

# 超宽带光载无线系统及其关键技术

## Super Wideband Radio over Fiber System and the Research of Key Technologies

中图分类号:TN929.1; TN928 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2009) 03-0021-04

**摘要:**基于微波光子技术的超宽带光载无线(RoF)系统是未来低成本、高性能超宽带无线接入网络的重要解决方案,前人已有许多研究成果。基于已有研究成果,文章设计了基于全光矢量调制技术的光载无线(RoF)系统,使信号的频谱效率进一步提高;基于毫米波相移键控调制的全双工光载无线系统,可以大大简化基站的结构和光纤的铺设;多业务混合传送的光载无线系统,可以同时承载有线和多个无线信号的业务。文章还展示了一种基于RoF的高清视频传输平台。

**关键词:**光载无线系统;超宽带无线通信;光纤通信;微波光子;光无线覆盖

**Abstract:** Super wideband Radio over Fiber (RoF) system is an important solution for the future low-cost and high-quality super broadband wireless access network. Taking into consideration many research results, the RoF system based on optical vector modulation is designed, which can increase the frequency efficiency of signals. Full-duplex RoF system based on millimeter wave phase shift keying modulation is able to simplify the structure of the base-stations and the installment of optical fiber. The multi-services hybrid optical-wireless RoF system has the capability of carrying wired and several wireless signals. The RoF-based High Definition Television (HDTV) transmission test bed is also introduced.

**Key words:** RoF system; super broadband wireless communication; optical fiber communication; microwave photonics; optical wireless convergence

徐坤/XU Kun

殷杰/YIN Jie

李建强/LI Jian-qiang

(北京邮电大学,北京 100876)

(Beijing University of Posts and

Telecommunications, Beijing 100876, China)

能,如光生毫米波、复杂码型的全光矢量调制(如正交幅度调制(QAM)、差分相移键控(DPSK)、UWB信号等)、全光频率变换或混频、微波光子滤波和频谱交叉复用等。与传统的电信号处理方法相比,全光射频信号处理的优点在于高带宽、低损耗、抗电磁干扰、可并行处理、高采样频率等。因此,研究超宽带无线信号(包括毫米波信号)的全光处理及光纤传输技术对于未来低成本、高性能商用超宽带光纤无线接入系统的设计与应用具有重要意义。上述关键技术的突破可以简化远端基站结构,降低系统传输成本并提高系统传输性能、频谱效率、覆盖区域和灵活性,实现超宽带毫米波无线接入与光传输技术的融合<sup>[1-10]</sup>。

### 1 基于全光矢量调制技术的RoF系统

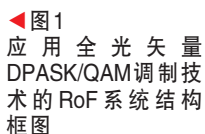
在电路上直接设计和制作高性能的毫米波信号发生器已经十分困难,在电路上实现对毫米波信号进行各种调制格式的高速数字调制则更加困难,因而研究光学毫米波高速数字矢量信号调制和解调器件有着十分重要的意义。本文提出一种全光矢量DPASK/QAM调制技术,并应用在RoF系统,系统结构框图如图1所示,光载波先经马赫-曾德调制器(MZM)调制射频时钟,此处MZM工作在推挽

为了满足日益增长的对高速数据、图像和多媒体业务的需求,宽带接入技术受到广泛的关注。目前,基于铜线的宽带接入技术(如不对称数字用户线(ADSL)、甚高速数字用户线(VDSL)等)已经接近其所能提供的最高速率。随之光载无线(RoF)概念被提出来,用来在光纤无线接入网络中提供固定和移动双重宽带业务接入。RoF技术不仅仅局限于现有微波波段,更高频率的毫米波段(30 ~ 300 GHz)以及超宽带无线信号

(UWB)的应用更能体现出RoF技术的巨大潜力和优势。

RoF技术通过光纤链路在中心局(CO)和远端基站(BS)之间实现无线射频(RF)信号(包括毫米波段)的分发。RoF技术在简化远端基站的同时,也可以在中心局实现功能的集中、器件设备的共享以及频谱带宽资源的动态分配,从而大幅度降低整个宽带无线接入系统的成本。在传统的无线通信系统中,大部分射频信号处理功能是在基站中通过电信号处理器来完成,从而受到诸多成本和带宽的限制。RoF系统中功能集中化的配置和光电域的转换使得在中心局完成一些全光射频信号的处理功能成为可

**基金项目:** 国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2007AA01Z264、2006AA01Z256);国家自然科学基金资助项目(60736002、60702006)

