

文章编号: 0258-7025(2009)04-0846-05

光载无线系统中多路高纯度本振的远程传送

谢 畅 张宝富 赖先主 苏 洋

(解放军理工大学通信工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要 针对光载无线技术在宽带无线网络中应用时,由于宽带无线网络的多标准共存所导致的基站本振频率多样性问题,提出在中心站利用光相位调制器和周期带通滤波器同时产生和远程传送多路不同频率的本振,从而使多类基站共享一个中心站本振源的方案。理论分析了该方案产生本振的频率大小和谱线宽度,用一个 6.4 GHz 的低频信号仿真实现了 19.2 GHz, 25.6 GHz 和 38.4 GHz 等多路本振的同时产生。理论与仿真结果均表明本振的纯度很高,并且不受光源线宽的影响。提出了一种双向传输系统,可很好地解决标准的兼容性,减小色散的影响,提高传输容量,并大大降低系统的成本。

关键词 光纤光学; 光载无线系统; 远程传送多路本振; 光频率倍增; 双向传输结构

中图分类号 TN253; TN929.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093604.0846

Generating and Delivering Multi-Channel Local Oscillation Signals with High Purity in Radio-over-Fiber System Remotely

Xie Chang Zhang Baofu Lai Xianzhu Su Yang

(Institute of Communications Engineering, PLA University of Science and Technology,
Nanjing, Jiangsu 210007, China)

Abstract Radio-over-fiber system has a broad prospect in broadband wireless communication networks. Due to the coexistence of multiple standards of broadband wireless communication networks, the frequency of local oscillation signal used in base station is different from each other. A novel scheme is presented to generate and deliver multi-channel local oscillation signals simultaneously and remotely by making use of an optical phase modulator and an optical periodic band-pass filter in central station. The single local oscillation system in central station can be shared by a number of base stations which belong to several standards. The frequency and the line width of local oscillation signal is analyzed theoretically. The simulation to generate and deliver multi-channel local oscillation signals such as 19.2 GHz, 25.6 GHz and 38.4 GHz simultaneously with a single electrical drive signal operating at frequency of 6.4 GHz is performed. The theoretical analysis and simulation results both show that local oscillation signals have very high purity, and the purity is not affected by the line width of the source. Then a bi-directional scheme is proposed. In such scheme, the compatibility of multiple standards can be solved very well. The chromatic dispersion and the cost can be reduced extremely. In addition, the capacity of system could be enlarged.

Key words fiber optics; radio-over-fiber system; remote multi-channel local oscillation signals delivery; optical frequency multiplication; bi-directional transmission scheme

1 引 言

光载无线(Radio-over-fiber, RoF)技术用光通信器件产生和处理微波信号,在中心站和基站间用

光纤实现信号的低损耗可靠传输,同时具有速率高、灵活性好及频率重复利用率高等特点,在宽带移动通信、宽带无线局域网和智能交通系统等多个宽带

收稿日期: 2008-08-15; 收到修改稿日期: 2008-10-20

基金项目: 国家自然科学基金(60871075)资助课题。

作者简介: 谢 畅(1984—),男,硕士研究生,主要从事光生毫米波和光子学上变频等方面的研究。

E-mail: xiegoogle@163.com

导师简介: 张宝富(1965—),男,教授,硕士生导师,主要从事光通信系统与技术、光信息处理技术等方面的研究。

E-mail: zhangbaofu@163.com

无线通信场合有着重大的应用前景^[1~3],因此人们对光载无线系统中毫米波副载波的产生方法^[4,5]、系统设计^[6,7]、信号性能^[8,9]和关键器件^[10]都进行了广泛的研究。

在 RoF 系统中,基站数目众多和微小区是一大特点,因此尽可能简化基站结构、降低基站成本是 RoF 系统设计的关键。在 RoF 上行链路中,基站需将天线接收的射频信号调制在光载波上。外调制方式调制速率高,但成本也高。内调制方式较经济,但调制速率受限。用本振与射频信号混频,将其下变频到基带或中频,然后内调制激光器,可很好地解决速率和成本之间的矛盾。在不同标准的宽带无线网络中,RoF 基站所需的本振频率各不相同,若用一个中心站的本振源同时为多类基站提供本振,并使一个基站同时支持多个标准的宽带无线网络,那么在某些场合就可让一站多能,让一个基站实现多个基站的功能,这为系统维护和升级带来了很大方便,并进一步大大降低了成本。

