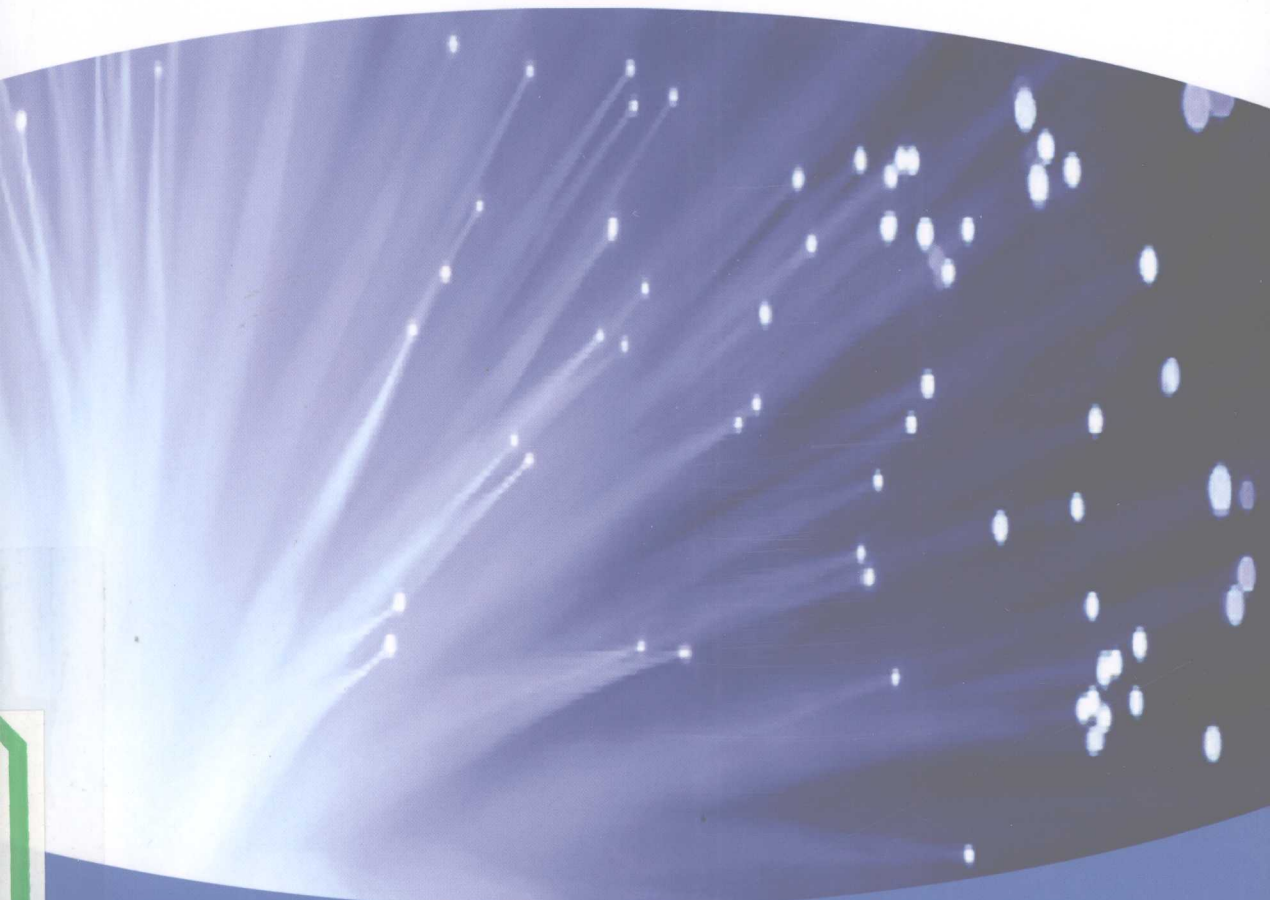


光纤通信OCDMA系统

李传起 李晓滨 著



科学出版社

www.sciencep.com

江苏省自然科学基金(BK2008437)

江苏省高校自然科学基金(07KJB510066)

江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人项目

光纤通信 OCDMA 系统

李传起 李晓滨 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书阐述光纤通信 OCDMA 系统的地址码编码理论,系统地分析和研究了单极性地址码的结构方案.第 1 章介绍 OCDMA 网络系统近年来的主要研究成果;第 2 章给出相关的数学工具;第 3~6 章阐述素数码、正交码、二维码结构方案,以及相应的编解码技术;第 7、8 章分析研究 OCDMA 系统多用户干扰抑制方法和系统性能;第 9 章进行总结,并对 OCDMA 系统的应用前景做出分析.

