

# 光载无线通信系统的传输限制与抑制方法

## Transmission Limitations and Corresponding Resolving Schemes in RoF Systems

中图分类号:TN929.1; TN928 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2009) 03-0035-05

**摘要:**针对光载无线通信(RoF)系统的传输限制因素,文章提出并实验证明两种传输距离长性能高的RoF系统。一种是采用抑制奇数边带的基于外部调制的40 GHz的RoF系统;另一种是采用载波抑制(OCS)的外部调制的40 GHz光正交频分复用(OFDM) RoF系统。理论与实验证明这两个系统不仅抗色散能力强,而且可以实现远距离传输。

**关键词:**光载无线;光毫米波;正交频分复用;载波抑制

**Abstract:** To solve the transmission limitation in Radio over Fiber (RoF) system, in this paper two schemes are proposed for improving the transmission distance and performance in RoF system. One scheme is 40 GHz RoF system based on external modulation with odd-sidebands suppressed. The other scheme is 40 GHz Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) RoF system based on Optical Carrier Suppression (OCS) external modulation. Two schemes have theoretically and experimentally investigated that these systems can resist chromatic dispersion and provide long distance transmission.

**Key words:** Radio over Fiber (RoF); optical millimeter wave; OFDM; optical carrier suppression

卢嘉/LU Jia

陈林/CHEN Lin

文双春/WEN Shuang-chun

(湖南大学 计算机与通信学院,湖南 长沙

410082)

(School of Computer and Communication,  
Hunan University, Changsha 410082, China)

利用标准光纤传输可以传输40 km的距离。基于60 GHz光毫米波的RoF系统实验研究也不完善,关于60 GHz的毫米波系统的研究很少,做出60 GHz系统的只有日本,美国的少数几个实验室。

RoF系统由于色散、非线性等因素的影响使得传输距离受到限制。本文将介绍影响RoF系统传输的主要因素,提出两种增加系统传输距离的RoF实验系统,并分析其抵抗色散及非线性效应的性能。

### 1 抑制RoF系统传输的因素

RoF系统传输受限的主要原因有色散、光纤的非线性及串扰等因素。

#### (1)色散

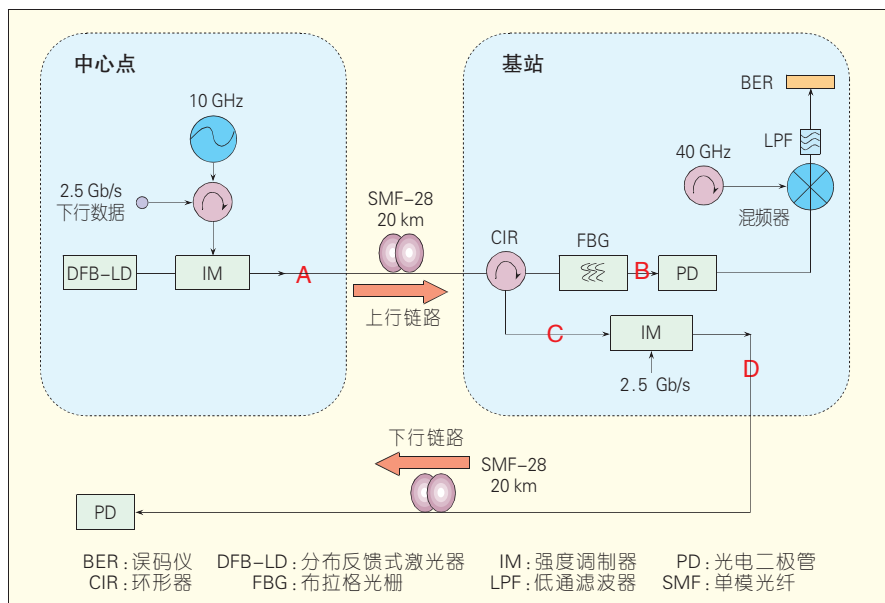
在光通信中有多种形式的色散,最主要的有模间色散、偏振模色散(PMD)以及色散射。而模间色散一般发生在多模光纤中。本文这里只考虑单模光纤中的传输,而偏振模色散主要是由于光纤芯存在椭圆度,不同的偏振态会以不同的群速度传播。目前光通信正向着高速率高容量方向发展,所以PMD色散对高速率的系统来说,是一种严重的影响。目前在考虑

