

文章编号:1004-4213(2011)07-0983-6

# 基于 RS 码及网格编码调制技术的 60 GHz OFDM-RoF 系统

曾冠军, 陈林, 余建军, 肖江南, 曹子峥, 李凡

(湖南大学 信息科学与工程学院 微纳光电器件及应用教育部重点实验室, 长沙 410082)

**摘 要:**分析了 60 GHz 正交频分复用技术光纤无线通信系统中的子载波互拍及频率选择性衰落. 提出利用里德-所罗门码级联网格编码调制技术结合符号交织来降低两者对系统性能的不良影响. 采用符号交织来分散正交频分复用中子载波上的误码, 然后通过高码率的里德-所罗门码级联实用的网格编码调制技术来纠正比特错误. 仿真结果表明: 经过符号交织后, 误码在子载波上的分布变得较均匀, 有利于纠错; 2.5 Gb/s 正交频分复用信号采用 RS-PTCM-64QAM 方案比采用未编码的 16QAM 调制提高了 5 dB 左右的接收机灵敏度.

**关键词:**光通信; 光纤无线通信系统; 网格编码调制技术; 光载毫米波; 正交频分复用

**中图分类号:** TN929.11

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3788/gzxb20114007.0983

## 0 引言

随着人们对多媒体宽带业务的需求日益增强, 毫米波频段的应用是无线通信迈向大容量和高速率的有效途径. 目前 60 GHz 毫米波拥有 7 GHz 频宽的免许可频带, 从而成为了研究的热点. 光纤无线通信系统(Radio over Fiber, RoF)可以结合光纤巨大的频带优势和无线通信的灵活性, 构建简单的基站单元, 降低 60 GHz 毫米波接入网的成本<sup>[1-5]</sup>. 正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)调制技术与光纤通信相结合能在一定程度上抵抗色散和偏振模色散的影响, 从而提供可靠的数据传输<sup>[6-10]</sup>. OFDM 技术与 RoF 技术相结合组成 OFDM-RoF 系统可以降低无线网的成本, 提高接入带宽并能实现毫米波传输距离增加. 这些优势使得 OFDM-RoF 系统非常适合传输 60 GHz 毫米波<sup>[10-13]</sup>.

在 60 GHz 的 OFDM-RoF 传输系统中, 由于频率选择性衰落, OFDM 子载波之间的互拍, 造成系统性能有所恶化<sup>[10-11]</sup>. 因此提升 60 GHz OFDM-RoF 系统的性能成为研究的热点. 文献[12]提出采用光单边带调制格式, 使得 60 GHz 毫米波实现远距离传输. 但其实现过程复杂. 文献[11, 13]提出选

择合适的前向纠错技术来对抗频率选择性衰落和 OFDM 子载波之间的互拍. 但文章中提出的编码方案的码率都为 0.66, 码率过低将降低频谱利用率. 文献[14-15]提出将低密度奇偶校验码(Low Density Parity-check Code, LDPC)与编码调制技术相结合应用在光通信中. 为了获得高的编码增益, LDPC 编码调制技术需要采用长度较长的成员码, 但是 LDPC 长码的软迭代译码需要付出很高的硬件成本.

本文首先分析了直接检测的 60GHz OFDM-RoF 系统中的子载波互拍(Subcarrier Subcarrier Mutual Interference, SSMI)和频率选择性衰落(Frequency-selective Fading, FF), 然后提出采用里德-所罗门码(Reed-Solomon, RS)级联实用的网格编码调制技术(Pragmatic Trellis Coded Modulation, PTCM)和符号交织来降低两者对系统的影响. 在带宽受限信道应用的 PTCM 技术采用软信息译码, 能最大化信号序列的欧式距离且硬件实现成本较低. 外码 RS 码在光通信中应用较早且技术成熟, 能纠正随机错误和突发错误. 仿真平台采用外部调制器方式产生 60 GHz 光毫米波, 采用 2.5 Gb/s 的 OFDM 信号作为下行数据信号, 实现基站与用户单元 60 GHz 毫米波的 20 km 光纤传输.