本书可作为通信专业高年级本科生、研究生的参考教材,也可供光通信领域的研究人员和工程技术人员参考.

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信 OCDMA 系统/李传起,李晓滨著. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-022465-1

I. 光… II. ①李…②李… III. 光纤通信-码分多址-通信系统
IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 108610 号

责任编辑:昌盛 / 责任校对:张小霞
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏立印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 11 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008 年 11 月第一次印刷 印张:19 3/4 插页 1

印数:1—2 000 字数:369 000

定价:39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

光纤通信网络在基本实现了超高速、长距离、大容量的传送功能的基础上,正向着更加灵活、高效和智能的方向发展.在信道复用技术上,也将从单一的复用方式向多种复用方式相结合的方向发展,其中波分与码分的混合复用模式有着明显的优势.

光码分多址(OCDMA)技术是电码分多址技术与光纤通信的有机结合,具有优良的安全性能,抗干扰、抗多径衰落能力强,允许用户随机上下路.特别重要的是,OCDMA系统在光域对各路信号进行光编码和光解码,对用户数据进行全光信号处理,实现多址通信,是实现真正意义上的全光通信最有希望的多址复用技术.

作者在全面掌握OCDMA技术领域的研究动态的基础上,运用多种现代数学理论,对该领域的关键技术和结构模型做了长期深入的研究工作,并将工作成果分析综合、总结归纳,形成了一个较为系统的OCDMA理论体系.首先,以用户地址码码字结构为主线,循序渐进,由浅入深,从素数码到正交码,从一维码到二维码,全方位展开地址码设计研究,给出了许多原创性的设计成果,并进行系统仿真,得出良好的仿真结果.其次,在编解码技术方面,详细分析了应用光纤延时线、光纤光栅等多种编解码方案,建立了从信号编码到发送、叠加、接收、检测和恢复的较为完整的数学模型,并在一维编解码原理的分析基础上,探讨了二维OCDMA系统编解码器的设计原理.最后,详细分析了由多用户干扰引起的系统误码率,讨论了多种抑制多用户干扰的技术和方法.

该书具有较高的学术价值和应用价值,是光纤通信OCDMA研究领域少见的完整理论,对OCDMA技术的进一步研究有着重要作用.

中国工程院院士

张耀明

前 言

光纤通信是以光纤为传输介质、以光波为信息载体的通信方式。光纤的海量带宽,使之具有电通信无可比拟的通信能力。其传输距离远、信息容量大、信号质量高,被广泛应用于电信和计算机通信领域,正引导着通信水平、交流方式甚至人们生活方式的突破性转变。光纤通信与计算机技术一起形成了当代高新技术的两大支柱,极大地推动了人类的文明进步和社会的繁荣发展。

CDMA(码分多址)技术已经成功地应用于卫星通信和移动通信领域,并且显示出许多优于其他技术的特点,如抗干扰、抗多径衰落、显著提高系统容量等。但由于卫星通信和移动通信中带宽的限制,CDMA 的技术优点没有得到充分发挥。

OCDMA(光码分多址)技术则是将光纤通信的带宽资源和电 CDMA 的技术特点有机结合起来,给每个上路用户分配一个地址码,由光编码器对用户数据源进行光编码。各用户的编码信号经星型耦合器叠加在一起,形成一个总的信号矢量进入光纤传输。接收端光解码器对收到的扩频码序列与本地地址码进行相关运算,采用相干或非相干的方法进行解扩处理,并通过特定的门限判决技术恢复出源信号,传送给数据接收器实现数据恢复。

OCDMA 系统在光域对各路信号进行光编码和光解码,实现多址通信。信息在信源就变成了光信号,到达目的地后才变成电信号,真正做到了光子进光子出。此外,OCDMA 系统具有保密性高、抗干扰性强、随机接入、综合服务、管理方便等技术优势,从而成为实现真正意义上的全光通信网的最有希望的多址复用技术。

经过 20 年的研究,OCDMA 技术近年来取得了较大的进展。围绕提高信道容量和降低误码率这两个中心环节,人们在降低多址扰、优化带宽资源、改进探测手段等方面提出许多新的方案。系统地址码码字结构及编解码方案也不断改进。

本书在现代数学理论的基础上,论述了多种 OCDMA 系统用户地址码设计方案及其相应的编解码技术。全书以 OCDMA 系统用户地址码码字结构为主线,形成较为完整的 OCDMA 系统地址码结构理论体系。

第 1 章对 OCDMA 系统进行较为全面的综述。介绍近年来国内外 OCDMA 技术领域的研究动态,分析 OCDMA 网络技术的特点和优势,阐明 OCDMA 网络结构原理和关键技术,分析该系统实用化需要解决的关键问题。