本文将解决从中心站产生和远程传送基站所需的高纯度的本振问题,在一个中心站内同步产生 19 GHz,26 GHz 和 38 GHz 频段等多路本振,并相应地提出一种新颖的双向传输方案。

2 本振远程传送的原理

围绕如何产生远端基站所需的本振和毫米波信号,已有了多种方法的研究^[11~13]。一种经济可行的方法是利用频率调制到强度调制(Frequency modulation-intensity modulation, FM-IM)转换来产生低频信号的高次谐波。FM-IM 转换可利用光纤的色散特性来实现^[14],也可利用光周期滤波器实现,后者被称为光频率倍增(Optical frequency multiplication, OFM)技术^[15]。基本原理如图 1 所示。

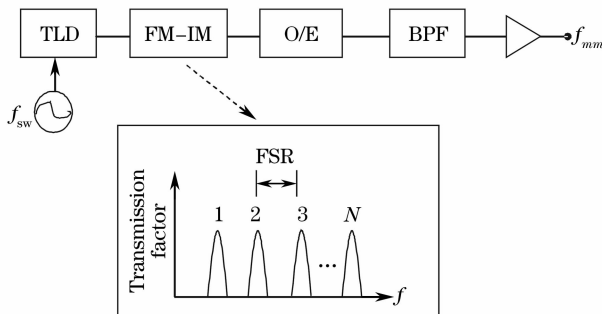


图 1 光频率倍增基本原理

Fig. 1 Principle of optical frequency multiplication

扫频信号由低频微波信号 f_{sw} 驱动波长可调谐

半导体激光器(Tunable laser diode, TLD)得到,也可由相位调制器(Phase modulator, PM)对连续波激光器(CW LD)调频得到。若低频微波信号为正弦波,则扫频信号可表示为

$$E_{FM} = E_0 \cos[2\pi f_0 t + \beta \sin(2\pi f_{sw} t)], \quad (1)$$

式中 E_0 为光载波的幅度, f_0 和 f_{sw} 分别为光载波和微波信号的频率, β 为调制指数。将(1)式用第一类贝塞尔(Bessel)函数展开

$$E_{FM} = E_0 \{ J_0(\beta) \cos \omega_0 t - J_1(\beta) \cos(\omega_0 - \omega_{sw})t + J_1(\beta) \cos(\omega_0 + \omega_{sw})t + J_2(\beta) \cos(\omega_0 - 2\omega_{sw})t + J_2(\beta) \cos(\omega_0 + 2\omega_{sw})t - \dots \}, \quad (2)$$

式中 $\omega_0 = 2\pi f_0$, $\omega_{sw} = 2\pi f_{sw}$ 。当调制指数 β 确定后,扫频信号的频谱是由以 f_0 为中心,以 f_{sw} 为间隔均匀分布的若干离散谱线构成,并有最大频偏 Δf 。周期带通滤波器作为完成 FM-IM 转换器件,具有周期滤波特性,通常包括法布里-珀罗干涉仪(FPI)和马赫-曾德尔干涉仪(MZI),若其自由频谱范围(Free spectral range, FSR)的大小 R_{fs} 小于 $2\Delta f$,且设 $N = 2\Delta f/R_{fs}$,那么在驱动信号的一个周期 $1/f_{sw}$ 内,扫频信号频率的变化轨迹是从负的最大频偏处 $f_0 - \Delta f$ 到正的最大频偏处 $f_0 + \Delta f$,再回到 $f_0 - \Delta f$,意味着其在周期带通滤波器内经历了 $2N$ 个通带,使得光信号强度以频率 $f_{mnm} = 2Nf_{sw}$ 周期性变化。

光电检测时有两个作用发生,一是通过周期带通滤波器的频谱分量互相混频产生 f_{sw} 及其各个倍频 nf_{sw} ,二是光信号强度变化频率 f_{mnm} 转换成光电电流幅度变换频率,幅度周期变化的电信号包含了基频 f_{mnm} 及其若干次谐波 kf_{mnm} ,若 N 为整数,则 kf_{mnm} 是 nf_{sw} 的一部分。光电流经带通滤波器(Band pass filter, BPF)滤除多余的频率和噪声,放大后得到所需本振。

