

doi:10.13756/j.gtxyj.2016.06.016

无线通信技术

RoF 技术在光纤宽带接入中的应用

田宇兴, 江 鹏, 刘永飘, 李 栋, 白 天

(武汉虹信通信技术有限责任公司, 武汉 430073)

摘要:部署缺乏灵活性是光纤宽带接入的主要问题之一,文章提出了一种 RoF(光载无线)技术在宽带接入中的应用系统,光纤传输选取较低的频率以降低对激光器的要求,并通过 SDM(副载波复用)和 WDM(波分复用)的结合来提高光纤利用率,根据应用场景选用定向微波天线进行多点覆盖。该方案实现了单光纤最多承载 48 个用户、单用户最高 35 Mbit/s 速率的宽带接入。实验结果表明,该系统可有效实现用户宽带接入,并且成本低、易实现。

关键词:光载无线;宽带接入;复用

中图分类号: TN929

文献标志码: A

文章编号: 1005-8788(2016)06-0056-03

Application of RoF Technology in Fiber Broadband Access

TIAN Yu-xing, JIANG Peng, LIU Yong-piao, LI Dong, BAI Tian

(Wuhan Hongxin Telecommunication Technologies Co., Ltd., Wuhan 430073, China)

Abstract: Lack of flexibility in the deployment is one of the main issues of fiber broadband access. An application system is proposed to use RoF (Radio over Fiber) technology in broadband access. In fiber transmission, a lower frequency is selected to reduce the requirements for laser, and improve the utilization of fiber by combining SDM and WDM. According to the application, directional microwave antenna is selected to cover multi-user. In the system, maximum 48 users can be supported over one single fiber and the speed for each user can reach 35 Mbit/s. Experimental results show that the system can effectively achieve the broadband access, which is more economic and easier to realize.

Key words: RoF; broadband access; multiplex

0 引言

在当前宽带接入网中,接入方式主要以光纤接入为主、无线接入为辅。在无线化和宽带化的需求下,RoF(光载无线)技术结合了光传输带宽大、传输距离远、无线传输接入灵活和部署快捷的优点,一直是研究的热点。本文通过对比当前 RoF 的实现方案,对其关键方案的选择进行了讨论。通过实验系统,在经济性和易实现性方面对 RoF 技术在宽带接入中的应用进行了研究。

1 关键方案对比

1.1 光纤信道的复用

目前,主流的信道复用技术有 WDM(波分复用)、TDM(时分复用)、CDM(码分复用)和 SDM(副载波复用)。其中,TDM 需要精确的时钟同步来做时隙控制,而宽带接入应用对同步要求并不高;CDM 具有很强的抗干扰性,主要用于移动通信 CDMA(码分多址接入)系统,但在外界干扰可以忽略的光纤通信中并不能体现其技术优势。因此上述两种复用方式不适用于宽带接入场景。

WDM 是光纤通信中最常用的复用方式,它可以极大地扩展光纤容量的利用率,大大降低建设成本,同时线路上用到的复用/解复用器均为无源器件,不会给系统可靠性引入不稳定因素。但因为使用了多个光波长,在发送端需要多个激光器。

SCM 实际上是在射频上的频分复用,复用的几个用户载波可以共用一个激光器,且扩展了可承载的用户数。缺点是几个副载波的合并提高了信号总功率,提升了对传输链路上有源器件的线性要求。

1.2 无线频率的选择

RoF 系统的无线覆盖频率一般选择毫米波频段,因为其具有较纯净的频率资源且干扰较小,宽而连续的频谱可满足大带宽应用的要求。同时,毫米波在空间传输时随传输距离的增加迅速衰减,在 RoF 初始应用的移动通信场景中,可以更好地避免相邻小区的干扰,提高频点复用率。因此目前 RoF 技术研究选择的无线频率一般为 20 和 60 GHz 这两个大气传输高损耗窗口。