第 2 章简明扼要介绍地址码设计的数学基础——有限 Galois 理论、有限射影几何、仿射几何、组合论、概率分布等相关内容。

第 3 章从素数码的相关性着手,研究用解析方法分析基本素数码、扩展素数码

和修正素数码的相关特性,建立较为系统的素数码码字相关性理论,构造适用于异步 OCDMA 系统的 MSPC 和 ESPC 码字以及适用于同步系统的 SSPC 码字。

第 4 章结合 Galois 理论和射影几何、区组设计、有限组合论,研究多种正交地址码的设计原理和方案,给出在射影平面和高维射影空间设计光正交码以及由 Latin 方阵、Steiner 系生成光正交码的方案、步骤和设计结果。

第 5 章在一维码设计基础上,运用现代数学的组合理论,寻找波长片和时间片的合理组合,研究 OCDMA 系统二维地址码设计方案,把一维码字拓展为二维码字。

第 6 章详细分析和研究基于各种地址码的 OCDMA 系统编解码方案,建立了从信号编码到发送、叠加、接收、检测和恢复的系统完整的数学模型,探讨编解码器的设计方案。

第 7 章主要讨论 OCDMA 系统模型及其性能,给出了单比特传输系统和多比特系统分析,建立单比特和多比特实际传输系统的数学模型,研究提高系统性能的方法。

第 8 章主要分析系统的主要误码源——多用户干扰抑制的抑制方法,研究引入光硬限幅器、并行干扰抑制、逐次干扰抑制以及混合方法抑制多用户干扰。

第 9 章总结全书,并根据国内外 OCDMA 技术研究的最新进展,结合作者的研究成果,对 OCDMA 技术的应用前景做出分析。

OCDMA 网络技术自 20 世纪 80 年代问世,就引起国内外学者的浓厚兴趣,成为全光网络的研究热点。作者自 1990 年即开始该领域的研究,近 20 年研究所得汇聚成本书,希望能为 OCDMA 研究者提供一定的帮助。

东南大学孙小菡教授和张明德教授对作者的研究工作提供了大量的指导和帮助,对本书的撰写提出了许多宝贵的建议。作者谨向孙老师、张老师表示深深的谢意。研究生朱迎春、周谓参与了本书书稿整理工作,在此一并感谢。

本书涉及大量数学理论,限于作者水平,一定存在不少值得商榷的地方,请读者不吝指教。

作 者

2008 年 5 月

目 录

序

前言

第 1 章	OCDMA 系统综述	1
1.1	OCDMA 系统技术的现状	2
1.1.1	光纤信道复用及寻址技术	2
1.1.2	OCDMA 系统的技术特点	3
1.1.3	OCDMA 技术的研究动态	5
1.2	OCDMA 系统基本结构原理	6
1.2.1	OCDMA 接入网拓扑结构	7
1.2.2	相干和非相干 OCDMA 系统结构	7
1.2.3	光交换和上下路	9
1.3	OCDMA 系统的关键技术	10
1.3.1	用户地址码码字结构	10
1.3.2	光编码器和解码器	13
1.4	OCDMA 的应用前景	21
1.4.1	多媒体通信	21
1.4.2	高速计算机局域网	21
1.4.3	电信网	22
1.4.4	光纤接入网	22
1.4.5	光纤同轴电缆混合网	22
1.4.6	CATV 计费、VOD 业务等交互式业务网	24
	参考文献	24
第 2 章	OCDMA 系统设计的数学基础	32
2.1	群、环、域和 Galois 理论	32
2.1.1	群论的相关概念和性质	32
2.1.2	环和域、分裂域、有限域	34
2.1.3	有限 Galois 域	36
2.2	射影几何的相关内容	40
2.2.1	有限射影空间的几何模型	40
2.2.2	射影坐标的变换关系	43