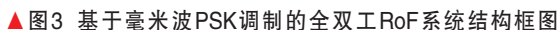


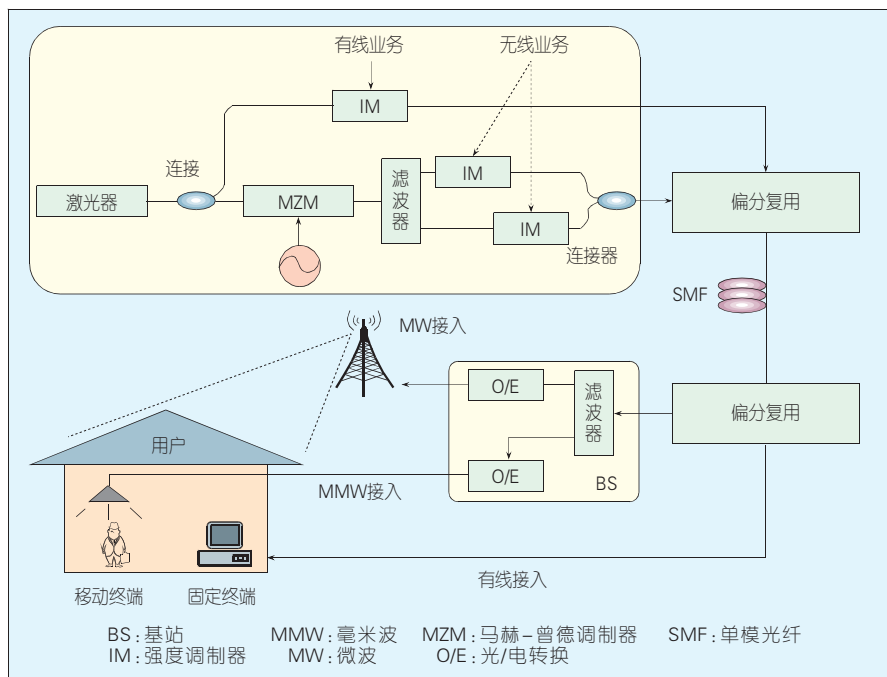
别分开,使上下边带相向通过电光相位调制器(EOPM)。由于EOPM对方向敏感,于是不同方向的光信号所获得的相位偏移不同,这就使得正向通过的上边带的相位变化正比于EOPM上所调制的相位信号,而反向通过的下边带的相位偏移则正比于EOPM上所调制的电信号的平均功率。经两个光环行器后,上下边带被耦合器成一路再进行幅度信号的调制。在接收端经光电二极管差拍后可得到DPASK信号。若EOPM上所加电压为一定比例的相位信号与幅度信号之和时,则可

在图2中为了便于观察, 相位信号为一个2 GHz的时钟信号。根据曲线的光滑性, 由图2可见, 上边带信号同时包含了相位与幅度信号, 而下边带只含有幅度信号。

调制码型是光载无线系统的一项关键技术。用电光相位调制器直接产生调相的信号需要特殊的器件如马赫泽得干涉仪来解调。本文提出一种产生毫米波调相的方法,如图3所示,其中解调与调幅信号完全一样。马赫-曾德调制器偏置在传递函数最低点实现光载波抑制以产生两个边带。用梳状滤波器分离然后分别正向和反向通过电光相位调制器。由于电光相位调制器的正反两个方向调制效率有差异,当电光相位调制器受到外加数据信号的调制时,正向通过和反向通过的两个边带会有不同的相移,这个相移差会受到外加数据信号的调制。这两个边带耦合到一起进行光电转换后,产生的毫米波其相位就是两个边带间的相位差,因而产生的了调相的毫米波信号。

全双工是未来接入系统的趋势。结合以上产生毫米波调相的方法,本





▲图4 多业务混合传送的RoF系统结构框图

文提出简单可靠的全双工设计。此方案主要基于半反射的光纤光栅(反射率50%)。产生的毫米波调相信号两个边带其中一个的波长与半反射光栅的中心波长一致,透射光谱除了一个边带减小了3 dB以外基本没有变化,而反射光谱用环形器分离后即可作为上行信号光载波。通过一个低插损的强度调制器加载上行数据。这样便实现了无源基站的全双工操作。

### 3 多业务混合传送的RoF系统

毫米波光载无线系统由于其较高的载波频率从而能够提供吉比特速率的无线接入。这种技术兼有光纤高带宽透明传输和无线通信移动性和灵活性的特点而倍受关注。由于用户需求和业务的多样性,未来的宽带接入系统要求能同时提供多种接入方式,包括固定有线接入和宽带无线接入。这就要求光载无线系统的设计也要力求能够同时承载多种不同的业务。基于这种趋势,本文提出了一种能够在同一根光纤中同时传输3种不同业务,包括毫米波、微波和有线接