3 方案设计及仿真分析

为了研究和验证本振的频率大小和谱线纯度,本文搭建了一个由中心站、传输链路和基站三部分组成的多路本振远程产生和传送的光传输系统仿真方案(图 2)。

在中心站,连续波 DFB 激光器发出的光载波受到相位调制器调频,激光器中心波长 $\lambda_0 = 1310$ nm,平均发射功率为 10 mW。驱动信号为频率 $f_{sw} = 6.4$ GHz 的正弦波,幅度 $A = 1$ 。设置恰当的调制指

数使最大频偏 $\Delta f = 15$ GHz。周期带通滤波器选用 FPI, 其 FSR 为 $R_{fs} = 10$ GHz, 反射率 $R = 0.3$ 。光信号经 FPI 滤波后, 被送至 12 km 的单模光纤进行

传输, 光纤损耗系数 $\alpha = 0.2$ dB/km, 色散系数 $D = 17$ ps/(nm · km)。

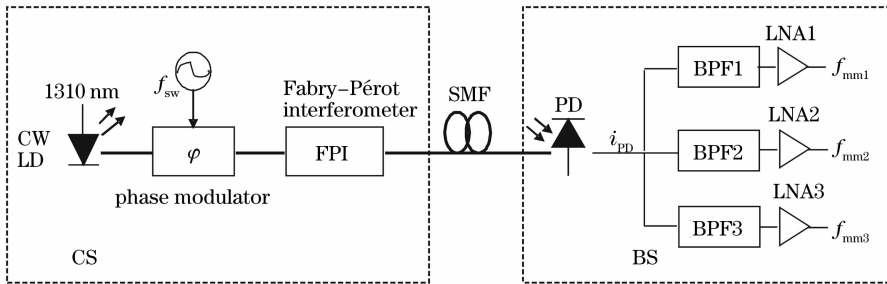


图 2 远程传送多路本振信号的仿真方案

Fig. 2 Simulation schematic with multi-channel LO signals delivering remotely

在基站, 高速光电检测器 (PD) 将光纤传来的光信号转换为光电流。检测器的响应度设为 1 A/W, 暗电流设为 10 nA。得到的光电流频谱如图 3 所示, 可见, 光电流含有低频微波信号 f_{sw} 的高次谐波分量。

光电流接着被滤波, 设三个滤波器都采用 4 阶贝塞尔带通滤波器, 带宽约为 325 MHz。中心频率分别设为 19.2 GHz, 25.6 GHz 和 38.4 GHz^[16]。滤波后的信号进一步被低噪放大, 得到最终的本振 f_{nm1} , f_{nm2} 和 f_{nm3} 。低噪放大器增益设为 40 dB。在激光器线宽为 1 MHz 的情况下, 得到的本振如图 4(a) 所示, 其中小图为本振的局部放大, 其谱线宽度受限于仿真分辨率 30.5 kHz。由此可见, 采用该方案可获得纯度非常高的本振信号。

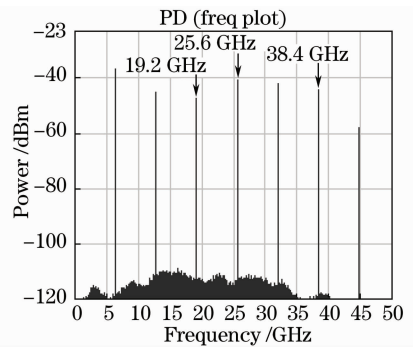


图 3 光电二极管输出信号频谱

为了进一步确定光源线宽对本振的影响, 将激光器线宽改为 100 MHz, 仿真得到如图 4(b) 所示的本振。由图可见, 除了噪声门限提高了近 20 dB 外, 本振的纯度没有可见的变化, 仍然受限于仿真分辨