对于调制在光纤上的载波频率,一般与无线覆盖为同一频率,即在发送端直接通过毫米波激光器产生毫米光波,由光纤传输至接收端,再直接光/电

收稿日期:2016-08-31

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX03001002)

作者简介:田宇兴(1973—),男,湖北武汉人。高级工程师,硕士研究生,主要从事微波通信、移动通信设备系统的研究和开发。

转换为微波信号。也可以采用上下变频的方式,即在发送端产生一个频率较低的中频信号,调制成光信号传输至接收端,在接收端转成电信号后,再上变频至无线覆盖频率。两种方式的优缺点分别为:(1)采用同一频率的方式,分布站只需要进行光/电转换和微波收发,可使分布站成本更低、更易维护。但调制带宽在 10 GHz 以上的毫米波激光器实现难度大、价格高。另外,光纤中传输信号的频率越高,色散引起的信号失真越大,因此会缩短传输距离,降低链路性能。虽然目前毫米波产生技术中已有采用间接调制的方式,例如电吸收、外加铌酸锂调制器等来克服直接调制加剧的色散影响,但这又增加了激光器的技术难度和成本。(2)采用上下变频的方式,在光纤中传输一个频率较低的中频信号,普通的模拟激光器即可胜任,并且可以减弱色散对传输距离和信号质量的影响,但在分布站需要进行微波上下变频。由于数字微波通信发展至今,微波上下变频技术已非常成熟,因此实现上并没有困难。

1.3 覆盖方式

在移动通信的应用场景中,由于用户端位置不固定,RoF的无线覆盖部分一般采用分布式全向天线。高频微波信号在空间传输时损耗很大,而在无源全向天线中,微波信号是不能获得增益的,因此系统中需要多个基站或分布天线来覆盖整个区域。

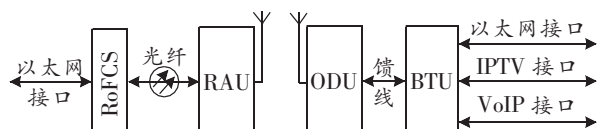
在固定宽带接入场景中,一般是小区和企业用户,用户一旦确定,其位置是固定的,因此可以根据用户位置分布,选择方向性合适的定向天线来做覆盖,以减少覆盖天线的数量。

2 实验系统

2.1 系统概述

本文所提实验系统在 RoFCS(局端中心站)将宽带 IP(互联网协议)业务经数字处理后调制成射频载波,再直接调制成光信号,借用 FTTH(光纤到户)的光纤网络承载 RoF 光信号的长距离传输。在覆盖小区,将光信号转换成射频信号进行短距离的无线覆盖。在用户端,室外设备接收射频信号并下变频,通过馈线引入到室内设备完成解调,并还原成宽带业务。

将覆盖区域实现光/电和电/光转换、射频收发的设备称为 RAU(远端天线单元),将用户侧收发射频信号并进行上下变频的设备称为 ODU(室外单元),将用户侧数字处理及提供业务接口的设备称为 BTU(宽带传输单元)。实验系统框图如图 1 所示。



注:IPTV为互联网电视;VoIP为互联网电话

图1 RoF应用在宽带接入的实验系统框图

2.2 频率选择

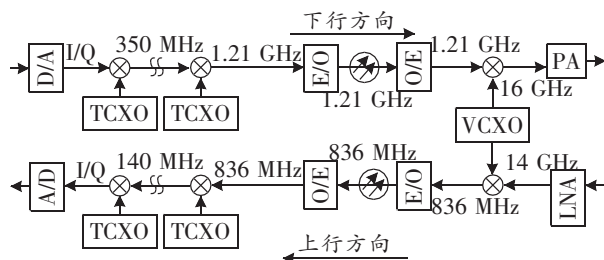
从经济性和易实现上考虑,我们采用了上下变频方式。采用 TRF2443 收发器将模拟 I/Q(同相/正交)信号调制到 350 MHz 中频(接收 140 MHz)。TRF2443 同时还集成基带/中频放大和正交调制解调,这是数字微波通信中常用的方案。