**基金项目:**国家自然科学基金(No. 60977049)、国家高技术研究发展计划(No. 2009AA01Z220, No. 2009AA01Z222), 湖南省科技计划项目(No. 2009FJ3131)资助

**第一作者:**曾冠军(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为 OFDM-RoF 系统. Email: zengguanjun123@163.com

**导师(通讯作者):**陈林(1968-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为光 OFDM 系统、OFDM-RoF 系统等. Email: liliuchen12@126.com

**收稿日期:** 2010-12-01; **修回日期:** 2011-02-21

### 1 系统理论分析

基于 RS 码级联 PTCM 技术的 60 GHz OFDM-RoF 直接检测系统的原理如图 1. 在中心站 (Central Office, CO), 分布反馈式激光器 (Distributed Feedback Laser Diode, DFB-LD) 产生幅度为  $A$ , 角频率为  $\omega_c$  的连续光信号  $E_{in}(t) = A \exp(j\omega_c t)$ , 如图 1 中的 (i). 本地振荡信号 (Local Oscillator, LO) 为  $E_{RF}(t) = V_{RF} \exp(j\omega_{RF} t)$ , 其中  $V_{RF}$  为信号的幅值,  $\omega_{RF}$  为信号的角频率. LO<sub>1</sub> 用来驱动一个双臂的马赫-曾德尔调制器 (Dual-Mach-Zehnder Modulator, Dual-MZM) 调制连续光信号  $E_{in}(t)$ , 实现光奇边带抑制调制; 之后采用一个光带阻滤波器 (Optical Band Stop Filter, OBSF) 滤除中心载波, 获得光毫米波, 如图 1 中的 (iii). 光毫米波的表达式<sup>[7-8]</sup>为

$$E_{optical-mmwave}(t) = [A_{1+} \cos(\omega_c + \omega_{RF})t + A_{1-} \cos(\omega_c - \omega_{RF})t] \quad (1)$$

式中  $A_{1+}, A_{1-}$  代表两个二阶边带的幅值,  $\omega_{RF} = 2\omega'_{RF}$ . OFDM 信号通过另一个马赫-曾德尔强度调制器 (Intensity Modulator, IM<sub>2</sub>) 上变频至光载毫米波上. OFDM 的时域信号为

$$S_{ofdm}(t) = \sum_{k=1}^N (a_k \cos k\Omega t + b_k \sin k\Omega t),$$

其中  $N$  代表子载波的个数.  $a_k, b_k$  为复数符号 IQ 两路分量,  $k\Omega$  代表第  $k$  个子载波的角频率. 上变频后的信号如图 1 中的 (iv), 表达式为

$$E(t) = [A_{1+} \cos(\omega_c + \omega_{RF})t + A_{1-} \cos(\omega_c - \omega_{RF})t] \cdot (1 + r S_{ofdm}(t)) \quad (2)$$

式中  $r$  为强度调制器工作在线性范围内的光调制指数.