随着通信技术的不断发展,人们对语音、数据、图像、视频多媒体通信的需求越来越大,这样就需要更大的带宽来传输更多的信息,来满足人们的需求;此外,人们希望“不论何时,不论何地,不论何人”都可以使用网络资源。综合以上两种需求,光纤无线电通信系统(RoF)应运而生。RoF可以将两种优点结合,具有很大的技术优势,被认为是一种可以满足多媒体通信需求的最佳通信方

式<sup>[1]</sup>。RoF系统通过合并无线电系统的各项功能于一个集中的数据收发器,让所有的基站连接到这个功能集中的中心站,来实现系统结构的简化。如果整个反馈网络都用低成本的光纤来搭建,利用光纤传输特有的低损耗和高带宽,那么整个系统的成本将大大降低。

目前,中国外有大量关于RoF系统的研究<sup>[2-9]</sup>,国际上基于40 GHz光毫米波的RoF系统的研究已趋于成熟。但RoF基站和用户端的连接(无线)只是处于实验研究阶段。受到光电器件的限制,40 GHz的毫米波系统实验上

**基金项目:**国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2007AA01Z263)



▲图1 40 GHz的RoF全双工通信系统

单模光纤中色散对系统的影响,也就是色散。它的产生是由于一个脉冲中不同的频率分量在光纤中以不同的群速度传播,并且以不同的时间到达链路的另一端所引起的。色散会使系统性能衰退而且会造成码间时移现象。在RoF系统中,色散所引起的衰退现象表现在信号功率沿着光纤的传输发生周期性的变化(类似余弦信号波动)。码间时移会破坏信号质量使得信号的眼图随着光纤的传输而闭合。

#### (2) 光纤非线性

当传输时光纤上的光功率很小的时候,光纤可以看作是线性的媒介,这样光纤的损耗和折射率与信号功率是无关的。但是当光纤中的功率很大的时候,这时非线性影响很大,就会对系统特别是高速系统产生更大影响。对于非线性,本文主要考虑两类:一类是受激布里渊散射(SBS)和受激拉曼散射(SRS),这一类是由于二氧化硅介质中光波与声子相互作用形成了光纤介质中的散射效应;第二类是由于折射率与光功率的依赖性,主要包括四波混频(FWM),自相位调制(SPM)和交叉相位调制(CPM)等。在RoF系统中可以通过控制入纤

功率来降低第二类非线性。

#### (3) 串扰

串扰是指其他信号对所需要信号的影响。在RoF双向系统中,当数据在单根光纤中沿两个方向传输,就会对系统有附加的串扰。还有由于器件的泄露而造成的信道内串扰都会抑制系统的传输。