采用 ADL5367 混频器将中频信号搬移至 1.21 GHz 射频(接收 836 MHz)。ADL5367 具有 500~1 000 MHz 的输出频率范围,IIP3(输入三阶交调截取点)达 34 dBm,是 GSM(全球移动通信系统)中常用的混频器。

采用模拟激光器将 1.2 GHz 射频信号直接调制到光波上进行拉远,由于载波频率降低,可以采用直接调制方式,对激光器要求不高。

在覆盖频率的选择上,考虑到一般的固定宽带接入并不需要达到 Gbit/s 级别的用户速率。20 GHz 以下频段的可用带宽足以满足百兆级别的传输速率。在实验系统中,我们采用了 14~16 GHz 的覆盖频率。

下行方向,RAU 内部光/电转换还原成 1.21 GHz 射频,再上变频至 16 GHz 进行覆盖。上行方向,RAU 接收 14 GHz 信号下变频至 836 MHz。选择该覆盖频率是考虑到 12~16 GHz 频率微波设备在国内应用较多,该频率范围的微波器件(本振、混频、功放及低噪放)在价格和获取渠道上更适合规模商用。图 2 所示为系统中 RoF 部分的频率变换示意图。



注:D/A为数/模转换;A/D为模/数转换;E/O为电/光转换;
O/E为光/电转换;PA为功率放大器;TXCO为温补晶振;
LNA为低噪声放大器;VCXO为压控振荡器。

图2 RoF部分频率变换示意

2.3 实现的用户数和用户速率

综合考虑技术实现难度和每用户的部署成本,

所提实验系统采用了 WDM 与 SDM 相结合的复用方式。

设计的单个信道带宽为 56 MHz,符号速率为 50 Msymbol/s,采用 QAM(正交幅度调制),最高调制方式定为 32QAM,即每个符号携带 5 bit 信息。则单个信道最大传输速率为 $50 \text{ Msymbol/s} \times 5 \text{ bit} = 250 \text{ Mbit/s}$ 。当前普通家庭用户对带宽的需求不会达到这个级别,因此,在单个信道内,我们采用了 SDM 进行频域上的复用,以增加系统支持的用户数。同时,为了提高频谱利用率,对于用户副载波的调制,我们采用了 OFDM(正交频分复用)方式,各个副载波因其正交性以很小的间隔排列在频谱上,不会相互干扰。下行光纤的载波中心频率为 1 221 MHz,上行为 836 MHz。

在用户数量和单用户带宽折衷后,我们在单个信道带宽中共排列了 6 个用户副载波,即 6 个副载波的复用。调制成光信号后,每个光波长上承载的用户数扩展了 6 倍。每个用户载波占用射频带宽约为 8 MHz,32QAM 时速率约为 35 Mbit/s,16QAM 时速率约为 28 Mbit/s,QPSK(正交相移键控)时速率约为 14 Mbit/s。

