

几种基于 OFDM 复用方式的无源光网络研究

李岩, 方圆, 邵宇丰, 迟楠

(复旦大学 信息学院 通信科学与工程系, 上海 200433)

摘要: 文章介绍了3种十分常用的 OFDM-PON(正交频分复用-无源光网络)结构: WDM(波分复用)-OFDM-PON、TDM(时分复用)-OFDM-PON 和 ECDM(码分复用)-OFDM-PON, 并讨论了它们各自在传输速率、接收终端结构和频带利用率等方面的优势。

关键词: 无源光网络; 正交频分复用; 波分复用; 时分复用; 码分复用

中图分类号: TN915.6 文献标志码: A 文章编号: 1005-8788(2012)02-0007-04

Research on PON based on several OFDM multiplexing modes

Li Yan, Fang Yuan, Shao Yufeng, Chi Nan

(Department of Communication Science and Engineering, School of Information Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: This article introduces three commonly used architectures of Passive Optical Network (PON) based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), i. e. WDM-OFDM-PON, TDM-OFDM-PON and ECDM-OFDM-PON. Furthermore, it discusses their respective advantages in transmission rate, ONU structure and bandwidth utility ratio.

Key words: PON; OFDM; WDM; TDM; ECDM

0 引言

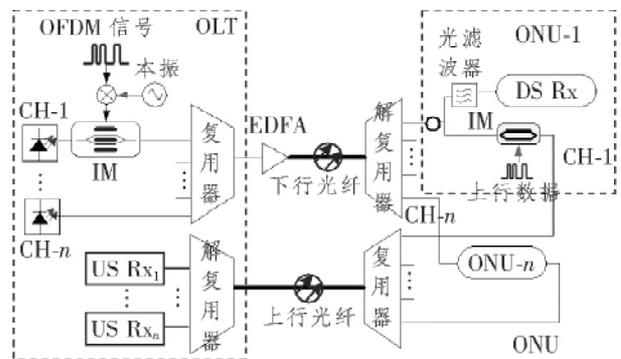
随着数字信号处理技术的高速发展, OFDM(正交频分复用)调制技术逐渐在 PON(无源光网络)领域受到越来越多的关注。OFDM 有着其他调制方式所不具有的优势, 比如 OFDM 技术能够很好地支持各种不同终端构架的信息的复用传输, 还能很好地实现动态带宽分配。把 OFDM 技术与 WDM(波分复用)、TDM(时分复用)和 ECDM(码分复用)技术相结合是当今 PON 结构发展的趋势, 本文将讨论 OFDM 与这 3 者相结合时各自的优劣势, 以期为未来的研究提供参考。

1 WDM-OFDM-PON 结构

WDM-OFDM-PON 结构相对于下文介绍的其他两种 OFDM-PON 结构来说很早就被提出了, 所以其理论架构是相对成熟的。这种结构具有巨大的带宽资源、协议的透明性、良好的安全性能和灵活的扩展性等多方面的优点。以下将介绍几种典型的 WDM-OFDM-PON 结构。

图 1 所示为 Yu Jianjun 等人提出的一种新型的 WDM-OFDM-PON 的结构^[1]。在 OLT(光线路终端)侧, 有 n 个分布式并且独立的光源为各自的

OFDM 信号提供光载波。由于下行光 OFDM 信号的波形与 RZ(不归零)码波形十分相似, 所以可以根据该特点再利用这个下行光 OFDM 信号作为上行传输的光载波, 为了使 ONU(光网络单元)简单起见, 上行信号采用 OOK(开关键控)调制。这样, 在 ONU 端便不需要独立的光源作为上行光载波了, 简化了 ONU 的结构, 提高了性价比。



IM:强度调制器;DS:下行流;US:上行流;EDFA:掺铒光纤放大器

图 1 WDM-OFDM-PON 结构图

在实际的 WDM-OFDM-PON 的运用中, OFDM 信号基本都采用 MQPSK(多进制正交相移键控)和 MPSK(多进制相移键控)进行编码, 但是这种编码很容易引发相邻符号之间的相位偏移, 这将导致接收机数字信号处理部分的复杂性提高, 不

