



装备科技译著出版基金



高新科技译丛
通信技术系列



科工精译

微波光子链路：组件与电路

Microwaves Photonic Links: Components and Circuits

【法】Christian Rumelhard
Catherine Algani
Anne-Laure Billabert
王宇

著
译

- 全面覆盖了微波光子链路的所有组件和电路
- 全面反映欧洲光电技术领域的最新研究成果
- 面向交叉学科，为微波光子组件提供了统一的仿真模型
- 光学理论基础表述清晰简洁，电子信息专业人员易于接受和理解

WILEY



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

微波光子链路:组件与电路

Microwaves Photonic Links: Components and Circuits

【法】Christian Rumelhard

Catherine Algani 著

Anne - Laure Billabert

王宇 译



国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2013-214号

图书在版编目(CIP)数据

微波光子链路:组件与电路/(法)克里斯蒂安·鲁姆哈特(Christian Rumelhard),(法)凯瑟琳·阿尔加尼(Catherine Algani),(法)安妮-洛尔·贝拉波特(Anne-Laure Billabert)著;王宇译. —北京:国防工业出版社,2017.6

ISBN 978-7-118-10501-8

I. ①微... II. ①克... ②凯... ③安... ④王... III. ①微波电子学②光电子学 IV. ①TN015②TN201

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第162621号

Micro Waves Photonic Links Components and Circuits by christian Rumelhard, catherine Algani and Anne-Laure Billabert.

ISBN:978-1-848-21226-8

Copyright©2011 by John Wiley & sons, Inc.

This translation published under John Wiley & Sons. No part of this book maybe reproduced in any form without the witten permission of the original copyrights holder.

copies of this book sold without a wiley sticker on the Cover are unauthorized and illegal. All rights reserved.

本书简体中文版由 John wiley & Sons, Inc. 授权国防工业出版社独家出版发行。版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 17¼ 字数 312千字

2017年6月第1版第1次印刷 印数1—1500册 定价99.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

译者序

微波光子技术是以光电子器件为基础,由光学技术、电子学技术、精密机械技术和计算机技术等密切结合而形成的一项综合技术。它是光学技术与电子学技术的结合,利用微波光子链路及相关组件实现微波信号在光域接收、传输、变换、存储、处理和重现信息的技术。

光纤及光电子器件具有超宽带、低损耗、体积重量小、抗电磁干扰等独特优势,经过 20 多年的发展,已用于野战通信、飞机舰船内部通信、光电对抗、光电跟踪制导、光电传感等。这些军用光电子装备或自成系统,或与武器系统配套,成为武器系统的核心或辅助部分,执行目标的测距、定位、测速、跟踪和瞄准,以及信息的接收、传输和处理,甚至直接作为武器。微波光子技术以军事需求为牵引,日益成为国内外研究的热点。

原著是一本介绍微波光子链路组件和电路的最新学术专著,在介绍微波光子链路器件原理的基础上,通过器件电学和光学特性参数的分析,提出了微波光子链路性能综合分析的原创方法,分析了微波光子链路特性参数及影响因素,进而提出了微波光子链路及器件建模仿真方法,通过建模将微波光子链路组件的电气模型集成到商用电路仿真软件中,从理论和应用上为微波系统工程师和研究人员提供了设计参考和依据。原著由国际著名学术出版机构 Wiley 出版发行,原著作者为法国国立科学与管理学院(CNAM)的教授,代表了欧洲微波光子技术研究的最高水平,反应了目前国际相关领域的最新研究成果。

译者先后参与过国家某民用航天项目中的基于微波光子技术的雷达分系统以及某光控相控阵天线的光控单元设计集成工作。本书的翻译及相关项目的研究工作得到了北京理工大学光电成像与信息工程研究所倪国强教授、中国科学院理化技术研究所刘新厚研究员的大力支持和帮助,本书的翻译还得到了国防工业出版社的帮助。需要说明的是,中译本的首要原则是尽可能准确地传达原著的学术观点。鉴于译者的水平和时间所限,翻译过程中难免存在未尽和疏漏之处,敬请广大同行读者批评指正。

王宇

中国科学院电子学研究所

序 言

微波光子链路的两个重要应用领域是电磁传感器和光载无线电(RoF)。

新一代电磁传感器微波系统将主要采用有源相控阵天线,其发展由可靠性要求、干扰抑制能力、波束形成网络的全发射灵活性决定。因此这种天线需要应用于不同的场合,例如雷达、通信和电子对抗。为了满足这种多功能应用方式,需要将这些天线分布在多种战术平台上(飞机、靶机、舰船等),然而从这个层面上,多基地操作模式需要这些天线远离其处理单元。

这就需要链路有低损耗和噪声,使天线能遥控操作并且传输和处理大带宽的微波信号(通常在1~20GHz,未来可用到40GHz)。

目前,通过频谱纯度、光电组件线性度形式表现出的成熟度和性能,可以证明电信号的光传输和处理是可行的。微波信号的光传输提供了宽带信号传输的特性,在重量、体积和灵活性上具有优势,与同轴电缆方式相比重量可减少90%;并且对电磁干扰不敏感。上述各种特性将为基于光器件的微波系统带来新的设计理念。

法国、美国、英国和意大利已经设计研制出了一些雷达探测系统,微波信号传输的光子技术已经在陆地、航空和航天得到应用。

光纤分配网络技术是一种技术平台的一个表现,与传输微波和数字信号的光电路相关。这种光纤分配网络的设计目的是为了替换电子互联线路的同轴电缆。这里被传输的微波信号与光载波上的微波信号是同相的。