2.2.3	仿射平面及其性质	47
2.3	组合论的相关内容	49
2.3.1	区组设计	49
2.3.2	循环差集	49
2.3.3	完备距离循环排列	50
2.3.4	Steiner 系统及其性质	51
2.3.5	Hadamard 矩阵及其构造	52
2.4	随机变量的概率分布	54
2.4.1	Gauss 过程和 Poisson 过程	54
2.4.2	常见随机变量的概率分布	56
	参考文献	56
第 3 章	OCDMA 系统素数码的构造与分析	58
3.1	光素数地址码的相关性分析	58
3.1.1	光素数地址码的码字结构	58
3.1.2	素数码的码字相关性分析	60
3.1.3	码字相关性导致的误码率分析	67
3.2	异步 OCDMA 系统素数地址码的设计和分析	71
3.2.1	修正二次素数码的设计	71
3.2.2	扩展二次素数码的设计	72
3.2.3	MSPC 和 ESPC 的相关性分析	73
3.3	同步 OCDMA 系统素数码的设计与性能研究	75
3.3.1	内循环素数码的结构和性能	75
3.3.2	同步 OCDMA 系统的非线性 SSPC 地址码设计	78
3.3.3	同步 SSPC 的相关性分析	80
3.3.4	SSPC 码字的性能分析	82
3.3.5	SSPC 码字与 OPC 内循环码的性能比较	84
3.4	本章小结	84
	参考文献	85
第 4 章	OCDMA 系统正交码的设计和分析	87
4.1	光正交地址码的结构及其相关性检测方法	88
4.1.1	OOC 码字的结构表示和图示	88
4.1.2	OOC 的码字相关性检测	89
4.2	光正交码码集的码字容量	91
4.2.1	OOC 码字容量的 Johnson 界	92
4.2.2	对称 OOC 码集($L, w, 1$)的容量上界	93

4.2.3	对称 OOC(L, w, λ)的码字容量	95
4.3	有限射影几何法设计光正交码	96
4.3.1	有限射影几何与 OOC 设计的对应关系	96
4.3.2	$GF(q^{n+1})$ 上向量离散对数与 OOC 码字脉冲位	97
4.3.3	由射影平面 $PG(2, q)$ 生成 $(q^2 + q + 1, q + 1, 1)$ OOC 码字	100
4.3.4	由高维射影空间生成 $((q^{n+1} - 1)/(q - 1), q + 1, 1)$ OOC 码字	103
4.3.5	由 k 维流形设计光码字的理论分析	107
4.4	有限区组设计理论设计光正交码	109
4.4.1	区组设计参数与 OOC 码字参数的对应	109
4.4.2	对称 OOC 码字(L, w, λ)的区组矩阵	111
4.4.3	Latin 方阵及其与有限域上直线的对应	112
4.4.4	由 Latin 方阵生成 OOC 码字	114
4.4.5	基于 OLS 的 LSOOC 性能分析	115
4.4.6	对称 OOC 单码字($L, w, 1$)的循环全间隔集	116
4.4.7	由部分间隔集生成多码字 OOC($L, w, 1$)	118
4.4.8	最佳 OOC($F, K, 1$)的区组设计算法	119
4.5	有限域上 Steiner 系统设计 OOC 码字	123
4.5.1	Steiner 系统参数与 OOC 码字参数的对应	123
4.5.2	仿射平面的部分点阵对应的 Steiner 系	124
4.5.3	有限域上 Steiner 系生成 STOOC 码字	125
4.5.4	STOOC($qk, k, 1$)的码字基数和性能分析	127
4.6	变重光正交码简介	128
4.7	码字结构比较	128
4.8	本章小结	129
	参考文献	130
第 5 章	OCDMA 系统二维码的设计与分析	133
5.1	二维 λ - t 光地址序列码的码字结构	133
5.1.1	二维 λ - t 码的码字矩阵和码字图示	133
5.1.2	二维 λ - t 码字的相关特性及检测	135
5.1.3	对称二维码集 $\Phi(N \times L, w, 1)$ 的码字容量	136
5.1.4	对称二维码集 $\Phi(N \times L, w, \lambda)$ 的码字容量	137
5.2	二维 λ - t 素数序列码的构造和分析	138
5.2.1	跳频扩时素数码	138
5.2.2	由 SSPC 生成二维 λ - t 素数码	139
5.2.3	2D-SSPC 的相关性分析	142

