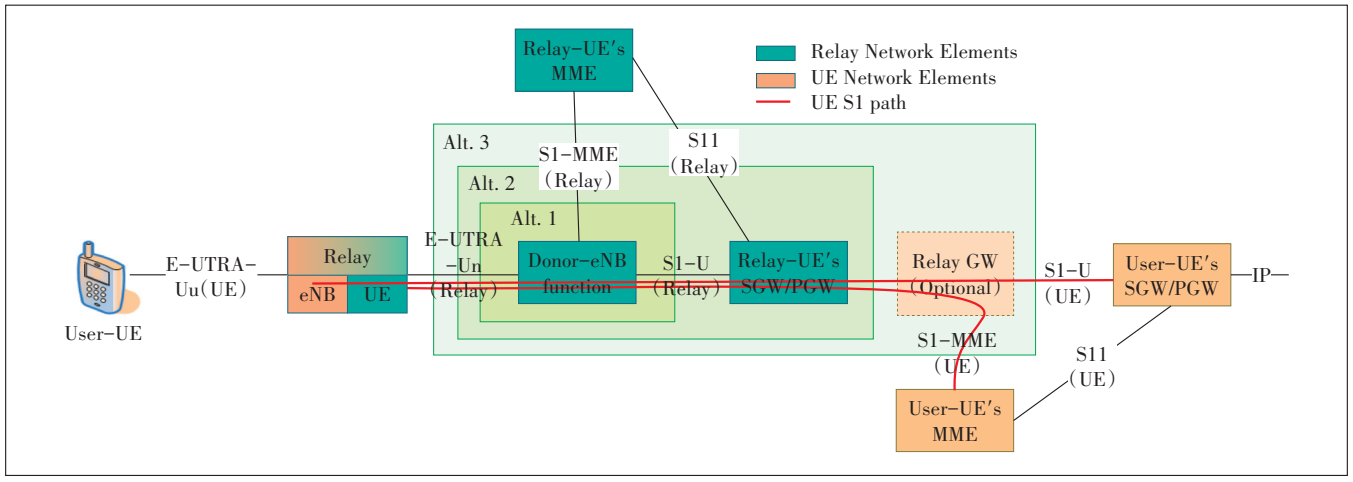

图2　3GPP定义LTE Relay架构

Data Network Gateway)下沉到宿主基站,并且增加了Relay GW代理功能。Alt.3将宿主站对应的核心网SGW/PGW下沉到宿主基站。从图2的架构来看,宿主站对应的核心网MME(Mobility Management Entity)还是独立部署,实际产品实现时还可以把宿主核心网MME也下沉到宿主基站,进一步减少设备数量。

从图2可以看出,Relay回传设备和宿主基站间采用Un接口,宿主基站能够识别出回传设备并对其做单独处理,同时Relay设备对应的核心网功能下沉到宿主基站,对宿主基站的软件和硬件功能都有很高要求,产品实现也更复杂[10]。

2.2 NR IAB技术

5G定义的无线回传技术为IAB,LTE Relay采用核心网下沉到宿主站的技术路线会导致宿主基站实现复杂,5G吸取了LTE Relay经验,并结合CU(Centralized Unit)和DU(Distributed Unit)分离架构,IAB采用F1接口对CU和DU进行无线中传[11],这种架构对核心网改动较小,具体网络架构如图3所示[12]。

IAB规范考虑了支持NAS(Non-Standalone)和SA(Stand alone)2种组网方案[13]。为了能够对数据进行路由、流控,在空口引入了新协议层BAP(Backhaul Adaptation Protocol)[14],因此,IAB需要5G的DU同时支持2套空口协议栈,IAB控制面和用户面协议栈如图4所示。