入的光载无线系统。基本原理如图4所示。

在中心局,一方面,光源提供的光载波一分为二,一部分直接加载数据信号作为有线接入的光载波,另一部分采用副载波调制用来承载无线业务,然后分别调节两路信号的偏振方向至正交状态,采用偏分复用的方式复用到一根光纤中传输。由于两个正交的偏振态独立传输互不影响,在用户接收端,将两个正交的偏振态分离,分别用来提供有线接入和无线接入。另一方面,用来承载无线业务的光载波经过马赫-曾德调制器上变频,马赫-曾德调制器偏置在传输函数最低点以实现光载波抑制,并将驱动的微波信号放大至合适值,利用调制器的非线性产生高阶边带,其中五阶和五阶以上的边带可以忽略,而正负一阶和三阶边带用梳状滤波器分开,一路光仅含正负一阶边带,另一路仅含正负三阶边带,这样便产生了重复频率为本振的二倍和六倍的光生微波及毫米波信号。它们分别可以用来承载不同速率的接入业务。然后耦合至同一光纤中传输,在基站处再

用梳状滤波器将其分开。其中六倍频的光生毫米波可以用来提供高速的无线业务,但由于毫米波在空气中的衰减其覆盖范围受限,二倍频的光生微波可以用来提供较低速率的无线业务,但其覆盖范围较广,可以用来覆盖毫米波接入的盲区,从而弥补其不足。

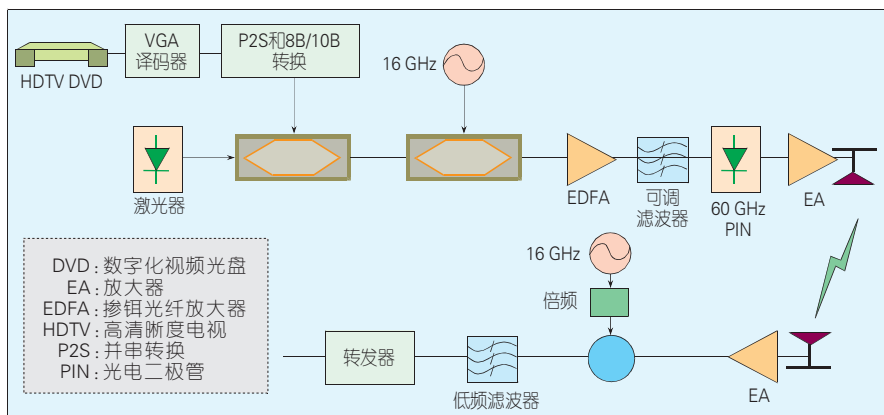
在基站需要将3种业务分离,分别传递给不同用户。首先用偏振分束器可以将传输有线业务的基带信号分离出来,直接提供给固定用户。然后用梳状滤波器将承载两种不同频段的光毫米波和微波分离,分别用于无线接入。

在实验中,5.8 GHz的微波驱动信号经过带宽为10 GHz的光电调制器和25/50 GHz的光梳状滤波器,全光产生11.2 GHz的微波信号和34.8 GHz的毫米波信号,并在34.8 GHz毫米波上成功演示了1.25 Gb/s高速数据的光纤和无线传输。其中,光毫米波信号在光纤中传输25 km,功率代价小于1.5 dB。毫米波信号在空气中传输2 m,功率代价小于2 dB。

### 4 高清电视业务传输平台的展示

由于RoF系统的传输带宽很宽,可以传送高达2.5 Gb/s的无线数据,因此完全可以实现无压缩高清电视的光纤传输和无线接入。系统框图如图5所示,该系统采用家用高清DVD节目源,通过对VGA端口输出的RGB信号采样,获得1.1 Gb/s的并行信号。该信号按照一定的格式编码,并通过同步的并串转换和8B/10B转换,产生便于光纤传输和恢复时钟的1.3 Gb/s串行信号。将该电信号放大后调制到第一级的MZM调制器上,得到的光信号再经过一级MZM调制器,在该调制器上使用微波源输出的16 GHz的射频载波,通过载波抑制归零码(CSRZ)的调制格式在光上实现二倍频,实现了32 GHz光载波的加载。经过光纤传输之后,进入光电探测器中检测,输





▲图5 高清电视光纤接入和无线接入系统

出的带32 GHz载波的毫米波射频信号经过一个30 dB的Ka波段放大器放大后驱动角锥天线发射,角锥天线的增益为12 dBi。在接收端有一个同样的角锥天线,接收到射频信号再经过低噪声放大、混频和低通滤波后,恢复出原始的高清电视信号。