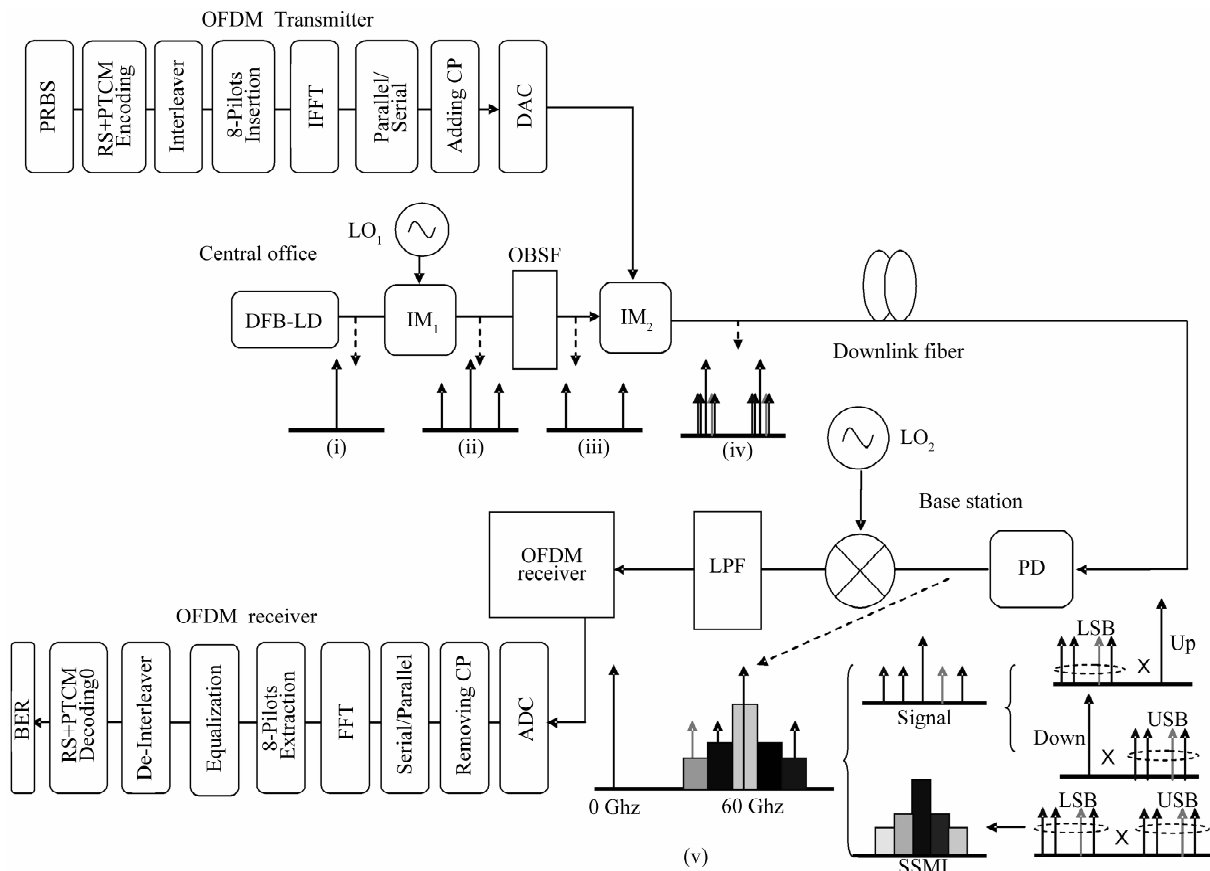


图 1 60 GHz OFDM-RoF 系统原理  
Fig. 1 The principle of 60 GHz OFDM-RoF system

当光信号在长度为  $L$  的光纤中传输时, 两个二阶边带由于色散发生了相位偏移, 设定相位偏移常

量为  $\beta(\omega)$ . 其信号幅度也被衰减, 设定衰减常量为  $att(L)$ . 因此经光纤传输后的信号变为

$$E_{after-fiber}(t) = att(L) \left\{ r A_{1+} \sum_{k=1}^N \cos \left[ (\omega_c + \omega_{RF})t - \frac{\beta(\omega_c + \omega_{RF} + k\Omega) + \beta(\omega_c + \omega_{RF} - k\Omega)}{2} L \right] \cdot S_{ofdm} \left[ t - \frac{\beta(\omega_c + \omega_{RF} + k\Omega) - \beta(\omega_c + \omega_{RF} - k\Omega)}{2 * k\Omega} L \right] (USB) + A_{1+} \cos [(\omega_c + \omega_{RF})t - \beta(\omega_c + \omega_{RF})L] (Up) + \dots \right\}$$

$$\left\{ rA_1 - \sum_{k=1}^N \cos \left[ (\omega_c - \omega_{RF})t - \frac{\beta(\omega_c - \omega_{RF} + k\Omega) + \beta(\omega_c - \omega_{RF} - k\Omega)}{2} L \right] \right. \\ \left. S_{\text{ofdm}} \left[ t - \frac{\beta(\omega_c - \omega_{RF} + k\Omega) - \beta(\omega_c - \omega_{RF} - k\Omega)}{2 * k\Omega} L \right] (\text{LSB}) + A_1 - \cos [(\omega_c - \omega_{RF}) - \beta(\omega_c - \omega_{RF})L] (\text{Down}) \right\} \quad (3)$$