5.2.4	2D-SSPC 的码字容量	143
5.2.5	2D-SSPC 的误码性能	144
5.3	二维 λ - t 正交序列码的构造和分析	145
5.3.1	1D-OOC 到 2D-OOC 的构造过程	146
5.3.2	2D-OOC 码字的相关性分析	148
5.3.3	2D-OOC($L \times L, w, 1$) 的码字容量	149
5.3.4	2D-OOC($L \times L, w, 1$) 的误码性能	150
5.4	二维 λ - t 系统 RS 序列码的构造和分析	152
5.4.1	$GF(p)$ 上一维 RS 码字的构造	153
5.4.2	2D-RSC($p \times (p-1)p, p-1, 0, 1$) 的构造	154
5.4.3	2D-RSC($p \times (p-1)p, p-1, 0, 1$) 的相关性分析	156
5.4.4	2D-RSC($p \times (p-1)p, p-1, 0, 1$) 的码字容量	157
5.4.5	2D-RSC($p \times (p-1)p, p-1, 0, 1$) 的误码性能	158
5.4.6	2D-RSC($p \times p'(p-1), p-1, 0, 1$) 的构造与分析	159
5.5	光码分多址最佳光正交图形构造算法	161
5.5.1	多芯光纤	163
5.5.2	光正交地址图形	165
5.5.3	光正交地址图形的容量	166
5.5.4	最佳光正交地址图形的构造算法	166
5.5.5	仿真结果	168
5.6	本章小结	169
	参考文献	169
第 6 章	OCDMA 系统地址编解码技术	172
6.1	光纤延时线时域编解码技术	173
6.1.1	固定和可调光纤延时线结构简介	173
6.1.2	可调光纤延时线结构的延时控制	174
6.1.3	OCDMA 系统的时域编码和信号合成	176
6.1.4	OCDMA 系统的时域解码和信号恢复	177
6.1.5	时域编解码 OCDMA 系统的模拟结果及分析	178
6.2	基于 FBGs 的非相干光谱域编解码技术	181
6.2.1	FBGs 编解码器的编码原理	181
6.2.2	信号编码、叠加与发送	182
6.2.3	数据接收、检测与恢复	184
6.2.4	信号功率谱不均匀的 SAC 编码过程	187
6.2.5	SAC 编解码系统的传输性能	188

6.3	二维 λ - t 地址码的 OCDMA 系统编解码技术	190
6.3.1	一维和二维 OCDMA 系统网络结构比较	191
6.3.2	基于 FBGs 加光纤延时线的二维编码器	192
6.3.3	基于 AWGs 加光纤延时线的二维编码器	193
6.3.4	二维编码和信号叠加	193
6.3.5	二维 OCDMA 系统的解码和信号恢复	195
6.4	本章小结	197
	参考文献	198
第 7 章	OCDMA 系统模型及性能分析	200
7.1	系统输入及光纤信道	201
7.1.1	系统输入	201
7.1.2	光纤信道	202
7.2	理想的单比特传输系统性能分析	204
7.2.1	理想单比特系统	204
7.2.2	模拟计算结果	207
7.3	带光硬限幅器的单比特传输系统	210
7.3.1	光硬限幅器	210
7.3.2	光硬限幅器对系统性能的改进	211
7.3.3	数据仿真	213
7.4	实际单比特传输系统性能分析	214
7.4.1	累加输出信号的概率密度函数	215
7.4.2	实际单比特系统	217
7.4.3	实际单比特系统性能的改进	221
7.4.4	数据仿真	225
7.5	多比特传输系统性能分析	227
7.5.1	多比特传输系统模型	227
7.5.2	$I_1(l^*)$ 的概率密度函数	229
7.5.3	$I_1(l)$ 的概率密度函数	230
7.5.4	多比特传输系统性能分析	231
7.5.5	多比特系统误码特性改进	232
7.5.6	多比特传输系统误码特性数据仿真	234
7.6	光 PPM-CDMA 系统分析	237
7.6.1	光 PPM-CDMA 系统	237
7.6.2	误码率分析	239
7.6.3	数据结果	241

7.7 本章小结	242
参考文献	242
第 8 章 多用户干扰抑制	244
8.1 减小多用户干扰的方法	245
8.1.1 引入光硬限幅器方法	245
8.1.2 多比特传输方法	247
8.1.3 并行干扰抑制方法	247
8.1.4 逐次干扰抑制方法	248
8.1.5 混合方法	248
8.2 并行干扰抑制方法	248
8.2.1 采用单极性比特填充 m 序列的并行干扰抑制方法	248
8.2.2 M 进制双正交并行干扰抑制方法	255
8.2.3 基于最大值判决的并行干扰抑制方法	263
8.3 逐次干扰抑制方法(多用户检测)	272
8.3.1 系统描述	272
8.3.2 逐次干扰删除	273
8.4 基于最大值判决及光硬限幅器的光码分多址并行干扰抑制方法	276
8.4.1 理论分析	278
8.4.2 仿真结果	279
8.5 本章小结	281
参考文献	281
第 9 章 总结和展望	282
9.1 总结	282
9.2 OCDMA 前景展望	285
参考文献	286
略语、符号表	287
图形索引	290
表格索引	299

第 1 章 OCDMA 系统综述

随着社会和经济的发展,人类社会已进入信息时代并向深层次发展.人们对通信业务种类的要求越来越多.除了一般电话、传真、数据业务以外,还有会议电视、电子邮件、录音邮件、高清晰度电视以及医疗通信、旅游通信等新业务.低速、窄带、单一形式的通信已不能满足人们对通信的要求,人们迫切期望高速通信、多媒体通信及综合业务数字网的实现.但由于在目前的通信系统中,信号处理大都采用电子器件,而电子器件的信号处理速度只能工作在 10Gb/s 以下,目前的通信码速已接近这个极限.因此,为进一步提高通信速率,通信方式亟待变革,宽带传输媒介及高速信号处理方式等问题也急需解决.

