

光载无线信号的OCS-DPSK调制格式

OCS-DPSK Modulation Format for Radio over Fiber Signals

中图分类号:TN929.1; TN928 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2009) 03-0001-05

摘要: 文章提出一种新型的光载波抑制-差分相移键控(OCS-DPSK)调制格式,可以实现光载无线(RoF)系统的3个关键功能:分发下行RoF信号、产生远端本振信号和上行数据的重调制,从而实现成本最优的RoF接入网络。文章作者实验演示了基于单个单臂马赫-曾德调制器产生OCS-DPSK调制格式的全双工RoF传输系统。

关键词: 光载无线;光载波抑制-差分相移键控;马赫-曾德调制器

Abstract: This article demonstrates that Optical Carrier Suppressed-Differential Phase-Shift Keying (OCS-DPSK) modulation format can be used to realize three key functions in Radio over Fiber (RoF) system: delivering downlink RoF signals, generating remote Local Oscillator (LO) signal, and re-modulating uplink signal. Therefore, the best-cost RoF access network could be realized. The full-duplex RoF system based on one single-drive Mach-Zehnder Modulator (MZM) to generate OCS-DPSK is introduced.

Key words: RoF; OCS-DPSK; MZM

苏翼凯/SU Yi-kai

昌庆江/CHANG Qing-jiang

(上海交通大学 先进光通信系统与网络国家重点实验室,上海 200240)

(State Key Lab of Advanced Optical Communication Systems and Networks, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

光载波,这将导致复杂的波长管理,也不可避免地增加了基站的成本。为了克服由于配置额外的光源带来的基站的高成本和复杂性,一些可行的设计方案例如波长重用^[8-10]、载波重调制^[11-12]、使用法布里-珀罗(FP)激光器^[13]等技术被提出。

目前,同时传输下行RoF信号和避免基站附加的光载波,或者同时传输下行RoF信号和远程分发本振信号的方案已经实现。然而,同时实现传输下行RoF信号、远端产生本振信号和上行信号重调制的技术还没有被提出。本文提出采用新颖的光载波抑制-差分相移键控(OCS-DPSK)调制格式,可以实现双向RoF系统上述3个关键的功能,最小化整个系统的配置成本。而且,在方案中,产生OCS-DPSK调制格式只需要一个单驱动马赫-曾德调制器(MZM)^[14]。相比较传统的OCS-DPSK发射机,需要两个独立的调制器,本文提出的发射机结构具有结构紧凑、容易监测和控制、低成本和低插入损耗等优点。

1 OCS-DPSK调制分析

OCS-DPSK调制格式包含两个边带,每个边带都携带同样的差分相移键控(DPSK)信号。因此,OCS-DPSK的光场可以表示为:

光载无线(RoF)宽带无线接入网络是新兴的研究领域,它结合光纤通信和无线通信两大技术的优势,可以实现超过吉比特每秒无线业务的分发。RoF在未来高速宽带无线通信系统中具有重要的地位^[1]。在RoF系统中,需要采用高频毫米波来承载高速数据(大于吉比特每秒)以提高无线通信系统的容量,同时也可使无线信道避开拥挤的低频频段。然而,高频信号在大气中的衰减严重,导致单个基站单元的覆盖面积较小,要满足覆盖相同区域的通信要求,必须增加基站单元数量,从而增加了RoF系统的成本和复杂度,给设计和维护带来不便。因此,将基站复杂昂贵的设备转移到中心站并且能被所有的基站

共享,从而最小化基站的配置成本是非常具有吸引力的方法。在这种情况下,整个RoF系统的结构设计、选择合适的调制格式分发上行和下行信号具有非常关键的作用。

在RoF系统中,对于下行信号的传输,采用外调制器,基于光载波抑制技术,可以产生两倍射频信号频率的RoF信号^[2-4],能够有效降低光电器件的带宽需求,而且适合长距离的传输,被广泛研究。另一方面,实现上行信号的传输面临很大的挑战。在实际的系统中,从天线接收到的上行高频无线信号需要下变频到基带或者中频频段,然后调制到光载波上。下变频需要在基站直接提供高速本振信号,无疑会增加基站的成本,从中心站远程分发本振信号到基站是一个有效的方法^[5-7]。同时,上行数据的调制需要在基站提供附加的光源作为