为了进一步确定光源线宽对本振的影响, 将激

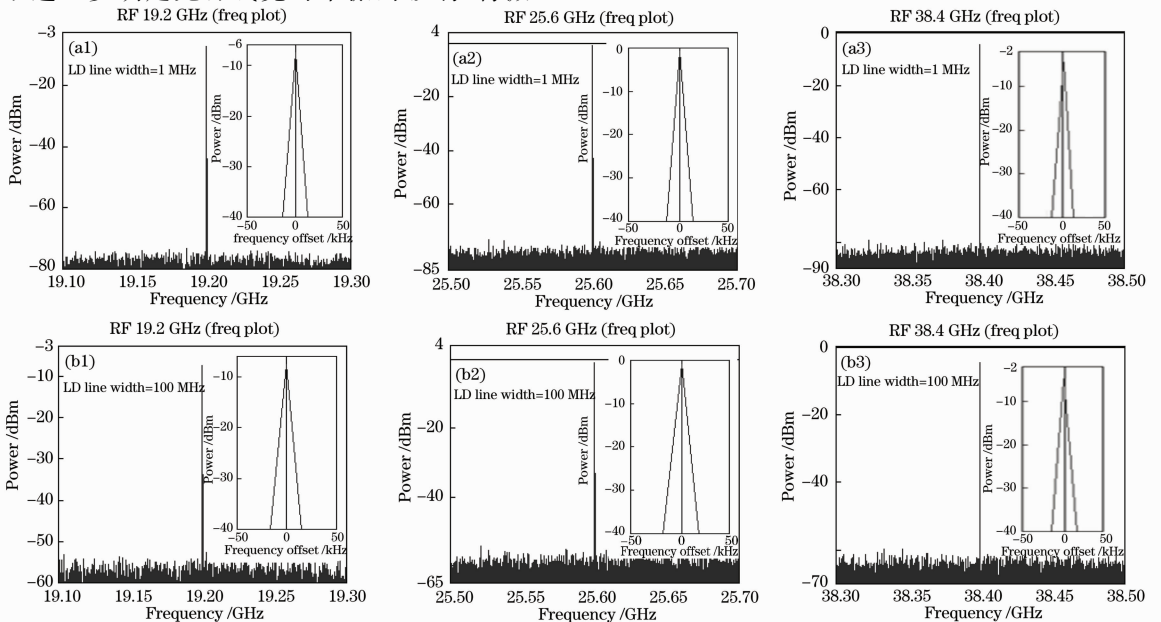


图 4 放大后的 19.2 GHz (a1), (b1), 25.6 GHz (a2), (b2) 和 38.4 GHz (a3), (b3) 本振

Fig. 4 19.2 GHz (a1), (b1), 25.6 GHz (a2), (b2) and 38.4 GHz (a3), (b3) local oscillation after amplification

率 30.5 kHz。这是由于调频信号产生于同一激光源,各个频率分量的相位噪声完全相关,这种相关性不因相干光源线宽的改变而改变,因此本振纯度很高,且不受光源相位噪声影响。

以上仿真结果与理论分析完全吻合,说明提出的方案可实现本振远端产生的目的。文献[17]通过实验用调谐激光器产生了低频信号的 6 次谐波,从另一方面旁证了本方案在实际中的可行性。

4 双向传输系统设计

本文提出一种新颖的 RoF 双向传输系统。如图 5 所示。

在中心站内,基带或中频信号通过直接调制激光器生成下行信号。中心站和每个基站通过三路光纤连接。一路传输从中心站到基站的下行信号,一路传输从基站到中心站的上行信号,另一路传输从中心站供给基站的本地本振。在基站内有两个 PD,一个低速 PD 和一个高速 PD。低速 PD 用来检测下行信号,高速 PD 用来检测本振。本振滤波后被分成两路,一路和检测后的下行信号混频,生成毫米波信号,放大后给天线发送;另一路与从天线接收的毫米波信号混频,生成基带或中频信号,放大后直接调制激光器或发光二极管(LED)生成上行信号。