1966 年,“光通信之父”高锟首次提出石英光纤作为通信传输介质.1970 年,Corning 公司成功控制第一根低损耗光纤.1978 年,Atlanta 试验场进行了第一次光通信实验.此后,随着光纤制作技术的不断提高、半导体激光器性能的不断改善,光通信技术的应用全面展开.20 世纪 90 年代以来,网络技术不断演进,IP 业务爆发性增长,光纤通信系统技术构成的各类光传送网,形成了遍布全球的骨干网络.在基本实现超高速、长距离、大容量的传送功能的基础上,传统光网络正加速向下一代光互联网络演进的步伐.光网络应具有更加高速、宽带、灵活、高效和智能化的特点,支持带有不同 QoS 需求的业务,开展带宽租赁、波长业务、光层组网、光虚拟专用网等业务服务,建立一体化解决方案,实现协调一致的综合功能^[1].

光纤通信是当今社会发展最快的高技术领域之一(图 1-1 是近年我国光网络市场预测).光纤在 1550nm 窗口拥有 25THz 的海量带宽,具有电通信无可比拟的

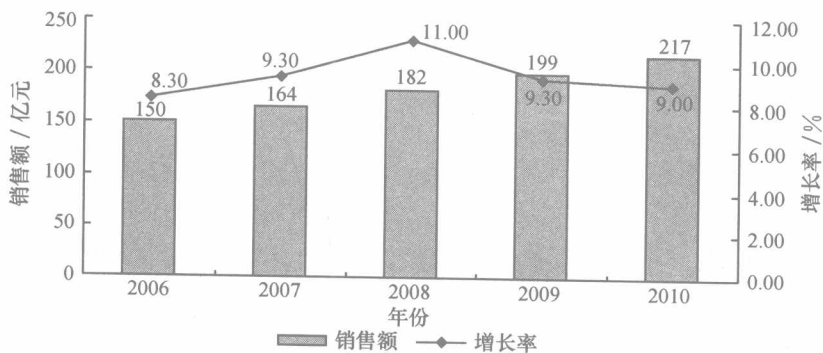


图 1-1 近几年我国光网络市场销售额、增长率及预测

通信能力. 光纤通信与计算机技术一起形成了当代高新技术的两大支柱, 极大地推动着人类的文明进步和社会的繁荣发展.

然而, 目前的光通信大都是采用“电处理, 光传输”的通信方式, 尽管单模光纤的理论带宽在低损耗窗口可达 25 THz; 但由于在该种形式的通信系统中存在着大量的电节点, 光电转换、电光转换繁多, 仍存在着电子的“瓶颈效应”, 限制了光纤的潜在传输能力. 因此, 光纤的传输能力大部分尚未开发. 如何充分利用光纤的带宽资源, 目前已成为人们研究的热点.

1.1 OCDMA 系统技术的现状

1.1.1 光纤信道复用及寻址技术

光网络的大容量、高速率主要取决于多址复用技术, 包括光时分复用(OTDM)、光波分复用(OWDM)、光码分多址(OCDMA)、光空分复用(OSDM)和副载波复用(SCM)等. 其中, OTDM、OWDM 和 OCDMA 是光纤通信的三大主流信道复用技术.

OTDM 技术是把电网络数据传输的常规时分复用技术引入光纤网络^[2~4], 利用高速光开关, 将多路信号复用到一根光纤上. 一芯光纤中携带多个用户, 每个用户在指定的时隙传输数据, 时隙还用于识别用户地址. OTDM 是增大单信道带宽的有效技术, 同时避开电子器件速率极限的瓶颈. 但系统中需要的关键技术时钟同步较为复杂. 特别是传统的 OTDM 只用一个波长信道, 对光纤的带宽资源利用率较低.

OWDM 技术是在一芯光纤中开辟多个波长信道^[5~7], 有效地利用了光纤带宽, 大大增加了系统容量. 同时, OWDM 光传送网的实现相对简单, 从而成为目前光通信骨干网的主导复用技术. 不过, OWDM 系统对器件要求很高: 每个波长信道需要一台高标准的激光器; 对光分插复用器(OADM)和光交叉连接(OXC)等网元结构器件的性能要求苛刻. 因而, OWDM 光传送网实现成本很高. 此外, OWDM 系统主要解决传送网上的电子瓶颈, 并未解决从信源到信宿之间的所有瓶颈^[8]. 因此, 难以构成真正透明的全光网络.