由于经过多次调制和无线传输,信号产生了一定的抖动和重叠,将该信号经过一个频率可自适应的转发器,使信号得到定时再生和放大,经过和上述流程相反的格式转换和串并转换,恢复成原来的RGB信号。实验测试结果表明经RoF链路传输的信号稳定、清晰,与不经过光链路的高清电视相比几乎没有差别,误码率达 $10^{-12}$ 以下。

高清电视业务传输系统的优点和应用前景如下:

- 采用通信中未使用的30 GHz左右的毫米波频段频率能够避开现有的十分紧张的低端无线频率资源。由于该频段衰减较大,适合短距离传送信号,对远距离同频信号干扰小。

- 传输带宽大,在30 GHz附近有6~7 GHz的带宽适用于传输信号,由于可用带宽高,可以使用较为简单的调制方法,且有传送更高速率信号的潜力。

- 随着高清电视节目的普及,越来越多的视频信号采用高清的标准进行采集。采用该方案可以很方便地将前方高清摄像机拍摄的视频信号

传回后方处理,在家庭环境中可以灵活方便的播放高清,甚至未来的超高清电视节目。

## 5 结束语

本文对基于全光矢量调制技术的光载无线系统、基于毫米波相移键控调制的全双工光载无线系统、多业务混合传送的光载无线系统和基于光载无线系统的高清电视业务传输平台进行了介绍和分析,上述方案可简化远端基站结构,降低系统传输成本并提高系统传输性能、频谱效率、覆盖区域和灵活性,实现超宽带毫米波无线接入与光传输技术的融合。

## 6 参考文献

- [1] LI J Q, XU K, WU J, et al. A simple configuration for WDM full-duplex radio-over-fiber systems [C]//Proceedings of 33rd European Conference on Optical Communication(ECOC' 07), Sep 16-20, 2007, Berlin, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007:121.
- [2] YIN J, XU K, LI Y, et al. Demonstration for delivering of optical DPSK signal in a radio-over-fiber platform based on heterodyne detection [C]// Proceedings of Optical Fiber Communication Conference (OFC' 09), Mar 22-26, 2009, San Diego, CA, USA. 2009.
- [3] SUN X Q, XU K, FU S N, et al. All-optical WDM subcarrier modulator for binary phase shift keying (BPSK) with optical SSB format using a phase modulator loop Mirror filter [C] //Proceedings of Optical Fiber Communication Conference (OFC' 09), Mar 22-26, 2009, San Diego, CA, USA. 2009.
- [4] LI J Q, XU K, FU S N, et al. Photonic polarity-switchable ultra-wideband pulse generation using a tunable sagnac interferometer comb filter [J]. IEEE Photonics

Technology Letters, 2008, 20(15): 979-981.

- [5] LI J Q, FU S N, XU K, et al. Photonic ultra-wideband monocycle pulse generation using a single electro-optic modulator [J]. Optics Letters, 2008, 33(3): 288-290.
- [6] ZHANG Y, XU K, ZHU R, et al. Photonic generation of M-QAM/M-ASK signals at microwave/millimeter wave band using dual-drive mach-zehnder modulators with unequal amplitudes [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(15): 2604-2610.
- [7] LI J Q, XU K, FU S N, et al. Simultaneous implementation of all-optical microwave bandpass filtering and up-conversion for radio-over-fiber applications [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(14): 2202-2210.
- [8] ZHANG Y, XU K, ZHU R, et al. Photonic DPASK/QAM signal generation at microwave/millimeter-wave band based on electro-optic phase modulator [J]. Optics Letters, 2008, 33(19): 2332-2334.
- [9] HUANG H, XU K, ZHANG Y, et al. A novel scheme for mm-wave PSK modulation and full-duplex operation in RoF system [C] //Proceedings of International Topical Meeting on Microwave Photonics, Jointly held with the 2008 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference(MWP' 08/APMP' 08), Sep 30-Oct 3, 2008, GoldCoast, Australia. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008:162-164.
- [10] LI J Q, XU K, WEN Y J, et al. A novel fiber-based WDM system utilizing polarization multiplexing to provide broadband wireless and wired access [J]. Optics Communications, 2008, 281: 2806-2810.

收稿日期:2009-02-15

## 作者简介



徐坤,北京邮电大学副教授、博士生导师,从事光纤无线融合系统与网络、高速光传输与接入技术、微波光子技术和全光信息处理技术的研究。已发表学术论文70余篇,其中被SCI收录40余篇,出版光载无线专著1部。



殷杰,北京邮电大学光通信与光电子学研究院在读博士研究生,从事微波光子学、光线无线接入、高速光纤传输系统关键技术的研究。



李建强,北京邮电大学光通信与光电子学研究院在读博士研究生,从事微波光子学、高速光纤传输系统关键技术的研究,已发表学术论文10余篇。