收稿日期: 2011-11-18

作者简介: 李岩(1989-), 男, 福建福州人, 硕士研究生, 主要研究方向为可见光通信。

稳定性增大。Shao Yufeng 在文献[2]中提出了 MSK(最小偏移键控),可以有效解决上述问题。MSK 是 CPM(连续相位调制)的一种特殊形式,它能使旁瓣干扰迅速衰减。这个特性用在 OFDM 的编码方面可以缓和相位噪声和载波频偏的影响,同时,还能很好地降低 ICI(载波间干扰)。图 2 所示为 MSK-OFDM 结构图。

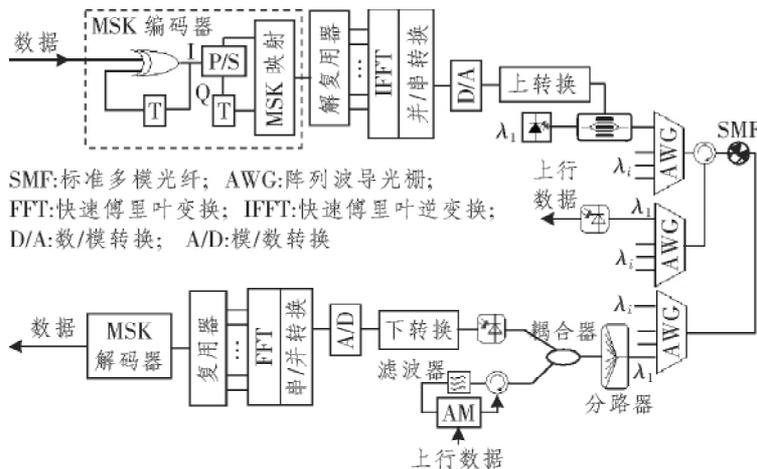


图 2 采用 MSK 对 OFDM 信号编码的 WDM-OFDM-PON 结构图

2 TDM-OFDM-PON 结构

TDM-OFDM-PON 结构也称作 OFDMA(正交频分多址复用)-PON 结构。正是由于 OFDM 子载波之间相互正交的特性,所以这种结构能够有效支持不同种类业务以信道复用的方式传输,并且能有效地防止由于光纤和各种器件所产生的信号失真。

图 3 所示为 OFDMA-PON 结构示意图。OLT 与各个 ONU 之间的传输是通过 OFDMA 帧的形式

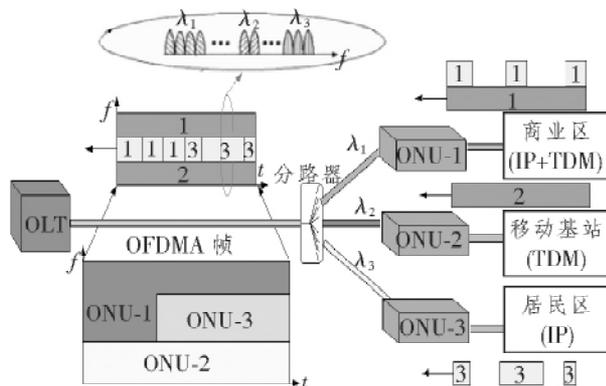


图 3 OFDMA-PON 结构图(上行传输流)

实现的。在每一帧中,各个子载波被分配给了不同的 ONU 或者不同的应用。图 3 便是其中一个例子:子载波(子信道 1 和 2 中)通过 TDM 模式分配到商业区和移动基站。剩下的带宽就被分配给 IP

服务,这个服务被许多的 ONU 通过 TDM 模式所共享。

对于上行传输,各个 ONU 将数据映射到给定的子载波上,并将其他不用的子载波置零。之后,OFDM 帧便按照 OLT 事先规定好的方式转换为光 OFDM 符号,并在光纤中传输。由于 OFDM 子载波相互正交,因此来自不同 ONU 的信号之间将不会有干扰。

对于下行传输,OLT 根据已定的规则将数据压缩到相应的子载波和时间槽中。信号到达后,各 ONU 再从对应的时间槽中挑选出相应的子载波。

几年前,Qian Dayou 等人提出了一种 MIMO-OFDMA-PON 结构^[3],它能更好地简化接收终端硬件结构,提高频谱利用效率,从而使 40 Gbit/s 以上的传输速率成为可能。这种结构包括了偏振多路复用和直接检测技术,这有可能是所有单载波下行传输的记录中速率最快的。因此这种结构对于下一代光接入网是一个很好的选择。