5G无需宿主站实现核心网功能,相对4G来说更简单,但需要支持2套空口协议栈,还需要支持流控、路由等功能,无线基站实现复杂度也比较高。

无论是LTE Relay还是NR IAB都涉及到软件和硬件开发,而且LTE和NR无线回传架构差异较大,不能通过简单升级支持LTE Relay到NR IAB演进。因此,本文研究了其他无线回传方案,最大程度上使用现有技术和设备实现无线回传功能,避免基站软件和硬件大量开发工作。

2.3 桥接模式无线回传

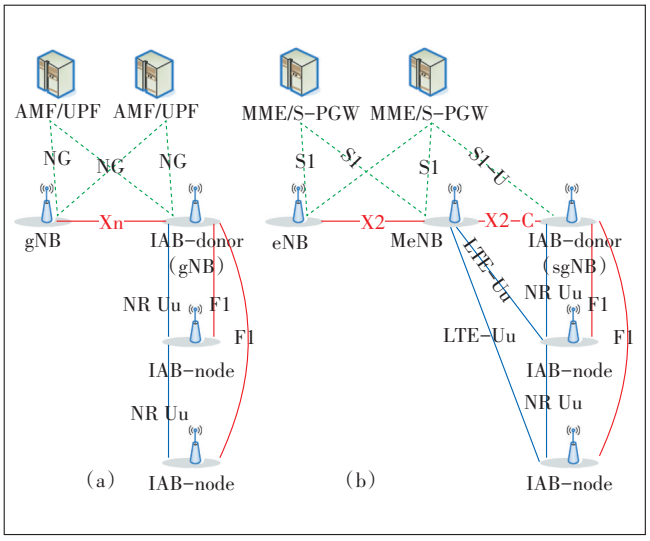

图3 IAB网络架构

LTE Relay和NR IAB都导致宿主基站软硬件有较大开发工作量，因此下面主要研究宿主和Relay基站共用核心网技术路线，宿主基站不需要实现核心网任何功能，减少了基站软件开发工作[15]。为了更进一步降低回传模块硬件开发难度，可使用室外CPE（Customer Premise Equipment）设备作为回传设备，CPE使用有线和Relay基站连接，网络架构如图5所示。

宿主基站直接通过有线传输与核心网和网管连接，Relay基站可实现与宿主基站共核心网和网管。对用户面数据处理，Relay基站和宿主基站都会封装GTP（General Data Transfer Platform）报文头，因此Relay基站报文首先需要核心网UPF/PGW将宿主基站GTP报文解封装后再根据目的IP地址进行转发。比如，Relay基站控制面报文经过回传CPE、宿主基站到UPF/PGW，UPF/PGW剥掉GTP报文头后转发到AMF/