## 2 两种通过增加传输距离改善RoF系统的方案

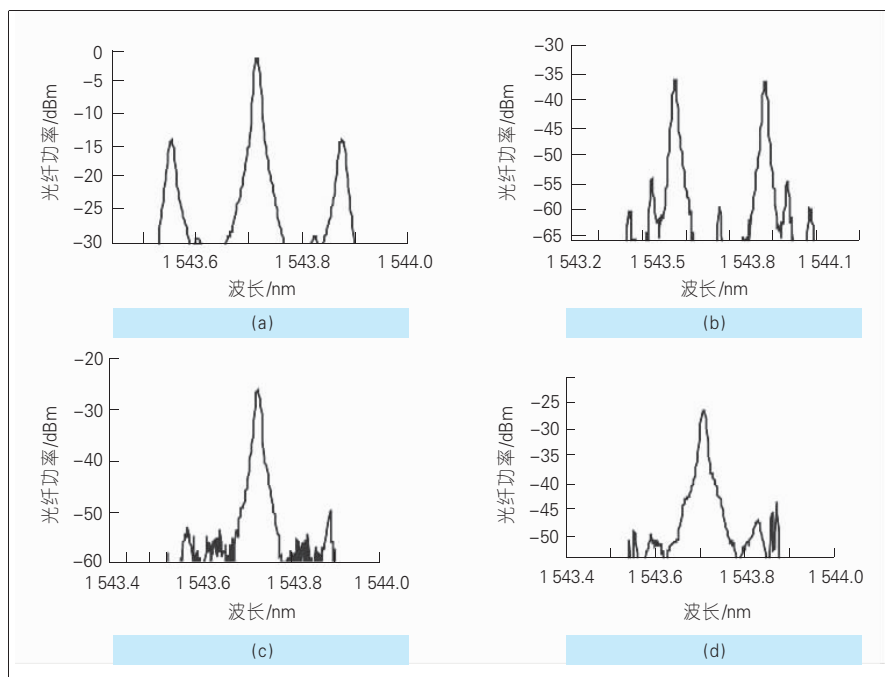
针对第1部分讨论的抑制RoF系统传输的因素,下面介绍两种改善系统性能,增加系统传输距离的方案。文献[10]分析通过外调制的方法,在单边带(SSB)、双边带(DSB)和载波抑制(OCS) 3种调制方式中,OCS抵抗色散能力最强。但是利用OCS方法产生的40 GHz的RoF系统所需要20 GHz的射频(RF)频率,因此本文提出仅采用10 GHz的RF信号产生40 GHz的RoF实验系统,抗色散能力强。最近几年,光通信朝着大容量长距离方向发展,因此色散的解决越显重要,2005年,光正交频分复用(OOFDM)技术作为一种新型的光传输技术被提出。应用OOFDM技术可以做到无色散补偿的高速光纤传输。2007年日本DKKI研究

出可将52.5 Gb/s的OFDM信号无色散补偿地传输4 160 km<sup>[11]</sup>的系统。因此,如果将OFDM信号应用在RoF系统中,则将解决色散对系统的影响。下面本文提出了两种基于外调制的OFDM-RoF系统及实验结果。

### 2.1 基于抑制奇数边带的40 GHz的RoF全双工实验系统

本文基于奇数边带抑制的方法进行了40 GHz的RoF的全双工系统的实验,如图1所示。在中心站,分布反馈式激光器产生连续的光波,输入强度调制器(IM)。2.5 Gb/s的下行数据与10 GHz的射频信号混频产生电毫米波,用此电毫米波驱动IM,对光载波进行调制,实现抑制奇数边带调制格式,得到的频谱图如图2(a)所示,两个二阶边带的频率差为40 GHz。经过20 km的SMF-28传输后,到达基站。经过光纤传输前后的下行数据眼图如图3(a)和图3(b)。抑制了奇数边带的光信号经过级联的环形器和FBG滤波器,载波被滤除,频谱中只含有双频二阶边带,频谱图如图2(b)所示。滤除了中心载波的两个二阶边带的光毫米波再通过高速光电检测器变成电毫米波。电混频器将40 GHz的本振(LO)信号与接收到的毫米波混频进行相干解调得到基带信号,通过低通滤波器(LPF),进入到误码测试仪进行误码检测。而由FBG反射出来的中心载波作为上行链路的载波由环形器输出,频谱如图2(c)所示。将2.5 Gb/s的上行数据调制到上行载波上,调制后的光谱如图2(d)所示,再经过20 km的SMF-28到达接收机解调测得误码。传输前后的上行数据眼图如图3(c)和图3(d)所示。

现在讨论此系统的传输性能。首先关于色散的分析,针对本文提出的抑制奇数边带的方案系统进行分析,通过计算得到最大传输距离为74 km。如果利用载波抑制方法,利用20 GHz的RF信号产生40 GHz RoF系统的方案,当取色散参数和光中心波长一样