方程式(3)中的 USB 为上边带 OFDM 信号,  $U_p$  为上边带载波, LSB 为下边带 OFDM 信号, Down 为下边带载波. 它们分别与图 1 中(v)对应.

在基站(Base Station, BS), 下行信号的两个二阶边带通过光电检测器(Photodiode, PD)进行互拍, 获得电毫米波, 其过程如图 1 中(v). 其表达式为

$$E_{\text{SSMI}}(t) = (\text{USB}) * (\text{LSB}) = \left\{ \sum_{k=1}^N \cos \left[ (\omega_c + \omega_{RF})t - \frac{\beta(\omega_c + \omega_{RF} + k\Omega) + \beta(\omega_c + \omega_{RF} - k\Omega)}{2} L \right] \right. \\ \left. S_{\text{ofdm}} \left( t - \frac{\beta(\omega_c + \omega_{RF} + k\Omega) - \beta(\omega_c + \omega_{RF} - k\Omega)}{2 * k\Omega} L \right) (\text{上边带 OFDM 子载波}) \right. \\ \left. \left\{ \sum_{k=1}^N \cos \left[ (\omega_c - \omega_{RF})t - \frac{\beta(\omega_c - \omega_{RF} + k\Omega) + \beta(\omega_c - \omega_{RF} - k\Omega)}{2} L \right] \right. \right. \\ \left. \left. S_{\text{ofdm}} \left( t - \frac{\beta(\omega_c - \omega_{RF} + k\Omega) - \beta(\omega_c - \omega_{RF} - k\Omega)}{2 * k\Omega} L \right) \right\} (\text{下边带 OFDM 子载波}) \right\} \quad (5)$$

子载波间存在着互拍带来的相互干扰, 造成了新的噪音.