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60407008)

$$E_{\text{out}}(t) = AE_{\text{in}}(t) \cdot [\cos(\omega_c - \omega_s)t + \Phi(t)] + \cos(\omega_c + \omega_s)t + \Phi(t)] \quad (1)$$

其中 ω_c 和 $E_{\text{in}}(t)$ 是输入光信号的角频率和光场幅度, ω_s 表示射频信号的角频率, $\Phi(t)=[0 \text{ 或 } \pi]$ 表示 DPSK 信号的瞬时相位。

下面, 对 OCS-DPSK 调制格式在 ROF 系统中的应用进行详细的分析, 首次指出采用 OCS-DPSK 信号, 可以实现双向 ROF 系统 3 个最关键的基本功能:

(1) 将基带信号上变换到射频频段

将基带信号上变换到射频频段, 即产生 ROF 信号。OCS-DPSK 是相位调制的信号, 不能直接进行光电转换。必须先用 1 比特延迟的马赫-曾德延迟干涉仪 (MZDI) 进行相位调制信号到强度调制信号的转换, 也即得到光载波抑制-幅移键控 (OCS-ASK) 信号。OCS-ASK 信号输入到接收机进行光电转换, 得到携带基带数据的无线信号, 然后通过天线发射给用户。

(2) 实现上行信号的强度重调制

因为 OCS-DPSK 的两个边带均为同样的 DPSK 调制格式, 因此可以将其中的一个边带分离出来, 即得到 DPSK 信号。DPSK 信号是相位调制格式, 具有恒定的光功率, 因此可以作为光载波, 被上行数据进行强度重调制, 形成混合的正交相位/幅度调制格式。因而, 在基站, 上行数据的调制不需要额外的光源, 降低了基站的配置成本。

(3) 产生本振信号

OCS-DPSK 信号两个边带的相位信息完全相同, 当直接进行光电探测时, 两个光边带相互拍频, 使得边带上的相位信息被完全擦除, 得到两倍频的射频信号, 可以表示为:

$$I_{\text{out}}(t) = A^2 |E_{\text{in}}(t)|^2 \cdot \cos(2\omega_s t) \quad (2)$$

因此, OCS-DPSK 信号直接用接收机进行光电转换后, 得到的这个射频信号可以作为基站的本振信号, 用来将天线接收到的上行链路无线数据下变频到基带。

基于上述分析, 在双向 ROF 系统,

如果采用 OCS-DPSK 调制格式, 可以同时实现 3 个最重要的功能: 将基带信号上变换到射频频段、产生远端本振信号和上行数据重调制, 因此可以最小化整个 ROF 系统的配置成本。

2 基于单驱动MZM的OCS-DPSK产生技术

2.1 工作原理

本文提出使用一个单驱动 MZM 产生 OCS-DPSK 信号。首先采用一个交流耦合的双极性基带数据 (如图 1(a) 所示) 和射频信号 (如图 1(b) 所示) 混频, 产生双极性的电副载波 (SCM) 信号 (如图 1(c) 所示), 信号可以用下式表示:

$$V_{\text{SCM}}(t) = V_s \cdot \text{data}(t) \cdot \sin(\omega_s t) \quad (3)$$

其中 $\text{data}(t)=[1 \text{ 或 } -1]$ 表示交流耦合的随机比特序列, V_s 是混频的副载波信号的幅度, ω_s 是射频信号的角频率。驱动 MZM 的电信号 (包括偏置电压) 可以表示为:

$$V(t) = \varepsilon V_\pi + \alpha V_\pi \cdot \text{data}(t) \cdot \sin(\omega_s t) \quad (4)$$

其中 ε 和 α 是调制器的偏置电压和 SCM 信号的幅度对调制器半波电压 V_π 归一化后的值。则 MZM 的输出

场可以表示为:

$$E_{\text{out}}(t) = E_{\text{in}}(t) \cdot \cos(\omega_c t) \cdot \cos\{\pi/2[\varepsilon + \alpha \cdot \text{data}(t) \cdot \sin(\omega_s t)]\} \quad (5)$$

其 ω_c 和 $E_{\text{in}}(t)$ 是输入光信号的角频率和光场幅度。当 $\varepsilon=1$, 也即 MZM 偏置在传输最低点时, 包括光载波在内的偶次谐波被抑制, 因此得到了光载波抑制 (OCS) 信号。将方程 (5) 用贝塞尔函数展开所得的光场为:

$$E_{\text{out}}(t) \approx AE_{\text{in}}(t) \cdot \cos(\omega_c t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(\pi/2 \alpha \cdot \text{data}(t) \cdot \sin(\omega_s t)) \quad (6)$$