因此这种结构对于下一代光接入网是一个很好的选择。

3 ECDM-OFDM-PON 结构

ECDM 在众多 OFDM-PON 结构中是一种新型结构,最近才被提出和实验。WDM-OFDM-PON 结构需要一个高速的 OFDM 发送器和高速的 AWG 来实现不同 ONU 的带宽分配,这样的要求不仅会增加系统实现的开销,而且也降低了能够根据不同 ONU 的要求来动态分配带宽的自由度。

TDM-OFDM-PON 系统虽然可以很好地为不同的 ONU 动态分配所需的带宽,但是在广播传输时,此系统在物理层方面却是不安全的。同时,由于此系统中存在拍频噪声,不得不在 OLT 和 ONU 端使用不止一个 LD(激光二极管),这是很不经济的。本节介绍的 ECDM-OFDM-PON 技术具有输出功率高、物理层结构安全、信道之间拍频噪声小等优点,可以有效地解决上述问题。

图 4 所示为 Zhang Lijia 提出的一种 ECDM-OFDM-PON 结构^[4],在星座映射之后,下行基带信号通过编码芯片进行扩频,之后便把这些扩频后的信号调制到 OFDM 子载波上,这个可以用 IFFT 实现。由于只使用了一个激光源,故没有光拍频的存在。当信号到达 ONU 后,每个 ONU 通过自身的

解析码址芯片提取出它所需的数据,但无法提取不属于这个 ONU 的数据。这个码址芯片的编码和 OLT 端的编码是有相关性的,这与码分多址的原理有关。上行传输和下行传输十分相似,也是将上行

数据先进行扩频编码,再调制到 OFDM 子载波上,每一个 ONU 产生的上行信号会合并在一起通过光纤传输。

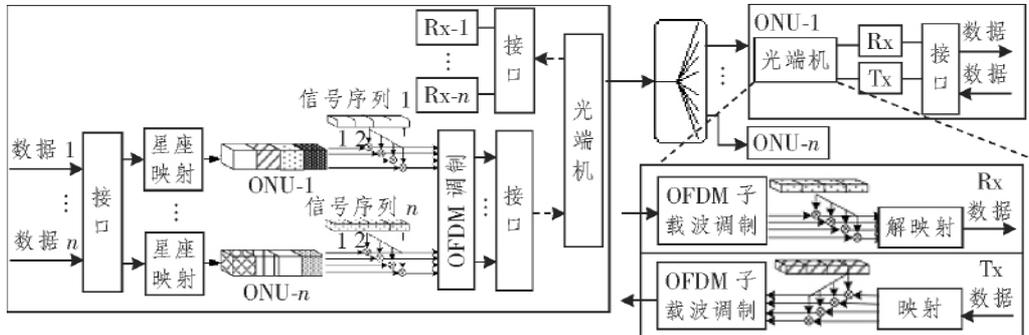


图 4 ECDM-OFDM-PON 结构图

这个结构有很高的编码相关系数,所以可以有效消除不同 ONU 之间的干扰。除此以外,由于有很高的编码增益,其可以支持更多的 ONU 设备,同时缓和不同 ONU 之间的拍频噪声。图 4 所示的结构将 OFDM 的每一个子载波与不同的码址(扩频序列)相结合。由于每一个码址都不同且正交,所以保证了每一个子载波对应不同的 ONU。这种子载波正交和码址正交的方式不仅可以消除子信道之间的串扰,还保证了数据之间的安全性。

4 结束语

本文论述了几种新型的光电信息处理技术在未来 PON 中的应用,分析了这些新型 PON 方案的优点与不足,并且介绍了 WDM-OFDM-PON、TDM-OFDM-PON 和 ECDM-OFDM-PON。它们与通信原理中的 WDM、TDM 和 ECDM 相对应,现将它们之间的优劣对比总结于表 1。

表 1 几种 OFDM-PON 结构的对比

技术类型	ONU 端的复杂程度	ODN 结构	能否支持动态带宽分配	提供的带宽容量	光器件成本	电处理的复杂程度	安全性	研究所处阶段
WDM-OFDM-PON	复杂	复杂,采用复杂的 MUX 和 DEMUX	否	特别大	高	简单	波分复用的 ONU 之间下行数据仍然采用广播方式,安全性一般	可工程实现
ECDM-OFDM-PON	较复杂	简单功率分配器	是	很大	中等	很复杂	采用固定地址方式,每个 ONU 只接收自己的信号,安全性好	理论研究阶段
TDM-OFDM-PON	简单	简单功率分配器	是	比较大	低	较复杂	每个 ONU 只解调自己的子载波信息,安全性较好	理论较成熟,实验阶段

现在在 OFDM-PON 领域使用最多的还是 OFDMA-PON,即 TDM-OFDM-PON。当然,仅仅依靠上面所述新技术的任何一种都不足以挑起未来高性能 PON 的重任,我们需要综合它们的优点,并结合当前各种 PON 结构的特点以及更多的新技术,才能构建未来高速智能接入网的蓝图。

参考文献:

[1] Yu Jianjun, Huang Mingfang. Centralized Lightwave

WDM-PON Employing 16-QAM Intensity Modulated OFDM Downstream and OOK Modulated Upstream Signals [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2008, 20(18): 1545-1547.