另外一方面对于 OFDM 毫米波, 由于本地振荡的频率  $\omega_{RF}$  远远大于子载波的频率  $\Omega$ , 且相位偏移常量存在下述关系

$$\beta(\omega_0 \pm \omega_{RF}) = \beta(\omega_0) \pm \omega_{RF} \beta'(\omega_0) + \frac{1}{2} \omega_{RF}^2 \beta''(\omega_0) \dots$$

式中  $\beta'(\omega)$ 、 $\beta''(\omega)$  为一阶、二阶的相位偏移常量. 因此 OFDM 毫米波的式子可以转化为

$$E_{\text{rev-ofdm-mmw}} = ((U_p) * (\text{LSB})) + ((\text{Down}) * (\text{USB}))_{(\text{mmw})} m * \sum_{k=1}^N \cos(k\Omega \omega_{RF} \beta'(\omega_c) L) * \\ S_{\text{ofdm}}(t - \beta'(\omega_c) L) * \cos(2\omega_{RF} t - 2\omega_{RF} \beta'(\omega_c) L) \quad (6)$$

式中  $m$  为常量. 从式(6)中可以发现 OFDM 的子载波受到  $\cos(k\Omega \omega_{RF} \beta'(\omega_c) L)$  的影响. 对于不同的子载波  $k$ , 其衰减的值不同. 从而出现频率选择性衰落.

获得的 60 GHz OFDM 电毫米波通过一个电混频器与本地振荡信号  $LO_2$  混频, 然后经过电低通滤波器(Low Pass Filter, LPF)实现 OFDM 信号的数据恢复.

## 2 RS-PTCM 技术与符号行列交织

子载波间的互拍和频率选择性衰落造成误码在 OFDM 的子载波上分布不均, 部分子载波上的误码率较高, 而其他的子载波误码则较低<sup>[11]</sup>. 本文采用符号行列交织来分散子载波上的误码, 然后通过 RS-PTCM 技术来进行纠错. 若不进行符号交织, 部

$$I(t) = \mu |E_{\text{after-fiber}}(t)|^2 = \mu * \text{att}(L)^2 * \\ [(\text{USB}) + (U_p) + (\text{LSB}) + (\text{Down})]^2 \quad (4)$$

从式(4)中可以看出, 存在上边带携带的 OFDM 子载波 USB 与下边带携带的 OFDM 子载波 LSB 间的互拍, 其表达式为

分子载波上的高误码将超过编码方案的纠错能力, 使得平均误码增加, 降低系统的性能.

网格编码调制技术(Trellis Coded Modulation, TCM)最初由 Ungerboeck 等人提出, 通过联合设计编码和信号映射关系, 以最大化信号序列间的最小自由欧式距离, 就可以在不展宽带宽或者增加信号集的平均能量的条件下获得编码增益<sup>[16]</sup>. 由于高阶正交幅度调制(HQAM, Quadrature Amplitude Modulation, QAM)的 TCM 技术实现不易, 文献[17]针对星座图为矩形的 QAM 调制提出了采用 PTCM 技术, 将 TCM 编译码的二维过程转化成两个一维过程使得高阶 QAM 的 TCM 硬件实现变得简易.

本文采用 802.16a 标准<sup>[18]</sup>中基于 64QAM 调制的每个符号传输 4 个有效比特的 PTCM 技术方案进行分析. 传输的有效比特数正好跟一个未编码的 16QAM 映射的符号所包含的比特数一致, 且两者都只传输一个符号, 占用的带宽是一样的. 因此在后面的仿真中, 将用未编码的 16QAM 方案与其进行了对比. PTCM 译码采用文献[19]的方法, 由于译码过程中容易产生突发错误. 方案中利用 RS(511, 459)码提高编码增益并且解决 PTCM 技术解码后突发错误的问题.

## 3 60 GHz OFDM-RoF 系统仿真结构

实验中的 OFDM 信号由 MATLAB 产生, 包含 256 个子载波, 其中 200 个子载波用于传输信息, 56

个子载波被设置为 0 来作为保护间隔. 200 个子载波中的 192 个携带信息, 剩下 8 个为导频. 首先将需要传输的伪随机码按照系统特性进行帧形成, 然后通过 RS 码级联 PTCM 技术转化为符号序列, 接着进行符号行列交织. 将数据帧映射为符号帧后, 在各个符号中加入导频(Pilot), 将符号帧经过 IFFT 变换后形成多正交子载波, 其波形就是基本 OFDM 波形. 我们将这一波形的一部分复制到波形的头部作为克服信号时延的循环前缀(Cyclic Prefix, CP). 数据信号的 OFDM 信号已经产生.