由于高次边带的光功率很低, 可以忽略不计, 因此只考虑一次边带, 则方程 (6) 可以进一步简化为:

$$E_{\text{out}}(t) \approx AE_{\text{in}}(t) \cdot \text{sgn}(\text{data}(t)) \cdot J_1(\pi/2 \alpha \cdot |\text{data}(t)| \cdot \sin(\omega_s t) \cdot \cos(\omega_c t) = AE_{\text{in}}(t) \cdot \text{sgn}(\text{data}(t)) \cdot J_1(\pi/2 \alpha \cdot [\cos(\omega_c - \omega_s)t - \cos(\omega_c + \omega_s)t]) \quad (7)$$

从方程 (7) 可以看出, MZM 输出的信号包括包络和相位两部分, 其中包络由 $AE_{\text{in}}(t) \cdot J_1(\alpha) \cdot [\cos(\omega_c - \omega_s)t - \cos(\omega_c + \omega_s)t]$ 决定, 它在时域显示了一个周期性的波形。而信号的相位主要由因子 $\text{sgn}(\text{data}(t))$ 决定, 当 $\text{data}(t)$ 由 1 变化成 -1 时, 瞬时相位发生反转。因此, 在比特 “1” 和 “-1” 之间, 调制器位于传输零点时, 有一个相位跳变。相

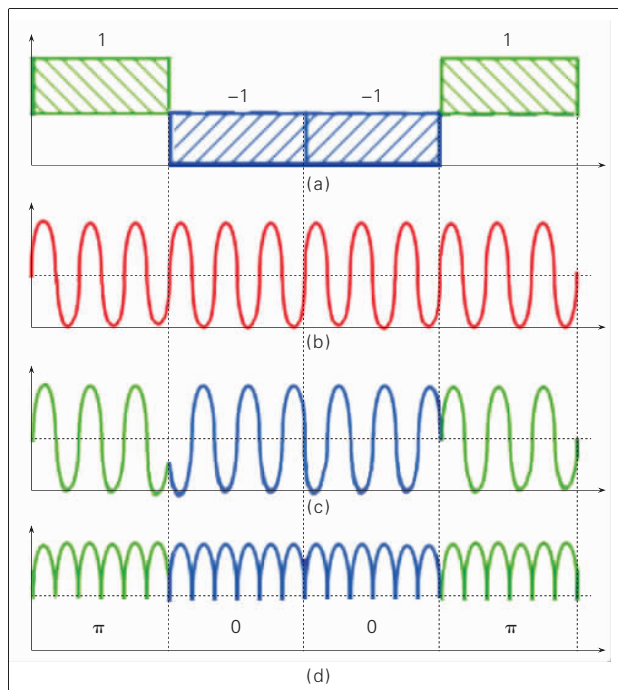
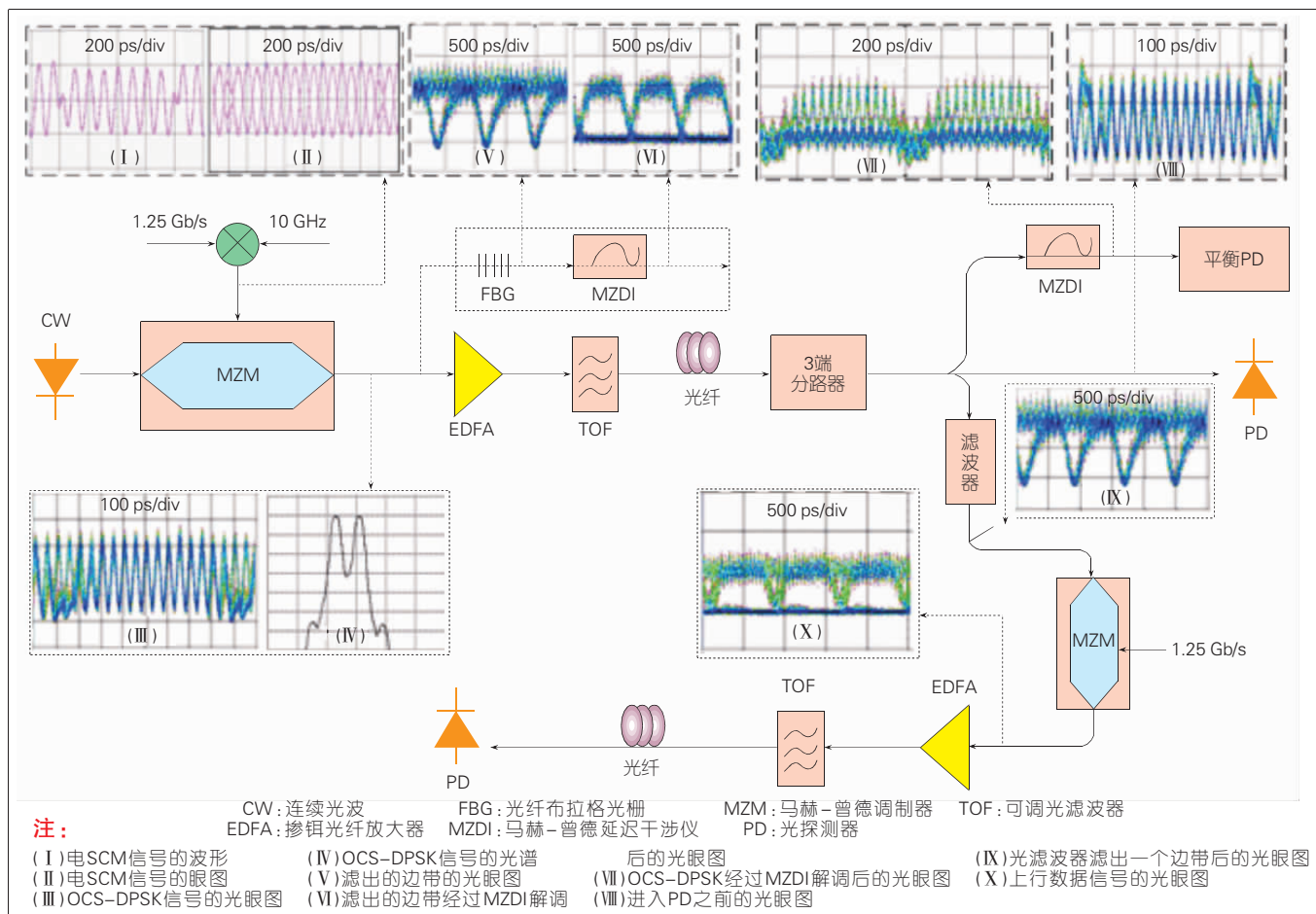