▲图2 图1中对应A-D点的频谱图

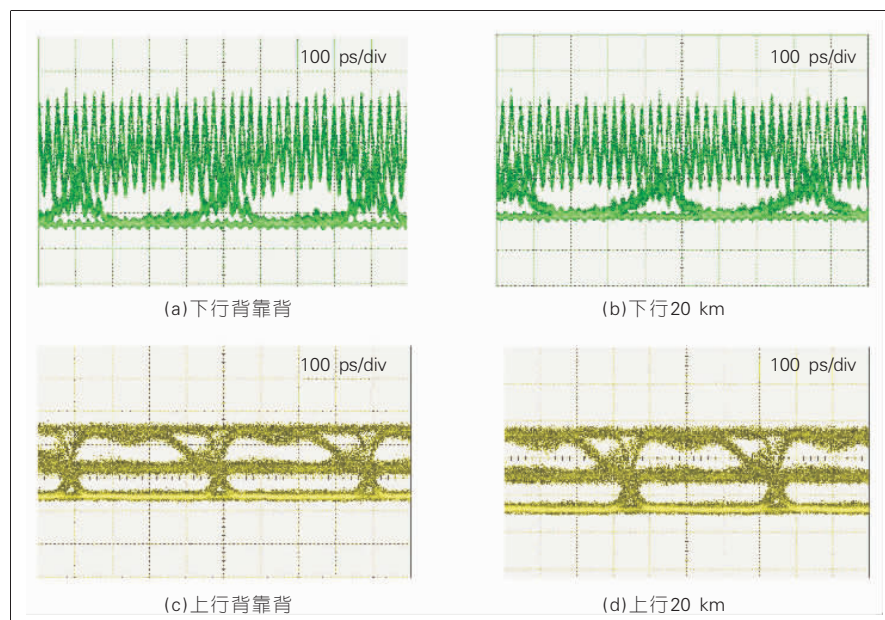
时,色散时间差和本文提出的利用奇数边带抑制的方法是相等的。这就表明色散对这两种方案性能的影响是相同的。而本文采用的本地振荡信号只有10 GHz,降低了对调制器的带宽需求,也降低了系统的成本,是一种成本有效的产生高频毫米波的方案。而对于非线性的影响在这里主要考虑第二类非线性,可以通过控制入纤功率来控制光纤非线性对系统的影响,实验中控制入纤功率为2 dBm。我们测得下行数据传输不同距离解调后的眼图如图4所示,经过40 km光纤传输后,眼睛仍然张开,证明系统性能良好。而对于上行数据眼图,由于从FBG反射过来的载波中还有一些二阶边带成分,即所说的信道间串扰而使得上行数据眼图中包含两种模式。但是从上行数据误码率曲线来看,传输了20 km后功率代价小于1 dB。综上所述,此系统传输性能很好。

## 2.2 基于载波抑制的40 GHz的OFDM-RoF系统。

通过光载波抑制调制方式产生40 GHz光OFDM毫米波信号的RoF系

统如图5所示。在中心站,分布反馈式激光器产生连续光波,输入强度调制器(IM)。10 GHz的射频信号倍频后得到20 GHz的RF信号驱动IM,调节驱动器偏置电压实现载波抑制调制方式,光谱如图5(a)所示,可以看到载波抑制比为22 dBm。经130 km单模光纤传输后在基站实现OOFDM信号的解调

和接收。本文得到传输不同距离后的OFDM的星座图如图6所示。发现传输130 km后的信号接收星座图效果依旧很好。这是由于在传输OFDM信号系统中,系统带宽是由 $N$ 个子载波占用,符号速率就相当于单载波传输模式的 $1/N$ 。正是因为这种低符号速率使OFDM系统可以自然地抵抗符号间干扰。又由于传输的OFDM信号各个子载波是正交的,当OFDM信号的保护间隔大于多径时延时,就可以保证在快速傅里叶变换(FFT)运算时间内不会发生信号的相位跳变,在接收时,个别的相位偏移不会破坏整体OFDM子载波的正交性。如图6所示,当传输50 km之后,星座图有些发散,这是由于某些子载波发生了相位偏移,但是发散不大,总体来说,星座图效果很好。本文还测量了不同传输距离后的误码率曲线如图7所示,与背靠背接收相比,OFDM传输 $1 \times 105$ 点数据的条件下,对采集的数据进行解调计算,传输了50、110、130 km光纤后,其误码为 $10^{-4}$ 时对应的接收功率分别为-19.5、-18.5、-17.5 dBm,其功率代价分别为0.5、1.5、2.5 dB,说明OFDM信号的码间串扰小。若传输2.5 Gb/s的不归零码(NRZ)信号代替