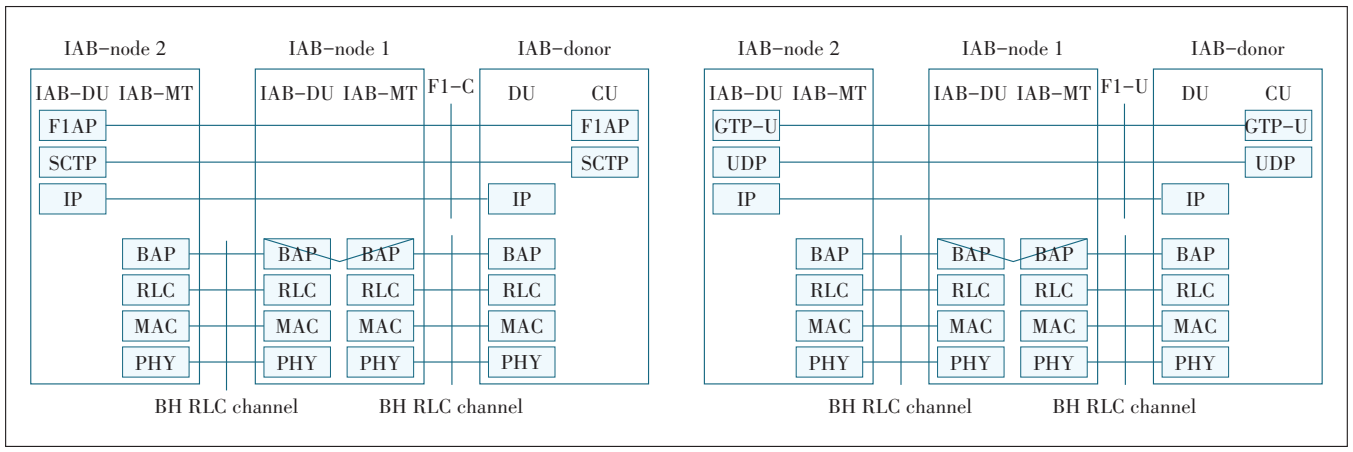

图4 IAB协议栈

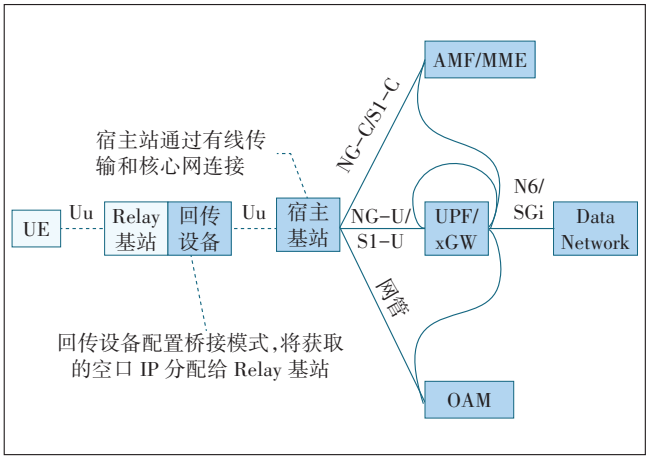

图5 CPE Relay网络架构

MME；Relay基站用户面和管理面处理类似Relay基站控制面，下行数据的封装按照相反步骤操作。

CPE空口IP由UPF/PGW分配，Relay基站IP为规划IP地址，UPF/PGW无法识别，为解决该问题，将CPE配置为桥接模式，CPE桥模式相当于桥梁管道，作为网络中转，将获取的空口IP分配给Relay基站，从而使UPF/xGW能识别出Relay基站IP。采用桥接模式的无线回传方案各设备控制面协议栈如图6所示。

使用桥接模式无线回传方案，核心网SGW/PGW的路由改造后，回传CPE如果支持4G/5G就能够灵活支持4G/5G无线回传，也方便从4G无线回传演进到5G无线回传。

2.4 隧道模式无线回传

由于CPE仅能获取1个空口IP地址，桥接模式无线回传时Relay基站只能使用1个IP，无法实现Relay

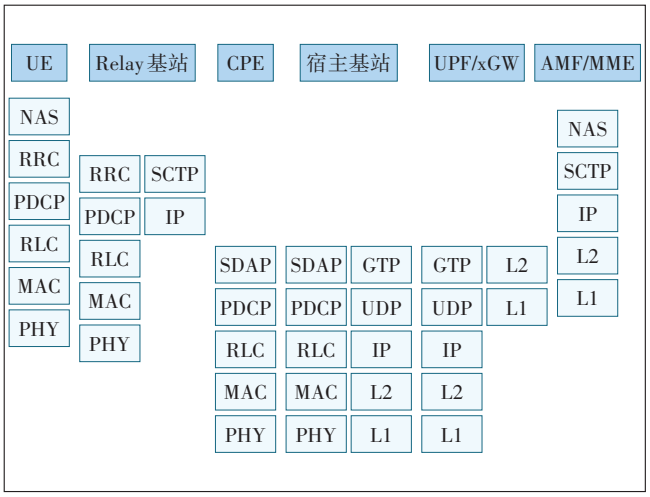

图6　桥接模式无线回传控制面协议栈

基站控制面、用户面、管理面分IP部署。为解决该问题可采用隧道模式无线回传，在UPF/PGW后面部署1台Relay GW设备，同时Relay GW与核心网控制面、用户面和网管连接，回传CPE和Relay GW建立VPN（Virtual Private Network）隧道，在Relay基站报文基础上封装包含CPE空口IP的报文头，隧道模式无线回传网络架构如图7所示。