图1 ▶
产生 OCS-DPSK 信号的工作原理



▲图2 实验装置图

应地,比特“1”对应载波的相位 π ,比特“-1”对应载波相位0,这两个状态具有相同的光功率,如图1(d)所示。因此,MZM输出的光信号就是OCS-DPSK格式。

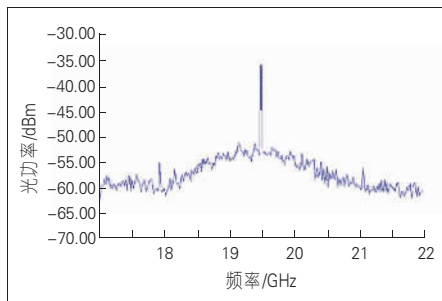
2.2 实验装置和结果

图2所示为提出的基于OCS-DPSK调制格式的双向ROF系统的实验装置图,其中插图所示光谱的频谱分辨率为0.07 nm,频谱起始波长为1548.86 nm,终止波长为1550.86 nm;X轴的刻度为0.2 nm/div,Y轴的刻度为5 dB/div。在中心站,一个10 GHz的单驱动MZM用来调制可调光源输出的连续光。交流耦合的1.25 Gb/s的双极性基带数据和10 GHz的射频信号混频得到电SCM信号,其波形和眼图如图2(I)和图2(II)所示。电SCM信号