码分多址(CDMA)技术已经成功地应用于卫星通信和移动通信领域, 并且显示出许多优于其他技术的特点, 如抗干扰、抗多径衰落、显著提高系统容量等^[9~12]. 但由于卫星通信和移动通信中带宽的限制, CDMA 的技术优点没有得到充分的发挥. 光纤通信具有丰富的带宽资源, 但现有复用技术受到光电和电光转换的瓶颈制约. 为充分利用光纤所能提供的带宽资源, 允许更多的用户共享光纤信道, OCDMA 技术应运而生^[13~15], 成为光纤通信领域新的研究热点. OCDMA 通信

系统将光纤通信与 CDMA 技术结合起来,由数据源、光编码器、光纤、光解码器、数据接收器组成。在发送端,给每个上路用户分配一个地址码,由光编码器对用户数据源进行光编码,即用地址序列对用户信号进行编码处理。各用户的编码信号经星型耦合器叠加在一起,形成一个总的信号矢量进入光纤传输。在接收端,光解码器对收到的扩频码序列与本地地址码进行相关运算,采用相干或非相干的方法进行解扩处理,并通过特定的门限判决技术恢复出源信号,传送给数据接收器实现数据恢复^[16]。

OTDM、OWDM、OCDMA 技术的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 OTDM、OWDM、OCDMA 技术的比较

复用及寻址方式	主要优点	运行成本	不足之处	实际应用
OTDM	速率带宽比高,传输途中光器件的非线性影响较小	设备总体价格不高,由于容量较低,性价比较低	高速率传输时,要求精确的时间同步,系统容量不大,光纤带宽利用率较低	现有网络中部分采用
OWDM	技术已经成熟;光纤可用带宽利用率极高;系统容量大;单根光纤传输速率实验室水平已突破 10Tbit/s 以上	设备较昂贵,但是由于大大地扩展了带宽,性价比提高	需要精确可调的窄带光源,对光源同步要求十分苛刻,缺少低速率复用点	是当前光纤通信骨干网络最主要的信道复用技术
OCDMA	克服电子瓶颈;保密性强;可随机接入;抗干扰、抗多径衰落;不需精确的时间同步;对系统器件的要求较松	较之 OWDM 系统,可以节省设备及运行支撑系统的费用	尚未找到合适的编码序列和编解码器,实用化尚未取得突破性进展	现阶段尚无实用系统

1.1.2 OCDMA 系统的技术特点

1) 全光通信

OCDMA 系统在光域对各路信号进行光编码和光解码,对用户数据进行全光信号处理,实现多址通信。信息在信源就变成了光信号,到达目的地后才变成电信号。克服了 OWDM 光网络残留在发送和接收端的电子瓶颈,真正做到了光子进光子出,从而成为实现真正意义上的全光通信网的最有希望的多址复用技术^[16]。

2) 安全性能

OCDMA 传送网上的信号是多个用户的合成信号,其扩频技术保证了在任何地方下路,接收到的信号都是多用户的信号叠加。只有在接收端地址和发送端地址严格匹配的情况下,才能恢复出原始信号。因而具有优良的安全性能^[17]。

3) 抗干扰性

OCDMA 系统对用户信号编码时,对脉冲信号进行了扩频处理,增大了编码信号的带宽.相对密集波分复用而言,对波长漂移并不十分敏感,从而增强了系统的抗干扰能力^[18].

4) 随机接入

OCDMA 系统允许多个用户随机接入同一信道.新上路的用户扩频信号直接叠加在合成信号矢量上.不要求各用户之间的同步,也不要求用户具有波长调节能力.并且克服了传统接入网的排队时延,可以满足局域网中突发流量和高速率传输需求^[19].

5) 成本降低

OCDMA 系统采用宽带光源,且无须精确控制波长,对传输光纤无特殊要求,系统中器件数量少,降低了网络成本,简化了网络管理,并增强了网络的可靠性^[20].

6) 综合服务

OCDMA 系统还具有可变速率或多速率传输的能力^[21,22],复用点速率分布范围较大.可以承载 ATM、SONET、IP 等多种信息传输服务^[23].

7) 管理方便

OCDMA 不需要在时间或频率上对用户进行严格的管理,而是以用户扩频地址序列来区分用户,网络管理简单方便^[17].