[2] Shao Yufeng. A Novel Subcarrier OFDM-MSK WDM Passive Optical Network [A]. OSA/OFC/NFOEC 2010 [C]. San Diego, California, USA: OSA, 2010. OTU04.

[3] Qian D Y, Hu J, Yu J, et al. Experimentation Dem-

onstration of a Novel OFDM-A Based 10 Gb/s PON Architecture [DB/OL]. http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?tp=&arnumber=5758385&openedRefinements%3D*%26filter%3DAND%28NOT%28283010803%29%29%26searchField%3DSearch+All%26queryText%3D+Novel+OFDM-A+Based++10Gb%2Fs++PON,2011-06-01.

[4] Zhang Lijia, Xin Xiangjun. A Novel ECDM-OFDM-

PON Architecture for Next-Generation Optical Access Network [DB/OL]. http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?tp=&arnumber=5622099&openedRefinements%3D*%26filter%3DAND%28NOT%28283010803%29%29%26searchField%3DSearch+All%26queryText%3D+Novel+ECDM-OFDM-PON+Architecture+for+Next-Generation+Optical+Access+Network,2010-11-04.

(上接第3页)

效应), \hat{N} 中代表 SS 和脉冲 IRS 效应的两项可以忽略^[4], 即 IRS 和 SS 效应对系统影响不大。从图中可以看出, FDPC 的补偿效果明显优于传统的 DCF 的补偿效果, 在无电再生的情况下, 基于 FDPC 的系统, 最大传输距离为 36 000 km, 而基于平衡补偿的系统最大传输距离只有 6 600 km。两者的 Q 值都随着传输距离的增加而逐渐降低, 但基于 FDPC 的系统的 Q 值降低的幅度较缓。图中分别画出了在 3 600 km 处和最大传输距离处二者的眼图。在 3 600 km 处, 基于 FDPC 的系统的 Q 值比基于平衡补偿的系统的 Q 值大 5.2 dB, 眼图的张开度也好于基于平衡补偿的系统。在最大传输距离处, 二者的输出 SNR 分别为 11.717 和 16.877 dB, 眼图都比较模糊, 但通过 FEC(前向纠错)技术处理, 均能满足应用的指标要求。

3 结束语

本文主要研究了基于 FDPC 的 100 Gbit/s 高速光 POLMUX-CSRZ-DQPSK 传输系统。FDPC 不仅能够补偿系统的各阶色散, 还能补偿非线性效应。研究表明, FDPC 的补偿效果明显优于传统的 DCF 的补偿效果, 系统的传输性能得到很大的提

升, 在无电再生的情况下, 最大传输距离达到 36 000 km。由此可知, 在长距离大容量高速传输系统中, POLMUX-CSRZ-DQPSK + FDPC 技术具有无可比拟的优势。

参考文献:

- [1] Van Den Borne D, Jansen S L, Gottwald E, et al. 1.6-b/s/Hz Spectrally Efficient Transmission Over 1700 km of SSMF Using 40×85.6 -Gb/s POLMUX-RZ-DQPSK [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2007, 25(1): 222-232.
- [2] He G S. Optical phase conjugation: principles, techniques, and applications [J]. *Progress in Quantum Electronics*, 2002, 26(3): 131-191.
- [3] Tsang M, Psaltis D. Dispersion and nonlinearity compensation by spectral phase conjugation [J]. *Optics Letters*, 2003, 28(17): 1558-1560.
- [4] Agrawal G P. *Nonlinear Fiber Optics*, Third Edition [M]. San Diego: Academic Press, 2001. 32-34.
- [5] 朱芝英, 徐铭, 罗俊, 等. 抑制克尔非线性效应的 RZ-DPSK 色散管理方案研究 [J]. *光通信研究*, 2009, (5): 10-13.