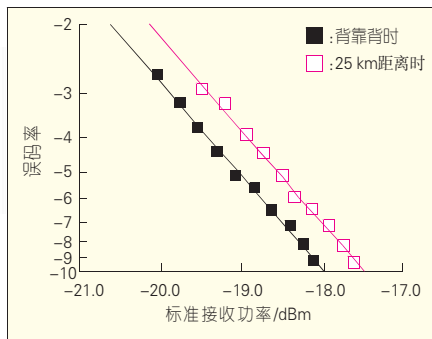
被放大后驱动MZM,MZM偏置在传输曲线的最低点,得到重复频率20 GHz的OCS-DPSK信号,图2(III)和图2(IV)所示为光眼图和光谱。为了验证得到的信号是OCS-DPSK调制格式,本文使用光纤布拉格光栅(FBG)滤出OCS-DPSK的一个边带,并用1比特延迟的MZDI解调后进行检测,所测得的光眼图2(V)和2(VI)进一步验证了MZM产生的是OCS-DPSK信号。OCS-DPSK被掺铒光纤放大器(EDFA)放大到约8 dBm的光功率,一个可调光滤波器(TOF)用来滤除光放大器的自发辐射(ASE)噪声。

经过25 km的标准单模光纤传输,在基站,OCS-DPSK信号被一个三端口的分光器分成3部分:第一部分首先用1比特延迟的MZDI转换成OCS-ASK强度信号,眼图如图2(VII)。

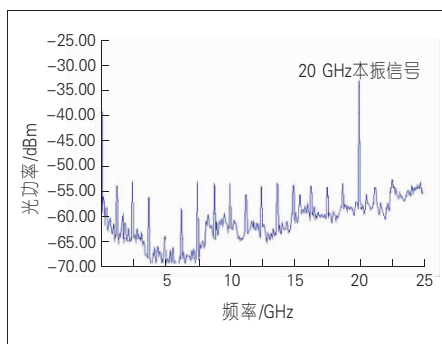
MZDI用两个光耦合器熔接而成,上下两臂的长度差约15.96 cm,可以为1.25 Gb/s的DPSK实现1比特的延迟。实际上,需要用一个平衡接收机将解调后的OCS-DPSK信号转换成电无线信号然后通过天线广播给用户。在本实验中,采用单个的40 GHz的高速光探测器实现单端检测,得到一个携带1.25 Gb/s基带数据的20 GHz的无线信号。图3给出了测量的电谱,电谱频率范围是18~22 GHz,实验结果显示基带数据被成功地上变频到20 GHz的波段。因缺乏高速的混频器将20 GHz的电无线信号下变频到基带,本文采用文献[11]的方法进行误码率(BER)检测。测量的BER性能和电眼图如图4所示,接收机灵敏度约18 dB。经过25 km的光纤传输后,功率代价小于0.5 dB。



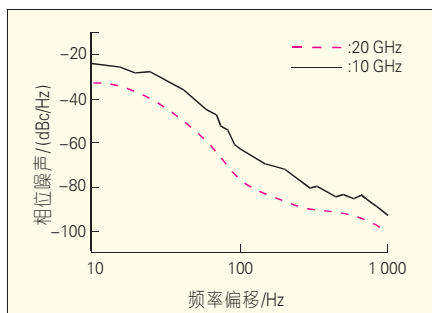
▲图3 携带1.25 Gb/s基带数据的20 GHz射频信号的电谱



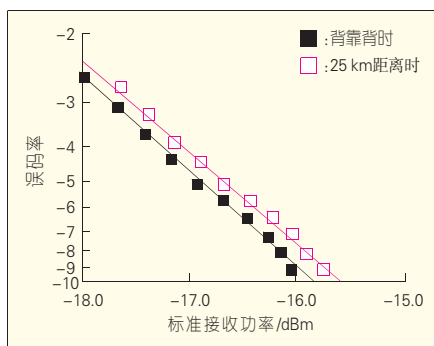
▲图4 下行链路ROF信号的BER曲线和电眼图



▲图5 产生的20 GHz本振信号的电谱



▲图6 20 GHz本振信号和微波信号发生器输出的10 GHz信号的相位噪声



▲图7 上行链路重调制的ASK信号的BER曲线和电眼图

第二部分用40 GHz的光探测器直接进行检测,得到20 GHz的本振信号。进行光电转换之前的光眼图如图2(VIII)。因为产生的OCS-DPSK信号含有冗余的幅度调制信息,被转换到电域,导致得到的本振信号含有频率为1.25 GHz整数倍的谐波,如图5所示电谱仪测得的电谱,频率范围为0~25 GHz。但是这些不需要的谐波成分的幅度比20 GHz的本振信号的幅度要低20 dB,而且,也可以用窄带滤波器来进一步提高本振信号的频谱