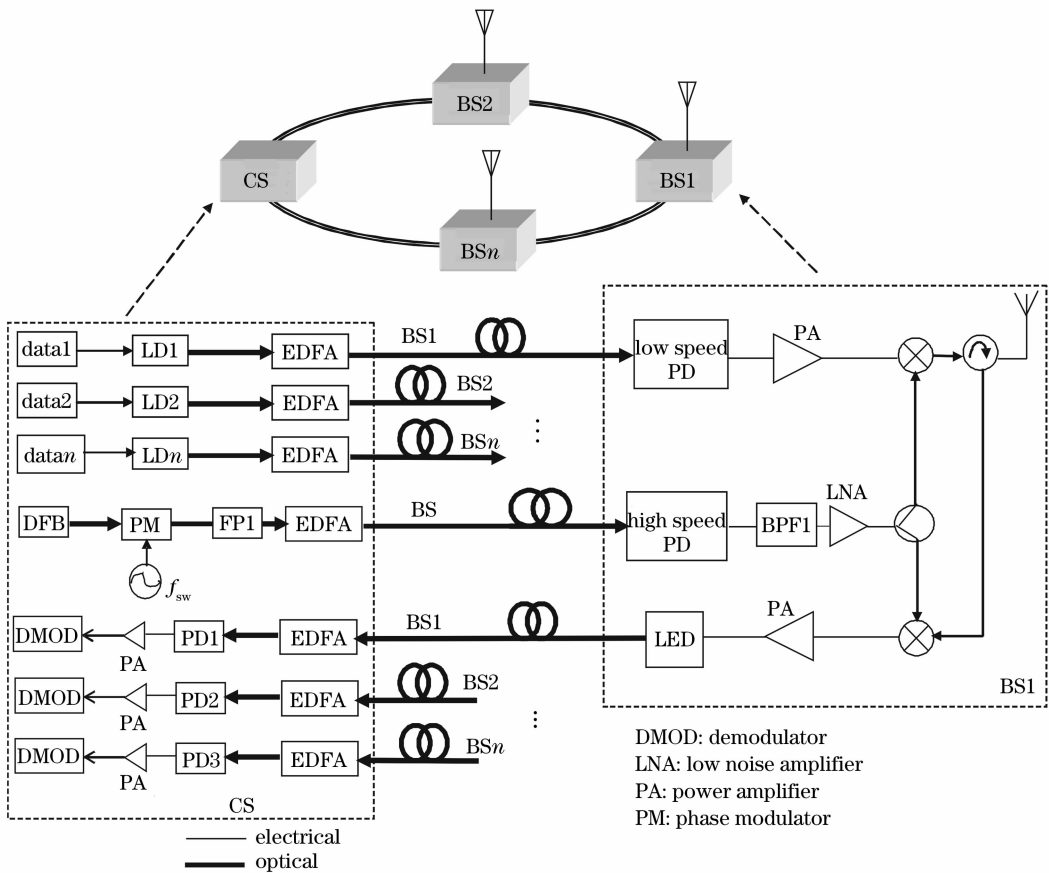


图 5 新颖的 RoF 双向传输系统

Fig. 5 A novel radio-over-fiber bi-directional transmission system

基站所需的本振完全由中心站远程传送,减少了其复杂性和成本。而在基站内通过选择不同中心波长的滤波器,可使基站支持多个标准的无线信号,如 19 GHz, 25 GHz 和 38 GHz 频段的标准都能得到支持。甚至进一步可在一个基站内放置数个频率不同的滤波器,使一个基站同时实现多种标准的发射和接收。

由于下行和上行链路中传输的是基带或中频信

号,故与传输高频率毫米波信号的链路相比较,其链路中由色散所致的信号功率衰减要小很多,信号的性能有较大改善。且信号只调制在一路光载波上,与信号调制光载波和各个边带上的同类系统相比^[18],副载波复用容量得到极大的提高。

5 结 论

提出了在中心站远端产生多路本振的方案,用

一个 6.4 GHz 的低频信号同时产生了 19.2 GHz, 25.6 GHz 和 38.4 GHz 等多个频段的本振, 可让一个本振源被多类不同标准的基站共享, 大大降低了基站的复杂性和成本。理论分析和仿真结果均表明, 产生的本振信号纯度很高, 不受光源线宽影响。设计了一种新颖的低成本光载无线双向传输系统, 该系统具有色散小、副载波复用容量大的优点, 并对多个标准的宽带无线网络有很好的支持和兼容性, 对实际中的光载无线系统配置具有指导意义和潜在应用价值。