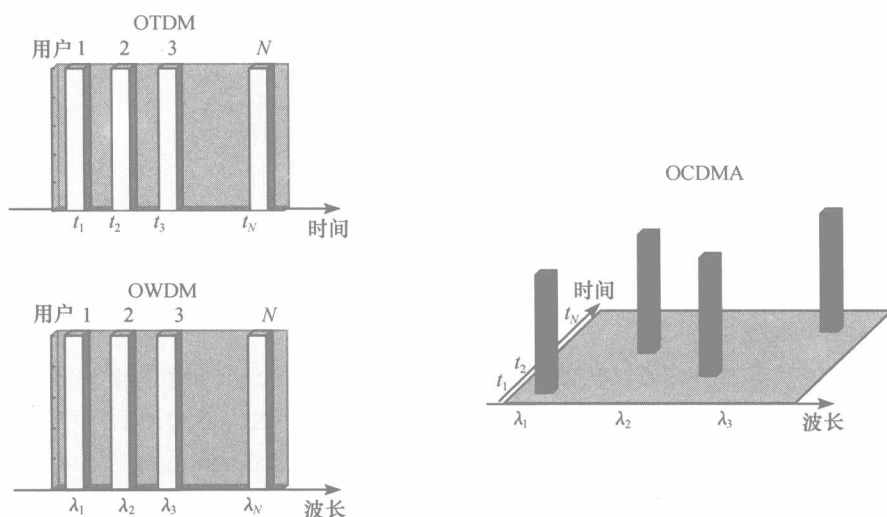


图 1-2 三种主要信道复用技术的基本特征示意图

OCDMA 系统具有其他复用方式所没有的独到优势,可以解决其他方案无法解决的问题.同时,OCDMA 技术可以方便地与 OTDM 和 OWDM 技术相结合,优

势互补,为局域网和长途骨干网提供更加高效的网络支撑.因此,OCDMA 网络技术是具有广阔应用前景的,也是实现全光通信网络必须依靠的重要扩频技术.三大复用技术的基本特征如图 1-2 所示.

从应用角度看,在 OCDMA 的关键技术解决之后,更换现有的系统当然需要大量的投资.但是,根据国际惯例,光纤的使用寿命为 20 年,交换机等主要通信设备的折旧年限是 7 年.当设备达到年限,需要更新换代之际,正是新技术、新设备占领市场的最佳时期.因此,今后的 5 年左右将是 OCDMA 技术大显身手的时候,它将首先在局域网中得到广泛的应用^[16].

1.1.3 OCDMA 技术的研究动态

1983 年,Davies 和 Shaar 首次提出了异步光纤通信系统^[24],指出码分多址 CDMA 技术可引入光纤信道,随之提出了最基本的光地址码码集——光素数序列码的设计方案^[25],从此拉开了 OCDMA 技术研究的序幕.1989 年,Salehi 全面论述了光纤通信网络的码分多址技术^[14,15].此后,以 Salehi^[26~29]为代表的一批学者在 OCDMA 系统设计上开展了大量卓有成效的研究工作.该技术的研究工作主要集中在美国、日本、加拿大、伊朗、英国、韩国、新加坡、马来西亚、以色列、印度、中国台湾等国家和地区.通过检索,该领域共发表论文 600 余篇(IEEE/IEE 收录).其中少量的实验报道集中在美国^[30~34].日本和韩国也进行了部分实验,效果良好^[35~38].

经过 20 年的研究,OCDMA 技术近年来取得了较大的进展.围绕提高信道容量和降低误码率这两个中心环节,人们在降低多址干扰、优化带宽资源、改进探测手段等方面提出许多新的方案^[39~43],码字结构及编解码方案也不断改进^[44~51].

地址码码字结构方面,一维地址码中较有代表性的是光素数码(OPC)和光正交码(OOC).尽管一维码的设计水平不断提高,相应的 OCDMA 系统实验效果好^[34~37].但一维码多址系统的用户容量和系统性能之间存在着矛盾.Park 在时分复用和空分复用的基础上提出二维 OCDMA 系统的模型框架^[52].随后,Chang 等提出了多波长光正交码(MWOOC)的理论模型^[53],缩短了码字长度,有效地提高了光纤带宽的利用率,使系统性能得到进一步优化.近几年来,围绕提高码字容量、改进系统性能、二维码的码字构造有了不少研究^[54~61].为提供多种 QoS 服务,人们还提出了变重码设计方案^[62,63].

在编解码器实现技术方面,最有代表性的是基于光纤延时线的时域编解码方案^[45,64,65]、基于衍射光栅和相位掩模板的频域编解码方案^[66~68].在非相干系统中,基于 FBGs 的谱域编解码方案^[69~74]逐渐占据了主导地位.基于光纤延时线的时域编解码方案、基于衍射光栅和相位掩模板的频域编解码方案的实现主要靠器件技术,关键在于:需要造价昂贵的相干超短脉冲光源,使得成本较高,缺乏市场竞