采用隧道模式无线回传可使用L2TP（Layer 2 Tunneling Protocol）隧道、IPSec隧道模式、VxLAN、GRE（Generic Routing Encapsulation）等VPN隧道模式。隧道模式可以实现Relay基站使用多个IP地址，但是会增加IP报文协议头开销。使用L2TP隧道的Relay回传的控制面和用户面数据流如图8和图9所示。

2.5 多种无线回传技术对比

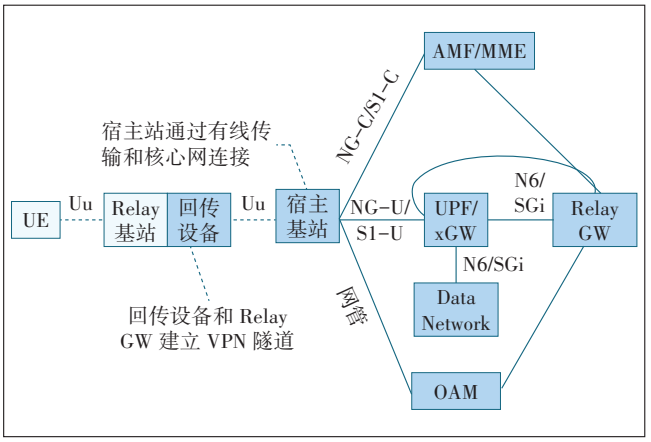

图7　隧道模式无线回传网络架构

3GPP协议定义LTE Relay和NR IAB无线回传技术功能完备，但对回传设备、宿主基站和核心网都有改动，实现成本度高，而且异厂家支持比较困难。为了降低开发难度，可以采用另外2种无线回传方案。表2所示为几种无线回传方案对比。

3 无线回传性能分析

3.1 性能分析

使用室外回传CPE进行回传时，CPE一般位于宿主基站的中远点，宿主站下面还有其他用户，故CPE很难达到上下行峰值速率，另外Relay基站会增加GTP协议头，以及Relay站的控制面和管理面的开销。因此，Relay站小区的速率小于CPE的速率。从分析来看，Relay站用户报文长度越小，则头开销占比越大，Relay站用户报文长度越大，则头开销占比越小，报文