基于 OFDM 信号的 60 GHz RoF 系统仿真实验如图 2. 由一个分布式反馈式激光器产生波长为 1543.72 nm 连续光载波, 进入被 15 GHz 射频驱动的马赫-曾德尔双臂强度调制器, 实现光奇边带抑制调制, 频谱图如图 3(a). Dual-MZM 的调制电压为 5V, 偏置电压为 0V, 消光比 40 dB. 然后经过一个带阻滤波器将中心载波抑制掉, 获得 60GHz 毫米波, 其频谱如图 3(b). OFDM 信号通过一个消光比为 30 dB 的强度调制器上变频至毫米波上, 其频谱如图 3(c). 入纤光功率保持在 0 dBm. 将下行光信号通过损耗为 0.2 dB/km, 长度为 20 km 的光纤传输

到基站, 经光纤传输后的频谱如图 3(d). 在基站, 首先经过增益为 20 dB, 噪音功率是 4 dB 的掺铒光纤放大器 (Erbium-Doped Optical Fiber Amplifier, EDFA), 及灵敏度为 1A/W 的光电检测器将光调制信号转变为电信号, 其电域频谱如图 3(e), 转换后的电信号经电放大器 (Electric Amplifier, EA) 放大后再与本地 60 GHz 的射频混频经过低通滤波器得到基带 OFDM 信号, 基带 OFDM 信号最后送往 OFDM 接收机进行解调接收, 其频谱如图 3(f).

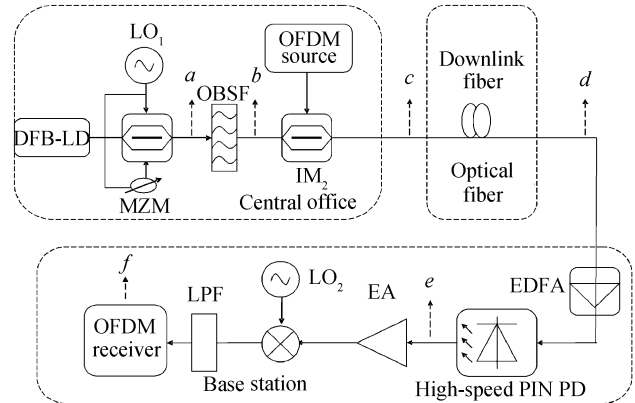


图 2 60 GHz OFDM-RoF 系统仿真图

Fig. 2 The experimental setup of 60 GHz OFDM-RoF system

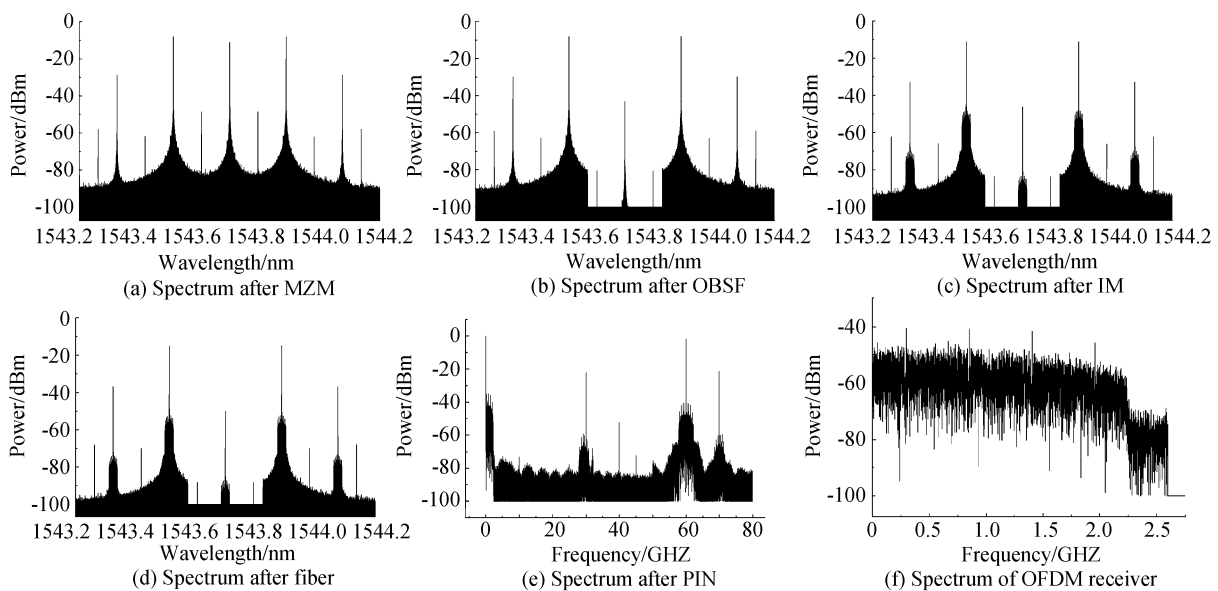


图 3 60 GHz OFDM-RoF 系统光谱图

Fig. 3 Optical spectrum of 60 GHz OFDM-RoF system

## 4 60 GHz OFDM-RoF 系统仿真结果分析

在保持传输距离为 20 km 及其他参量不变的基础上, 通过改变基站高速光电检测器之前的 EDFA 的放大功率来控制接收功率, 从而分析 RS-PTCM 技术的性能. 基于 64QAM 的 RS-PTCM 方案中每个符号传输 3.6 个有效比特, 传输速率为 2.