图 3 所示为 16QAM 调制方式下用户速率监测图。由图可知,用户净速率最高可达 25 Mbit/s,加上开销,与理论速率 28 Mbit/s 相符。

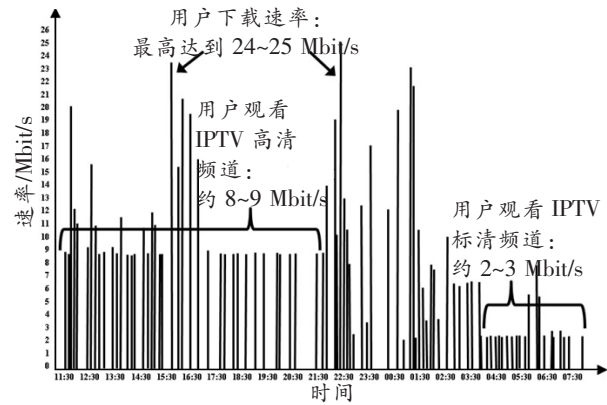


图 3 16QAM 调制方式下用户净速率监测

采用 WDM 进行光波的复用,RoFCS 处调制出的多个光载波聚到复用器上合路,在一根光纤中传输到覆盖区。色散会导致传输信号产生脉冲畸变,复用器和解复用器的插入损耗也是限制 WDM 复用数量的因素。经评估后,实验系统采用 8 对(双向)光波长进行复用,波长分布在 1 310 和 1 550 nm 这两个光纤低损耗窗口附近。

图 4 所示为 WDM 和 SDM 相结合的复用方式,通过 WDM 和 SDM 的结合,RoFCS 和覆盖区之

间的一根光纤最高可承载 $6 \times 8 = 48$ 户用户的业务传输。复用数的提升,带来的是每用户部署成本的下降。

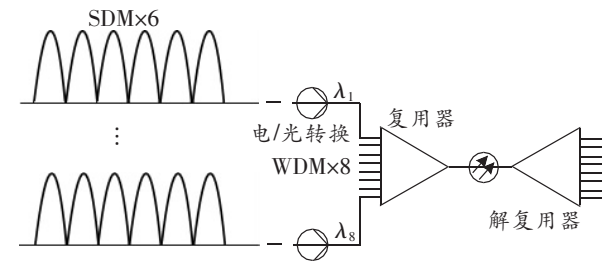


图 4 WDM 和 SDM 相结合的复用方式

2.4 覆盖范围

在实验系统中,用户位于同一小区,位置分布相对集中,我们采用抛物面微波天线进行覆盖。用户侧 ODU 不宜使用大尺寸天线,因此采用了 15 dBi 的小型喇叭天线。0.3 m 口径 15 GHz 抛物面天线的方向图如图 5 所示,其最大增益可达 32 dBi,可兼顾有效覆盖角度和距离,实现对数个固定用户的覆盖。

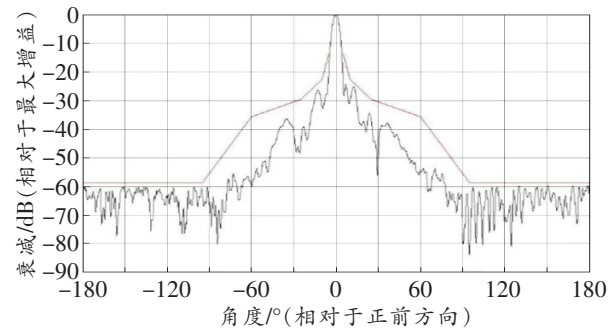


图 5 抛物面微波天线方向图

RAU 下行发射总载波功率最大为 18 dBm,采用 6 个副载波复用,则单个副载波功率 $P_o = 10 \text{ dBm}$ 。考虑衰落储备后,ODU 侧接收门限电平 $S_i = -65 \text{ dBm}$ 。计算有效传输距离 d 时,有 $P_o + G_T - L_s + G_R \geq S_i$,式中, G_T 为发送天线在指向用户方向的增益,可从方向图中查出; G_R 为接收天线的增益,与发送增益相同; L_s 为空间链路损耗,在短距离传输中忽略大气吸收和水汽吸收的影响,空间链路损耗取自由空间损耗,有 $L_s = 92.5 + 20 \lg d + 20 \lg f$,式中, d 为传输距离(单位:km), f 为传输信号频率(单位:GHz)。可以得出,在天线主瓣正前方向,有效传输距离可达 2 km。在正前方 $\pm 5^\circ$ 方向,有效传输距离约 200 m。

在更宽的角度上,用户无法得到最优覆盖,接收信号载噪比下降。为保证系统的可用性,我们采用了自适应调制,即根据接收信号载噪比自动切换调

(下转第 71 页)