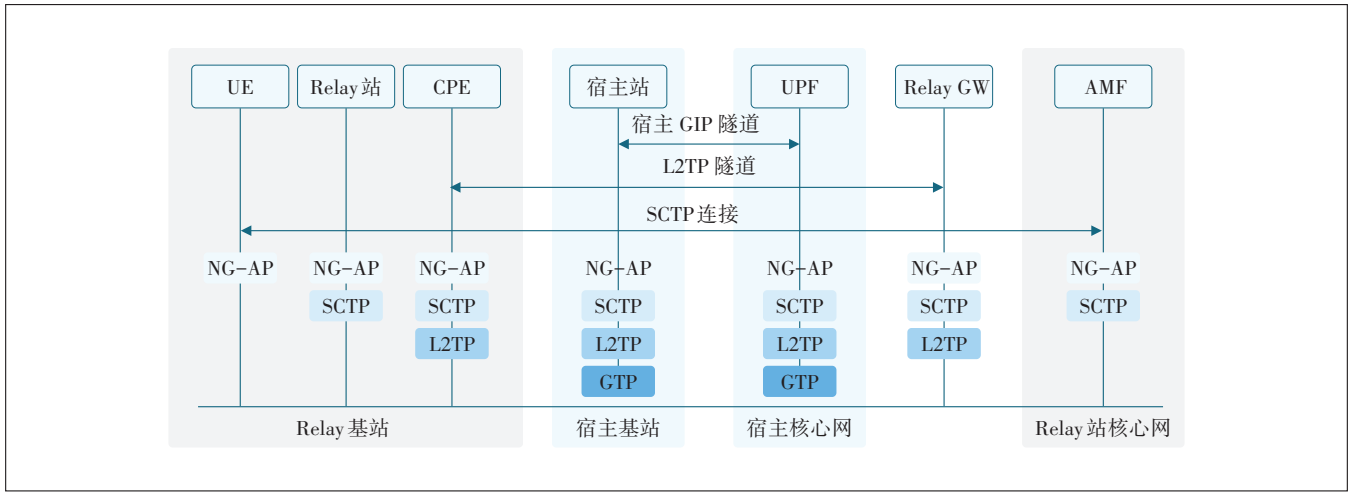

图8　隧道模式无线回传控制面

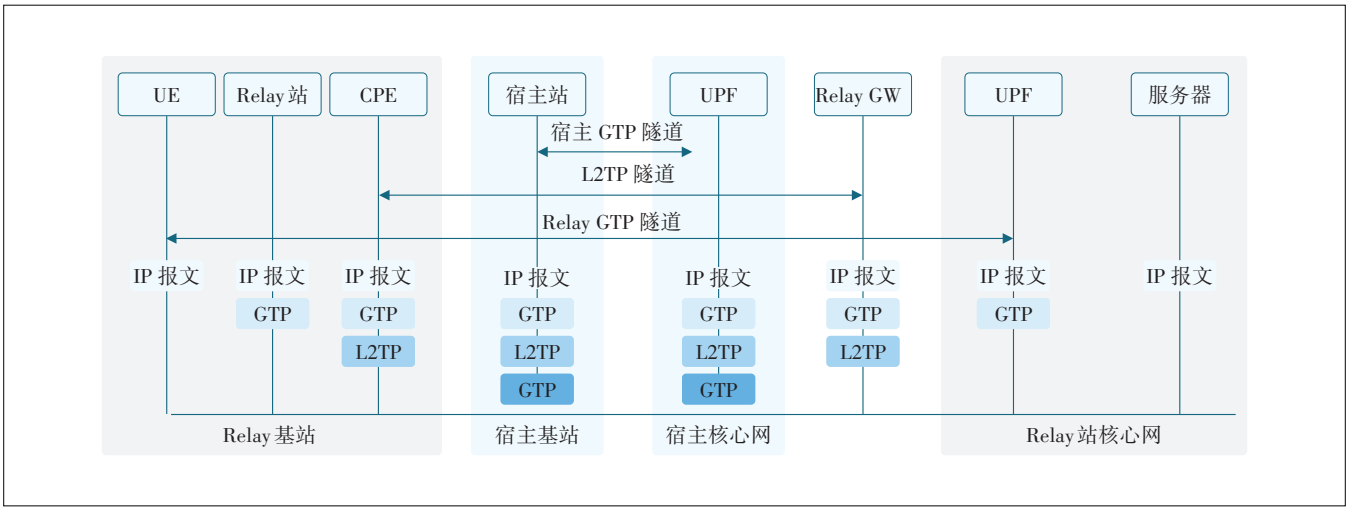

图9 隧道模式无线回传用户面

表2 多种回传方案对比

方案名称	Relay基站	回传设备	宿主基站	核心网	传输网络
LTE Relay	支持LTE	新开发硬件	4G基站，支持Uu和Un 2种空口，很难支持异厂家	无要求	无改造
NR IAB	支持NR	新开发硬件	5G基站，支持2套空口协议，很难支持异厂家	识别出IAB-MT	无改造
桥接模式无线回传	可支持多制式，Relay站只能单IP	室外CPE	4G或5G基站，无特殊功能要求，可支持异厂家	无要求	路由改造
隧道模式无线回传	可支持多制式，Relay站可多IP	室外CPE	4G或5G基站，无特殊功能要求，可支持异厂家	无要求	新增Relay GW，并进行路由改造