参 考 文 献

- Hiroshi Harada, Katsuyoshi Sato, Masayuki Fujise. A radio-on-fiber based millimeter-wave road-vehicle communication system by a code division multiplexing radio transmission scheme[J]. *IEEE Transactions Intelligent Transportation Systems*, 2001, **2**(4): 165~179
- Zhou Bo, Zhang Hanyi, Zheng Xiaoping *et al.*. Developing status of microwave photonics[J]. *Laser & Infrared*, 2006, **36**(2): 81~84
周 波, 张汉一, 郑小平 等. 微波光子学发展动态[J]. *激光与红外*, 2006, **36**(2): 81~84
- D. Wake, M. Webster, G. Wimpenny *et al.*. Radio over fiber for mobile communications[C]. *Proc. Int. Top Meeting Micro. Photo. (WMP '04)*, 2004. 157~160
- Ye Qing, Liu Feng, Qu Ronghui *et al.*. Fiber-communication project of millimeter-wave subcarrier based on fiber grating[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(10): 1464~1468
叶 青, 刘 峰, 瞿荣辉 等. 一种基于光纤光栅的毫米波副载波光通信方案[J]. *光学学报*, 2006, **26**(10): 1464~1468
- Wen Hong, Chen Lin, Pi Yazhi *et al.*. Full-duplex radio-over-fiber system with optical millimeter-wave generation utilizing optical phase modulator[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(7): 935~939
文 鸿, 陈 林, 皮雅稚 等. 基于相位调制器产生光毫米波的全双工光纤无线通信系统[J]. *中国激光*, 2007, **34**(7): 935~939
- Hu Liliang, Chen Lin, Yu Jianjun *et al.*. A novel scheme for optical millimeter-wave generation based on double-sideband modulation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2): 238~242
胡黎亮, 陈 林, 余建军 等. 一种改进的双边带调制产生毫米波的方案[J]. *光学学报*, 2008, **28**(2): 238~242
- Jiang Tao, Huang Dexiu, Zhang Xinliang *et al.*. A full-duplex 60 GHz-band radio over fiber system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 36~42
江 涛, 黄德修, 张新亮 等. 全双工 60 GHz 的光纤无线通信方案[J]. *光学学报*, 2008, **28**(1): 36~42
- Wang Weinan, Li Yanhe, Zheng Xiaoping *et al.*. Modelling of fiber radio link using Mach-Zehnder modulator[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(1): 159~165
王伟南, 李艳和, 郑小平 等. 应用马赫-曾德尔调制器的光微波链路建模[J]. *光学学报*, 2007, **27**(1): 159~165
- Yang Xiangyun, Hu Weiwei, Xu Anshi. Research on effects of dispersion of signal transmission on millimeter-wave RoF optical communication systems [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2006, **42**(3): 401~405
杨湘云, 胡微微, 徐安士. 毫米波 RoF 光通信系统中信号传输色散影响的研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2006, **42**(3): 401~405
- Zhang Qiang, Huang Dexiu, Zhang Xinlian *et al.*. Ring and phase assisted Mach-Zehnder modulator for radio-over-fiber system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(12): 2194~2199
张 强, 黄德修, 张新亮 等. 用于光纤无线通讯的微环相位辅助型马赫-曾德尔调制器[J]. *光学学报*, 2007, **27**(12): 2194~2199
- C. R. Lima, D. Wake, P. A. Davies. Compact optical millimetre-wave source using a dual-mode semiconductor laser [J]. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(5): 364~366
- Jianjun Yu, Zhensheng Jia, Ting Wang *et al.*. A novel radio-over-fiber configuration using optical phase modulator to generate an optical mm-wave and centralized lightwave for uplink connection[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(3): 140~142
- Gang Zhou, Xiupu Zhang, Jianping Yao *et al.*. A novel photonic frequency down-shifting technique for millimeter-wave-band radio-over-fiber systems [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(8): 1728~1730
- N. G. Waker, D. Wake, I. C. Smith. Efficient millimeter-wave signal generation through FM-IM conversion in dispersive optical fibre links[J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(21): 2027~2028
- T. Koonen, A. Ng'oma, P. Smulders *et al.*. In-house networks using multimode polymer optical fiber for broadband wireless services[J]. *Photonic Network Communications*, 2003, **5**(2): 177~178
- 陈如明. 新一代宽带无线接入与移动通信的频率规划[J]. *无线电工程*, 2002, **31**(1): 8~10
- M. G. Larrode, A. M. J. Koonen, J. J. V. Olmos. Fiber-based broadband wireless access employing optical frequency multiplication[J]. *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron.*, 2006, **12**(4): 875~881
- M. G. Larrode, A. M. J. Koonen, J. J. V. Olmos *et al.*. Bidirectional radio-over-fiber link employing optical frequency multiplication [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(1): 241~243