纯度。同时,本文也测量了所得到的本振信号的相位噪声,如图6所示。在1 kHz的频率偏移处,测得的20 GHz的本振信号的相位噪声约-93 dBc/Hz(电谱仪的分辨率设为30 Hz)。相对于从低噪声射频信号发生器(Agilent E8257D)产生的10 GHz射频信号,信号在1 kHz的频率偏移处的相位噪声约-100 dBc/Hz,有约-7 dB的相位噪声衰落。理论上,两倍频信号的相位噪声衰落大约 $10\log_{10}(2^2)=6\text{ dB}^{[15]}$ 。因此,测量的结果显示得到的本振信号具有很好的相位噪声性能。

第三部分输入到一个3 dB带宽约0.114 nm的FBG,滤出它的下边带,光眼图如图2(IX)。这个下边带被上行1.25 Gb/s伪随机比特序列(PRBS)的基带数据进行强度重调制,产生幅移键控(ASK)调制格式,光眼图如图2(X)。在真正的ROF接入网络中,连接天线的双工器接收到用户发送的上行无线信号,这个无线信号和本振信号混频,将上行无线信号下变频到基带。重调制的上行ASK信号用EDFA放大

后,经过25 km的标准单模光纤传输送到中心站进行接收。图7给出了上行信号的电眼图和BER性能,接收机灵敏度约15.8 dBm,功率代价约为0.3 dB。相比较下行ROF信号,接收机灵敏度有约2dB的功率代价,这主要是由于下行链路比上行链路多了一个EDFA,导致更多的ASE噪声。另外,下行链路的信号用1.25 Gb/s的窄带MZDI进行解调,而上行数据通过一个3 dB带宽约0.114 nm(约9 GHz)的光滤波器,因此上行数据遭受更多的噪声影响,导致接收机灵敏度衰落。

3 结束语

本文提出采用新颖的OCS-DPSK调制码型,可以实现双向ROF系统3个关键的功能:将基带信号上变换到射频频段(产生和传输ROF信号)、产生远端本振信号以及上行数据重调制,从而最小化整个ROF系统的配置成本。本文提出并实验验证采用单驱动MZM,通过产生双极性的电SCM信号以及基于OCS调制技术,得到OCS-DPSK信号,并实验演示了OCS-DPSK调制格式在ROF系统中的上述3个关键功能。

4 参考文献

- [1] WAKE D, WEBSTER M, WIMPENNY G, et al. Radio over fiber for mobile communications [C]//Proceedings of International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWV' 04), Oct 4-6, 2004, Ogunquit, ME, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004:157-160.
- [2] YU J, JIA Z, YI L, et al. Optical millimeterwave generation or up-conversion using external modulators [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(1): 265-267.
- [3] CHANG G K, YU J, JIA Z, et al. Novel optical-wireless access network architecture for simultaneously providing broadband wireless and wired services [C]//Proceedings of Optical Fiber Communication Conference (OFC' 06), Mar 5-10, 2006, Anaheim, CA, USA. 2006: OFM1.
- [4] WIBERG A, MILLAN P P, ANDRES M V, et al. Fiber-optic 40 GHz mm-wave link with 2.5 Gb/s data transmission [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2005, 17(9): 1938-1940.
- [5] KASZUBOWSKA A, HU L, BARRY L P. Remote down conversion with wavelength reuse for the radio/fiber uplink connection [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(4): 562-564.

- [6] LIM C, NIMARTHALAS A, NOVAK D, et al. Millimeter-wave broadband fiber-wireless system incorporating baseband data transmission over fiber and remote LO delivery [J]. Journal of Lightwave Technology, 2000, 18(10): 1355-1363.
- [7] SMITH G H, NOVAK D. Broadband millimeter-wave fiber-radio network incorporating remote up/down conversion [C] //Proceedings of International Microwave Symposium: Vol 3, Jun 7-12, 1998, Baltimore, MD, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1998: 1509-1512.
- [8] CHEN L, WEN H, WEN S. A radio-over-fiber system with a novel scheme for millimeter-wave generation and wavelength reuse for up-link connection [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(19): 2056-2058.
- [9] CHEN L, SHAO Y, LEI X, et al. A novel radio-over fiber system with wavelength reuse for upstream data connection [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(6): 387-389.
- [10] NIRMALATHAS A, NOVAK D, LIM C, et al. Wavelength reuse in the WDM optical interface of a millimeter-wave fiber-wireless antenna base station [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2001, 49(10): 2006-2009.
- [11] CHANG Q, FU H, SU Y. Simultaneous generation and transmission multi-band signals and upstream data in a bidirectional radio over fiber system [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2008, 20(3): 181-183.
- [12] JIA Z, YU J, BOJVIN D, et al. Bidirectional ROF links using optically up-converted DPSK for downstream and remodulated OOK for upstream [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(9): 653-655.
- [13] LU H H, PATRA A S, HO W J, et al. A full-duplex radio-over-fiber transport system based on FP laser diode with OBPF and optical circulator with fiber Bragg grating [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2007, 19(20): 1652-1654.
- [14] CHANG Q, TIAN Y, GAO J, et al. Generation and transmission of optical carrier suppressed-differential (quadrature) phase-shift keying signals in radio over fiber systems [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(15): 2611-2618.
- [15] WANG Q, RIDEOUT H, ZENG F, et al. Millimeter-wave frequency tripling based on four-wave mixing in a semiconductor optical amplifier [J]. IEEE Photonics Technology