长度为1 300 B时，头开销在10%以下。桥接模式方案头开销占比最小，IPSec隧道方案头开销占比最大，所以在没有特殊安全要求的情况下，没有必要使用IPSec隧道模式。无线回传方案主要通过Relay基站扩展覆盖，对容量基本没有提升。图10所示为不同无线回传方案头开销的对比。

在使用IPSec隧道方案实现Relay回传测试时，回传CPE的上/下行速率分别为：78.3/8.3 Mbit/s，Relay站用户上/下行速率分别为：68.6/6.36 Mbit/s，无线回传带来的头开销在10%左右，基本符合上面分析。

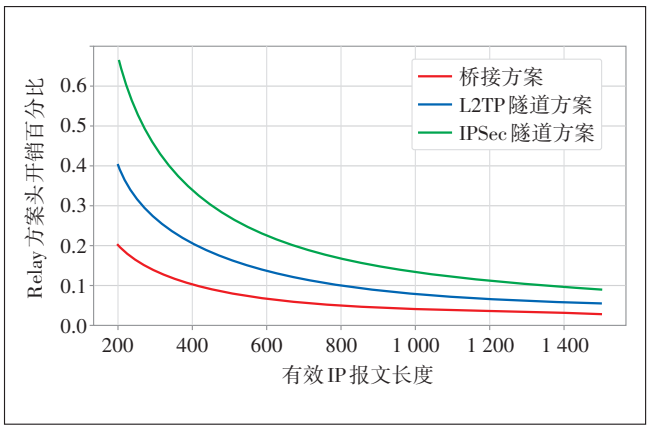

图10 不同无线回传方案头开销对比

3.2 Relay基站MTU设置

一般情况下设备的MTU（Maximum Transmission Unit）为1 500 B，如果Relay站下用户的MTU较大时，经过Relay基站增加GTP协议头、CPE增加协议头、宿主基站再增加协议头，会导致一个IP报文被分成多片发送，不仅会因为设备的分片处理降低性能，同时也增加了乱序和设备重组IP报文的时间。因此需要将Relay基站的MTU设置得小一点，在增加了协议头后还保证小于1 500 B。考虑增加了协议头，Relay站的MTU取值如表3所示。

表3 Relay站报文MTU设置

用户面		控制面		管理面	
IP报文	≤1 372	IP报文	≤1 388	IP报文	≤1 372
GTP	44	SCTP	28	GTP	44
L2TP	40	L2TP	40	L2TP	40
GTP	44	GTP	44	GTP	44

如果使用L2TP隧道时，Relay站MTU建议小于等于1 350 B，其他隧道方式，按照该方法对Relay基站设置合理的MTU值。

3.3 时延分析

与普通基站的时延相比，无线回传方案会导致时延增加，主要包括回传CPE的空口时延增加、通过xGW的Sgi口再转到目的网元的时延增加及相关设备的处理时延。总体时延增加20~30 ms（见图11）。