▲图3 下行数据和上行数据眼图



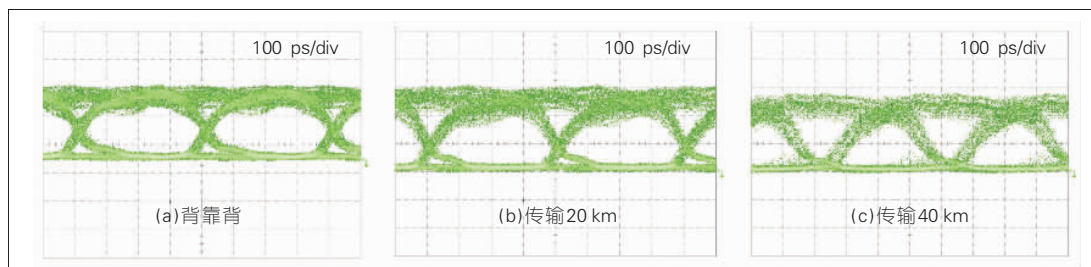


图4 基带信号眼图

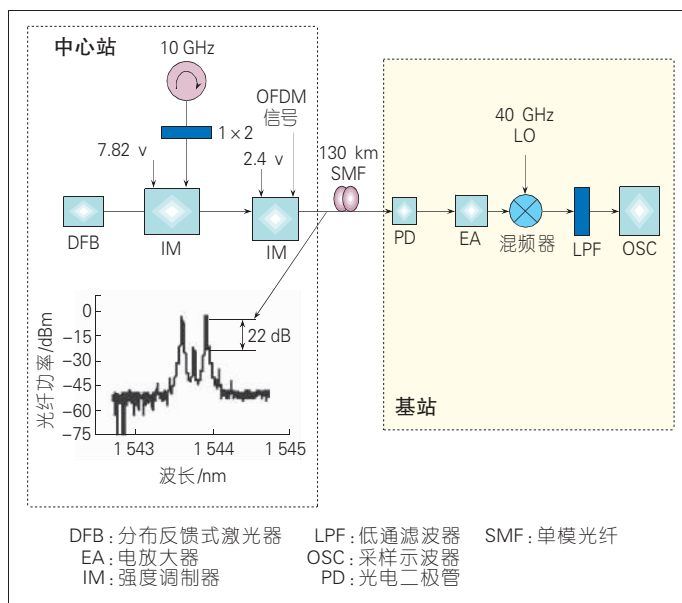


图5 基于载波抑制的40GHz的OFDM-RoF系统

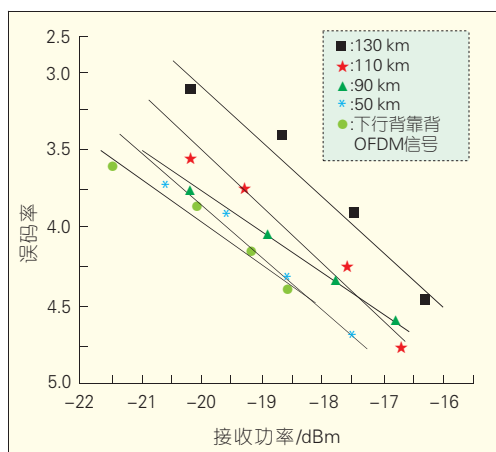


图7 基于载波抑制的40 GHz的RoF系统传输OFDM信号的BER曲线

OFDM信号,得到的解调眼图如图8所示。从图8可以看出传输60 km后,眼图由于色散的影响已经发生畸变,码间干扰严重。

图9为NRZ信号的误码率曲线,传输了20 km后,在其误码为 $10^{-9}$ 时对应的接收功率分别为-23 dBm,其功

率代价分别为1 dB。

### 3 结束语

本文针对色散提出了两种RoF系统,一种是基于外调制的40 GHz的RoF全双工系统,采用此系统传输40 km光纤后下行眼图依旧很好,上行链

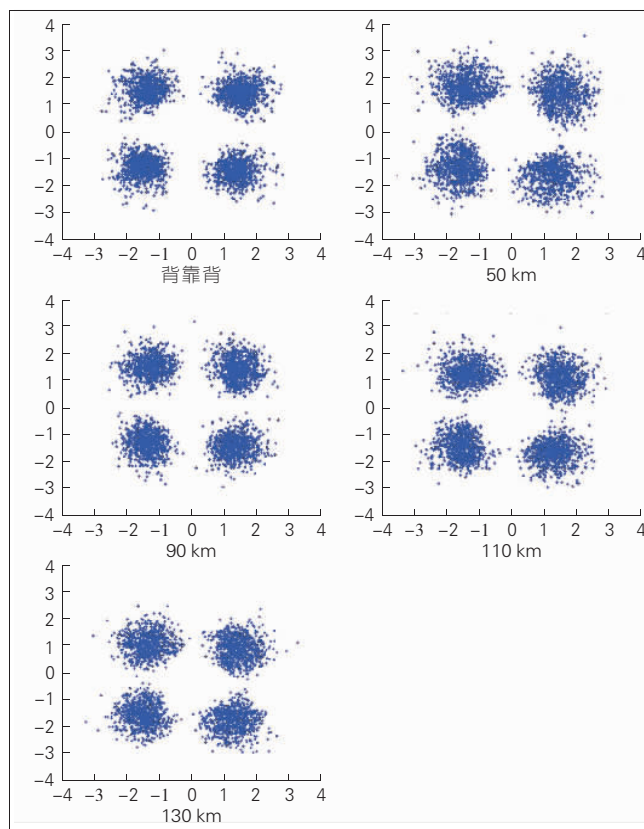


图6 传输不同距离的OFDM星座图

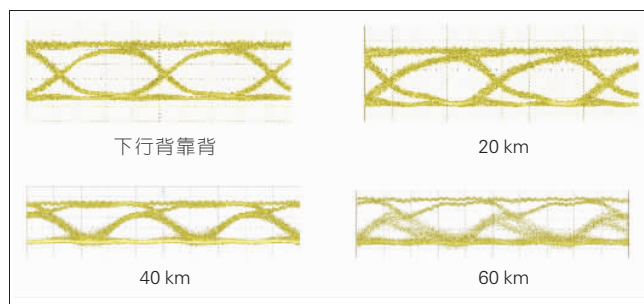