5-Gb/s. 由于 PTCM 技术未展宽带宽, 而 RS 码率为 0.9, 因此仿真中采用了传输速率为  $2.5 \times 0.9 = 2.25$ -Gb/s 的未编码 16QAM 方案作为对比.

图 4 中, 以 16QAM 方案为例, 分析了其误码分布. 分别取接受功率为 -35 dbm, -30 dbm, -25 dbm 时候的符号交织前跟符号交织后的误码分布进行对比. 从符号交织前的误码图中可以看出, 部分

子载波的误码较高, 例如  $-35\text{ dBm}$  时候的第 28 个子载波的错误比特数为 36 个, 远远高于其他大部分子载波的误码。经过符号交织以后, 高误码子载波的

误码比特被分散到其他子载波上, 从符号交织后的误码图中可以看出子载波上的误码分布较为平均, 有利于编码纠错。

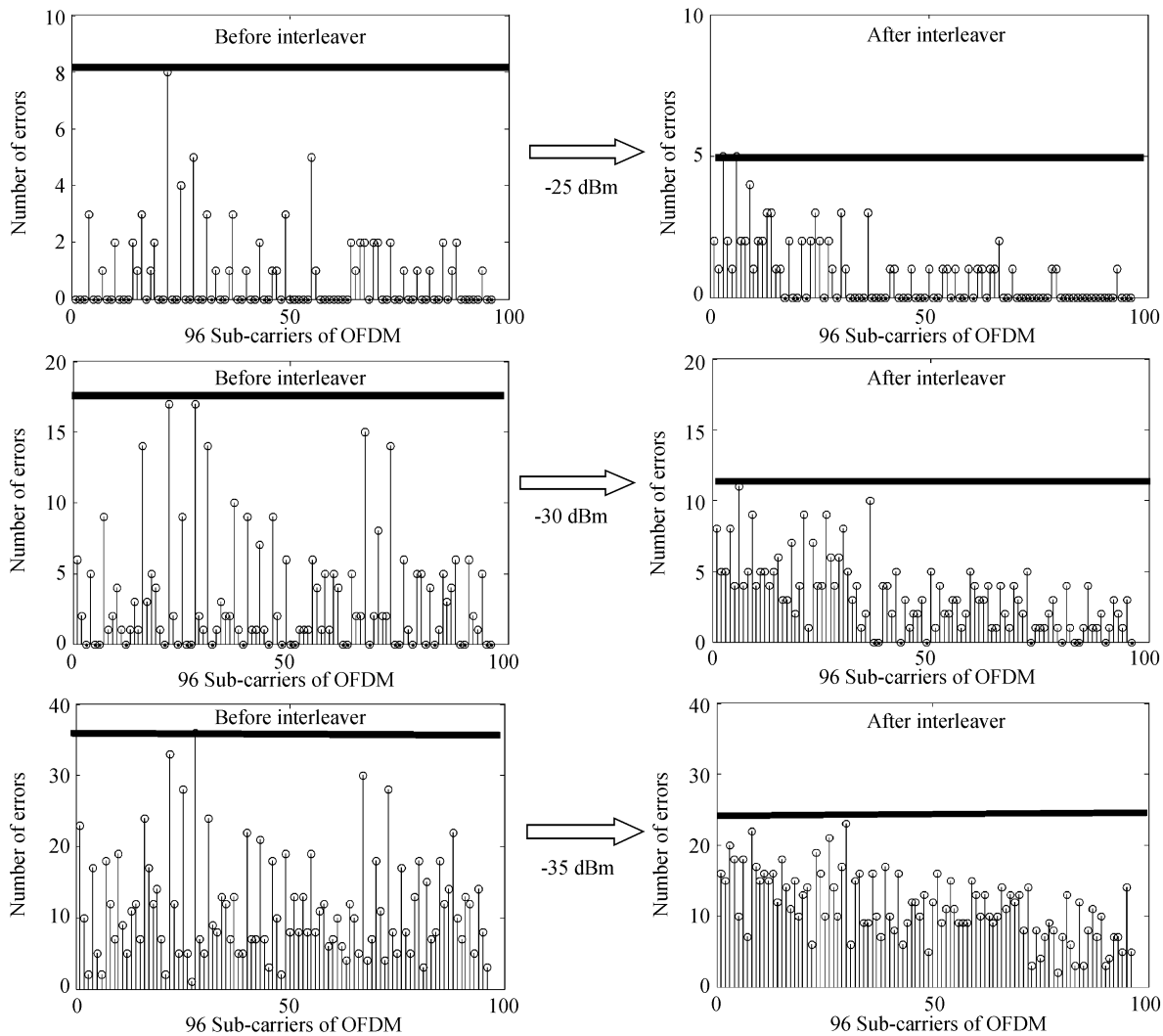


图 4 16QAM 方案的误码分布

Fig. 4 Error distribution of RS-PTCM-16QAM scheme

图 5 中比较了三者的误码情况, 从误码曲线图中可以看出 PTCM-64QAM 方案在误码为  $1 \times 10^{-3}$  的时候比 16QAM 方案节省 3 dB 左右的接收功率, 它的误码曲线走势比较平缓。级联 RS 码之后的 RS-

PTCM-64QAM 方案则能提高 5 dB 左右的接受灵敏度。从图 5 可以看出在误码为  $1 \times 10^{-3}$  的时候, PTCM-64QAM 方案和 RS-PTCM-64QAM 方案由于星座图的扩展等原因, 其接收的星座图比未编码的 16QAM 混乱, 但是由于受到 PTCM 技术的保护, 星座点的映射有网格图的限制, 其误码率却较好。

## 5 结论

本文推导了在 60 GHz OFDM-RoF 系统中的子载波互拍及频率选择性衰落。提出了采用符号交织来分散子载波上的误码, 然后通过 RS-PTCM 的方案进行纠错。新的编码方案实现难度较低, 频谱利用率很高。实验搭建了 60 GHz OFDM-RoF 仿真平台, 仿真结果显示 2.5-Gb/s OFDM 信号采用 RS-PTCM-64QAM 方案比未编码的 16QAM 方案提高了 5 dB 左右的接收机灵敏度。

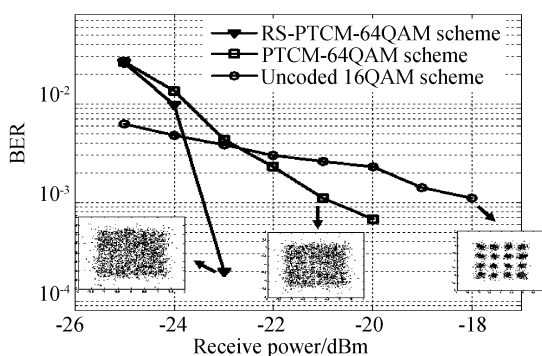


图 5 三种方案的误码曲线图

Fig. 5 BER curves of RS-PTCM-64QAM scheme, PTCM-64QAM scheme, uncoded 16QAM scheme