Letters, 2006, 18(23):2460-2462.

收稿日期:2009-01-20

作者简介



苏翼凯,上海交通大学电信学院教授,电子工程系副主任,从事光传输与信息处理的研究,被SCI收录论文50余篇,持有美国专利4项。



昌庆江,上海交通大学电子工程系博士研究生毕业,从事RoF宽带无线接入网络的研究。已发表论文12篇,申报国家发明专利8项。

综合信息

中兴通讯2008营收逆势增长27.37%,获中国3G市场近三成份额

【本刊讯】2009年3月19日,中兴通讯发布2008年度业绩公告,按照香港公认会计原则,期内营业收入约为人民币442.93亿元,同比增长27.37%,实现净利润人民币16.60亿元,同比增长32.58%,每股基本盈利为人民币1.24元。期间每股现金流2.72人民币,经营活动产生的总现金流量净额为36.48亿人民币。在全球金融危机下,中兴通讯采取积极而审慎的市场策略,逆势获得稳健增长,行业地位同步提升。

3G市场的全面成功参与促进了中兴通讯国内市场的地位提升。2008年,中兴通讯聚焦国内三大运营商的3G和固定宽带需求,显著提升了多品类基础产品的市场占有率,实现国内市场营业收入174.66亿元人民币,同比增长18.93%,保持了稳定合理的赢利水平。在中兴通讯全面参与的国内三大运营商的3G项目招标中,国内三家运营商3G基站采购共计超过66万载频,中兴通讯占据近3成,位居中国3G市场综合第一。其中,在前期已经举行的TD、CDMA2000招标中均成为技术、市场和交付领导厂商;在正在进行的联通一期WCDMA招标中,依靠创新技术和良好的服务能力,进入包括广东、福建、山东、天津等发达地区在内的全国半数以上省级市场,在供货、施工进展方面表现突出。中兴通讯在WCDMA、CDMA2000、TD等市场的大规模部署经验,体现了中兴通讯不断增强

的交付能力,将有助于提升在海外主流3G市场的品牌影响力。

在市场拓展过程中,中兴通讯GSM、WCDMA、CDMA、光传输、终端、业务等主流产品在主流市场和主流运营商的销售稳步增长,全球竞争力获得持续提升。其中,中兴通讯GSM产品发货量跻身全球第四,并缩小了与领先厂商的距离,CDMA发货量继续保持第一,WCDMA产品首次突破全球顶级运营商市场、技术和交付能力获得认可,光传输产品销量在亚太区达到前三,FTTx产品在国内市场保持第一。手机业务全年保持较快增长,完成发货约4500万部,保持了全球第六大手机厂商地位,其中海外市场手机销售仍保持高速增长,GSM、WCDMA和数据卡产品销量增长最为显著。同时,中兴通讯在基于SDR技术的新一代无线通信技术、FTTx等下一代宽带技术以及iWDM新一代光传输技术等方面取得行业领先地位。

展望2009年,侯为贵董事长认为:“随着运营商在3G、全业务运营、增值业务、网络转型、网络优化方面的不断推进,本集团将在国内市场迎来比较良好的增长机会,国际市场方面,金融危机的影响仍将继续,如何在发达国家市场实现重点突破和稳健地在发展中国家市场拓展业务成为集团的首要任务。”

2009年,中兴通讯将在稳健发展战略基础上,集中发挥三大优势:继续深入贯彻成本领先战略、加强市场驱动研发的能力、强化融资能力,以谋求更大发展。