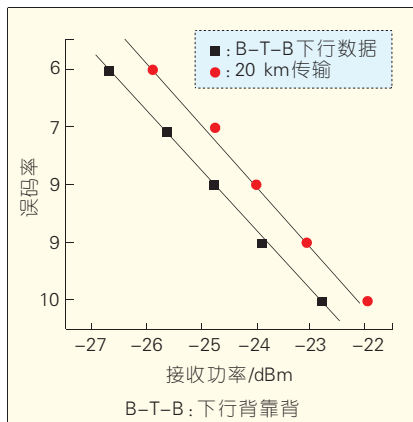


图8 基于载波抑制的40 GHz的RoF系统传输NRZ信号解调眼图

路由于器件泄露而对上行数据的串扰影响较小,上行数据的功率代价小于1 dB。另一种方案是基于外调制的40 GHz的OFDM-RoF系统,通过合理



▲图9 基于载波抑制的40 GHz的RoF系统传输NRZ信号的误码率曲线

设计OFDM信号产生高质量OFDM信号，由于OFDM信号具有抗衰落和码间串扰以及色散的能力，所以经过130 km光纤传输后的星座图依旧很好，误码为 $10^{-4}$ 时对应的接收功率分别为-17.5 dBm，其功率代价分别为2.5 dB，这说明OFDM信号的码间串扰小。此系统可以进行远距离传输，并用此系统传输了2.5 Gb/s的NRZ信号，测得解调眼图和误码率曲线，比较NRZ和OFDM系统，发现OFDM-RoF系统抗色散能力更强。

#### 4 参考文献

[1] FANG Z J, YE Q, LIU F, et al. Progress of millimeter wave subcarrier optical fiber