## 参考文献

- [1] CHOWDHURY A, YU Jian-jun, CHIEN Hung-chang, *et al.* Spectrally efficient simultaneous delivery of 112Gbps baseband wireline and 60 GHz MM-wave carrying 10Gbps optical wireless signal in radio-over-fiber WDM-PON access systems [C]. Vienna, Austria; Proc ECOC, 2009, paper 4. 5. 1.
- [2] CHIEN Hung-chang, CHOWDHURY A, HSUEH Yu-ting, *et al.* A novel 60 GHz millimeter-wave over fiber with independent 10-Gbps wired and wireless services on a single wavelength using PolMUX and wavelength-reuse techniques [C]. San Diego CA, USA; Proc OFC, 2009, paper OutB7.
- [3] YU Jian-jun, JIA Zhen-sheng, CHANG Gee-kung, *et al.* Broadband convergence of 60-GHz ROF and WDM-PON systems with a single modulator for bidirectional access networks[C]. Vienna, Austria; Proc ECOC, 2009, paper 6. 5. 2.
- [4] LI Guang, HUANG Xu-guang. A bi-directional radio-over-fiber system based on double-sideband with optical carrier suppression[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(5): 1153-1157.  
李广, 黄旭光. 抑光载波双边带 Radio over Fiber 双工通信系统设计[J]. 光子学报, 2009, **38**(5): 1153-1157.
- [5] HU Shan-mei, CHEN Lin. A radio over fiber system with frequency sextuple optical millimeter-wave generation carrying OFDM signal utilizing phase modulator[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(4): 699-703.  
胡善梅, 陈林. 基于相位调制器产生六倍频光毫米波的 OFDM 信号光传输系统研究[J]. 光子学报, 2010, **39**(4): 699-703.
- [6] LU Jia, DONG Ze, CAO Zi-zheng, *et al.* All-optical wavelength conversion based on parallel dual-pump four-wave mixing in semiconductor optical amplifier for OFDM optical signal[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(11): 2857-2862.  
卢嘉, 董泽, 曹子峥, 等. 基于半导体光放大器平行双抽运对 OFDM 光信号进行全光波长变换性能研究[J]. 光子学报, 2010, **39**(11): 2857-2862.
- [7] CHEN Lin, CAO Zi-zheng, Dong Ze, *et al.* Experimental investigation of direct-detection optical orthogonal frequency-division multiplexing transmission system[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009, **36**(3): 554-557.  
陈林, 曹子峥, 董泽, 等. 直接检测的光正交频分复用信号光纤传输系统实验研究[J]. 中国激光, 2009, **36**(3): 554-557.
- [8] JOLLEY N E, KEE H, PICKARD P, *et al.* Generation and propagation of a 1550 nm 10 Gbit/s optical orthogonal frequency division multiplexed signal over 1000m of multimode fibre using a directly modulated DFB[C]. Anaheim CA, USA: Proc OFC, 2005, paper OFP3.
- [9] ARMSTRONG J. OFDM for optical communications [J]. *J Lightwave Technology*, 2009, **27**(3): 189-204.
- [10] CAO Zi-zheng, YU Jian-jun, WANG Wen-pei, *et al.* Direct-detection optical OFDM transmission system without frequency guard band [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2010, **22**(11): 736-738.
- [11] CAO Zi-zheng, YU Jian-jun, TANG Ming-fang, *et al.* Reduction of inter-subcarrier interference and frequency-selective fading in OFDM-RoF systems [J]. *J Lightwave Technology*, 2010, **28**(16): 2423-2429.
- [12] SHIH P T, LIN C T, JIANG W J, *et al.* Full duplex 60-GHz RoF link employing tandem single sideband modulation scheme and high spectral efficiency modulation format [J]. *Optics Express*, 2009, **17**(22): 19501-19508.
- [13] JIAN Wei, LIU Cheng, CHIEN Hung-chang, *et al.* Link performance improved 16QAM-OFDM 60 GHz Radio-over-Fiber system employing convolutional codes [C]. San Diego CA, USA; Proc OFC, 2010, paper OTHO4.
- [14] DJORDJEVIC I B, CVIJETIC M, LEI Xu, *et al.* Using LDPC-Coded modulation and coherent detection for ultra high-speed optical transmission [J]. *J Lightwave Technology*, 2007, **25**(11): 3619-3625.
- [15] DJORDJEVIC I B, VASIC B. LDPC-coded OFDM for optical communication systems with direct detection [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2007, **13**(5): 1446-1454.
- [16] LIN Shu, COSTELLO D J. Error Control Coding [M]. YAN Jian, HE Yuan-zhi, PAN Ya-han, transl. 2nd ed. Beijing: China Machine press, 2007: 629-630.  
林舒, 科斯特洛 D J. 纠错控制编码 [M]. 晏孙, 何元智, 潘亚汗, 译. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2007: 629-630.
- [17] KOKURYO Y, TSUKAMOTO N. Pragmatic trellis coding applied to rectangular QAM [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2005, **51**(2): 365-370.
- [18] IEEE Std 802. 16a-2003, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks [S], 2003.
- [19] MAGARINI M, ESSIAMBRE R J, BASCH B E, *et al.* Concatenated coded modulation for optical communications systems [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2010, **22**(16): 1244-1246.

## 60 GHz OFDM-RoF System Based on RS Code Concatenated with PTCM Technology

ZENG Guan-jun, CHEN Lin, YU Jian-jun, XIAO Jiang-nan, CAO Zi-zheng, Li Fan

(Key Laboratory for Micro/Nano Opto-Electronic Devices (Ministry of Education),

School of Information Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** SSMI and FF in 60 GHz OFDM-RoF system were analyzed. RS code concatenated with PTCM and symbol interleaver were applied in the 60 GHz OFDM-RoF system to reduce the these bad impacts of optical fiber. Using symbol interleaver to scatter errors in the sub-carriers of OFDM, RS with high code rate concatenated with PTCM could correct bit errors caused by inter-subcarrier interference and frequency fading to improve the performance of system. Simulation results show that errors in sub-carriers become well-distributed and will be favorable for error correction. The receiver sensitivity of 2.5 Gb/s OFDM signal adopted the 64QAM modulation format with RS-PTCM can save up to 5 dB receive power relative to 2.25 Gb/s OFDM signal with the uncoded 16QAM scheme.

**Key words:** Optical communications; Radio-over-Fiber; Trellis coded modulation; Optical millimeter-wave; Orthogonal frequency division multiplexing