CPE的时延（Ping时延，包大小为32 B）为40 ms，Relay站用户时延（Ping时延，包大小为32 B）为72 ms，

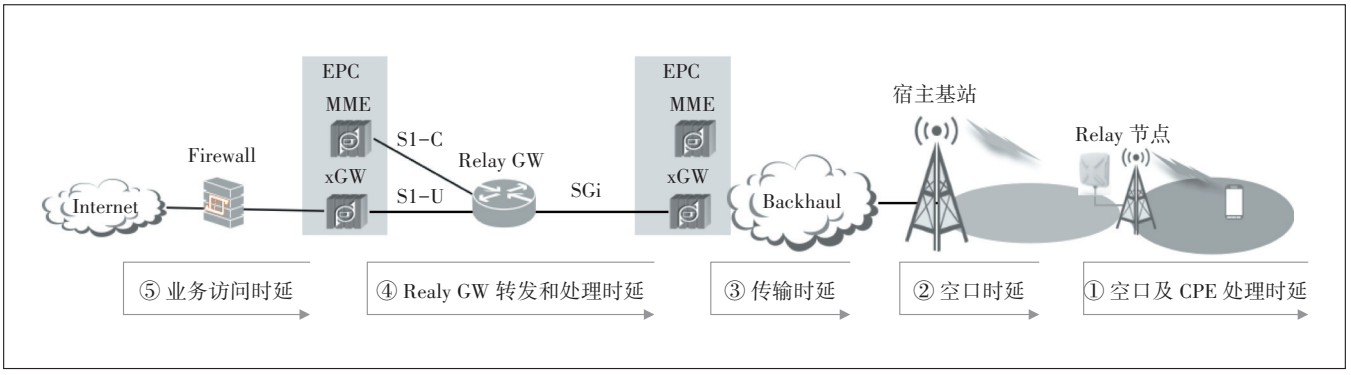

图11　无线回传时延分析

时延增加32 ms；CPE时延（Ping时延，包大小为1 500 B）为50 ms，Relay站用户时延（Ping时延，包大小为1 500 B）为91 ms，时延增加41 ms，这也说明了分片会导致时延的增加。

4 结束语

本文介绍了无线回传的必要性和主要应用场景，分析了实现无线回传的2种技术路线。详细分析了3GPP协议定义的LTE Relay回传、NR IAB的无线回传方案和其他几种无线回传方案，分析了头开销对Relay站性能的影响，给出了合理设置Relay基站MTU的方法，分析了Relay回传的时延增加情况。不同的无线回传方案各有优势，可以根据成本、实际需求等选择不同的无线回传方案进行部署。

参考文献：

[1] 魏巍，王增，张伟，等. 新一代海底光缆综合信息传输网技术发展现状[J]. 光通信技术，2022，46(4)：61-67.
[2] 吴炯翔，黎炜珺. 微波通信在5G回传中的应用研究[J]. 通讯世界，2021，28(4)：11-12.
[3] 3GPP. User equipment (UE) radio access capabilities：3GPP TS 38.306[S/OL]. [2023-10-08]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
[4] 周桂森. 5G超密集组网关键技术与组网架构探讨[J]. 电信工程技术与标准化，2020，33(10)：64-67.
[5] 刘晓峰，沈祖康，王欣晖，等. 5G无线增强设计与国际标准[M]. 北京：人民邮电出版社，2020.
[6] 冯桂敏，吴国良，韦凤. 5G网络基站无线回传技术研究[J]. 电信技术，2018(8)：12-14.
[7] 刘振. 空天地一体化应急通信研究[J]. 移动通信，2022，46(10)：47-52.
[8] 李昶，安静. LTE-Advanced系统中Relay技术的研究与应用[J]. 移动通信，2015(13)：82-86.
[9] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)；relay architectures for E-UTRA (LTE-Advanced)：3GPP TR 36.806[S/OL]. [2023-10-08]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
[10] 石朗昱，马玲. Relay无线回传技术在TD-LTE组网方案中的应用研究[J]. 电信工程技术与标准化，2017，30(2)：41-43.
[11] 张会丽. NR集成接入和回程技术3GPP标准演进[J]. 通信技术，2021，54(3)：624-627.
[12] 3GPP. NR and NG-RAN overall description；Stage-2：3GPP TS 38.300[S/OL]. [2023-10-08]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
[13] 焦慧颖，张莉，李红阳. 无线接入回传一体化关键技术及标准化进展[J]. 移动通信，2022，46(2)：13-18.
[14] 3GPP. Backhaul Adaptation Protocol (BAP) specification：3GPP TS 38.340[S/OL]. [2023-10-08]. ftp://ftp.3gpp.org/Specs/.
[15] 赵林青. 基于LTE的无线回传系统的实现与性能分析[D]. 北京：北京邮电大学，2014.

作者简介：
刘振，毕业于南昌大学，工程师，主要从事4G和5G无线通信系统的无线回传、应急通信相关领域产品规划工作。