- communication technologies [J]. Chinese Journal of Lasers, 2006, 33(4): 481-488.
- [2] COOPER A J. Fiber/radio for the provision of cordless/mobile telephony services in the access network [J]. Electronics Letters, 1990, 26(24): 2054-2056.
- [3] OGAWA H, POLIFKO D, BAMBA S. Millimeter-wave fiber optics systems for personal radio communications [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1992, 40(12): 2285-2293.
- [4] BAKAUL M, NIRMALARHAS A, LIM C. Multifunctional WDM optical interface for millimeter-wave fiber-radio antenna base station [J]. Journal of Lightwave Technology, 2005, 23(3):1210-1218.
- [5] CHEN L, WEN H, WEN S C. 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.
- [6] DONG Z, LU J, PI Y, et al. Optical millimeter-wave signal generation and wavelength reuse for upstream connection in radio-over-fiber systems [J]. Journal of Optical Networking, 2008, 7(8): 736-743.
- [7] YU J, HUANG M, JIA Z, et al. A novel scheme to generate single-sideband millimeter-wave signals by using low-frequency local oscillator signal [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2008, 20(7): 478-480.
- [8] LU J, DONG Z, CHEN L, et al. High-repetitive frequency millimeter-wave signal generation using multi-cascaded external modulators based on carrier suppression technique [J]. Optics Communications, 2008, 281(19): 4889-4892.
- [9] MA J, YU J, YU C, et al. Fiber dispersion influence on transmission of the optical millimeter-waves generated using LN-MZM intensity modulation [J]. Journal of Lightwave Technology, 2007, 25(11): 3244-3256.
- [10] JANSEN S L, MORITA I, TANAKA H. 16 × 52.5 Gb/s, 50 GHz spaced, POLMUX-CO-OFDM transmission over

4160 km of SSMF enabled by MIMO processing [C]// Proceedings of 33rd European Conference on Optical Communication (ECOC' 07), Sep 16-20, 2007, Berlin, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: PD1.3.

[11] 刘丽敏, 董泽, 皮雅稚, 等. 用外调制器产生四倍频的光载毫米波光纤无线通信系统 [J]. 中国激光, 2009, 36(1): 148-153.

收稿日期: 2009-03-02

#### 作者简介



卢嘉，湖南大学计算机与通信学院微纳光电器件及应用教育部重点实验室在读博士研究生，从事光纤通信及光网络的研究。



陈林，北京邮电大学博士毕业。湖南大学教授、博士生导师，从事光纤通信系统及光网络的研究。已发表论文50余篇，其中被SCI和EI收录30余篇。



文双春，湖南大学教授、博士生导师，计算机与通信学院副院长，微纳光电器件及应用教育部重点实验室副主任，从事非线性光学和光通信技术方面的研究，被SCI收录论文80余篇。

#### 中兴通讯打通国内首个基于IMS和EV-DO的视频电话

【本刊讯】2009年4月，中兴通讯联合四川电信在四川省的EV-DO网络上，成功打通中国首个基于IMS的视频电话，并实现了IMS商用平台和四川省CDMA移动核心网的对接。中兴通讯计划在2009年第二季度末推出多款支持视频电话功能的EV-DO商用终端。

视频通话业务是3G的标志性业务之一。本次视频通话包括两部手机之间以及两台电脑之间等多重形式。视频画面传输流畅，通话音质清晰，体验用户感觉良好。

四川电信EV-DO网络同样为中兴通讯独家承建，2009年4月16日正式商用。网络支持EV-DO版本A，峰值下载速率高达3.1 Mb/s。中国电信EV-DO网络将分批在80

多个大中城市全面商用，包括北京、上海、成都、福州等。

中兴通讯核心网总经理徐子阳表示：“四川IMS项目领先性的突破，给中国3G CDMA市场提供了示范效应明显的样板。中兴通讯将继续完善端到端的VT业务和商用终端，并综合谋划VT衍生的增值业务，包括多媒体彩铃、彩像、多媒体会议、手机动态号码簿等。”

中兴通讯是中国电信3G CDMA网络的最大设备供应商，在无线接入设备、核心网以及业务平台等方面的份额均居第一。中兴通讯也是业界唯一支持全制式的核心网设备供应商，产品包括固网软交换、移动软交换、IMS等全系列产品 and 解决方案。截至2009年一季度，中兴通讯核心网产品全球用户数达11.3亿，服务于全球110个国家。