上述功能的实现需要发射和接收光电子模块的设计,并需要高热稳定性的波分复用/解波分复用器和单模连接器(单点对单点或单点对多点)的集成。

另一个值得指出的是微波信号相位或延时的光控制,及其在电磁传感器系统中的应用。这一点体现在集成了光控开关的超高速多芯片光电模块、时延系统的控制合成及多波长激光器的设计上。

其中最具有前途的是发射天线和接收天线的单波束和多波束形成技术中的一维和二维延时控制,分布式电磁传感器的超高精度(皮秒级)时间同步,用来测量波达方向和波形产生的大带宽微波信号延时控制(皮秒级精度)。

另一个关于RoF应用的重要领域是采用微波或超宽带信号的无线网络技术的大规模发展。这一点通过铺设在公司、大学各个区域等或住宅各个房间的光缆得以实现,同时得益于光纤的极低损耗特性。

在《微波光子链路》一书中, C. Rumelhard、C. Algani 和 A. L. Billabert 研究并开发了面向微波应用中的组件和光功能单元的模型, 从而为微波光子链路研究和电磁传感器系统中这类组件的集成奠定了基础。这些组件和功能单元包括光源(半导体直调激光器或外调制连续激光器)、光电探测器、光纤和光放大器。

为了形成微波光子链路的电器模型, 本书致力于光学组件、光学组件的传输函数及其以微波组件形式的建模。为了解决这种复杂问题, 作者提出了多种建模方法来阐明微波光子链路中各个组件的影响。

结合光电子、光子和微波技术的发展, 形成统一的建模方法将成为可能。可以确信, 本书的研究成果不仅对相关专业学生, 而且对希望将这项新技术集成到电磁传感器系统的工程设计人员具有重要参考价值。

据作者所知, 本书是第一本介绍微波光子链路技术和建模的专著, 给出了有关微波光子链路组件物理现象的教学方法和新的建模方法。

让·沙泽尔

法国泰雷兹航空航天公司技术总监

目 录

第 1 章 基本概念	1
1.1 微波光子链路	1
1.2 链路描述	2
1.3 信号传输	3
1.3.1 微波信号	3
1.3.2 数字信号的微波载波	4
1.3.3 UWB 信号	4
1.3.4 光载波	4
1.3.5 小结	4
1.4 微波光子链路的局限性	5
1.4.1 由不同组件的材料带来的局限性	5
1.4.2 微波光子链路中的噪声源	6
1.4.3 非线性	9
1.5 微波光子链路组件和特征	9
第 2 章 光信号的产生和调制	10
2.1 激光器	10
2.1.1 基本概念	10
2.1.2 半导体激光器结构和有源层光增益	11
2.1.3 Fabry - Perot 激光器原理	13
2.1.4 光限制因子与速率方程	14
2.1.5 激光器静态工作模式(或连续波工作模式)	15
2.1.6 激光器动态工作模式:射频小信号响应	16
2.1.7 RIN 激光器噪声	18
2.1.8 RIN 随 $1/f$ 的增大和小信号与噪声的叠加	20
2.1.9 激光器的不同配置	21
2.1.10 激光器计算机辅助设计(CAD)模型	27
2.1.11 激光器测量和温度稳定性	31
2.2 电光调制器(EOM)	33
2.2.1 基本物理原理	33

2.2.2	线性电光(Pockel)效应	33
2.2.3	Mach-Zehnder 电光调制器	35
2.2.4	单驱动 MZM:单驱动电极	36
2.2.5	双驱动 MZM:双驱动电极	46
2.2.6	实际 MZM:特性和性能	50
2.2.7	MZM 技术	51
2.3	电吸收调制器(EAM)	52
2.3.1	电吸收效应	52
2.3.2	FKE	55
2.3.3	Stark 效应	55
2.3.4	量子阱结构	56
2.3.5	MEA 操作	56
2.3.6	EAM 特性	58
2.3.7	电吸收调制激光器(EML):EAM 和 DFB 的集成	59
2.3.8	用于超高速信号仿真的 EAM 电气建模	60
第 3 章	光纤和放大器	63
3.1	光纤	63
3.1.1	概述	63
3.1.2	材料衰减	65
3.1.3	材料折射率和色散	66
3.1.4	全反射、数值孔径、最大传输频率	67
3.1.5	阶跃折射率光纤	70
3.1.6	渐变折射率光纤	72
3.1.7	单模光纤	74
3.1.8	塑料光纤	76
3.2	光放大器	79
3.2.1	半导体光放大器(SOA)	80
3.2.2	EDFA	80
3.3	附录:光纤中信号传播的模式分析	82
3.3.1	Maxwell 方程	82
3.3.2	柱面光纤中的 Maxwell 方程	82
3.3.3	连续性和特征方程条件	85
3.3.4	不同模式分析	86
3.3.5	线性偏振模式的近似	88
第 4 章	光电探测器	91
4.1	光电探测器定义	91

4.2	光电二极管	91
4.2.1	介绍	91
4.2.2	半导体中的光吸收	92
4.2.3	p-i-n 光电二极管	93
4.2.4	金属半导体金属(MSM)光电二极管	96
4.2.5	p-i-n 和 MSM 光电二极管的等效电路	97
4.2.6	非线性	97
4.2.7	UTC 光电二极管	98
4.2.8	电荷补偿	99
4.2.9	部分耗尽吸收区	100
4.2.10	横向采光	100
4.2.11	横向采光:行波结构	101
4.2.12	横向采光:周期结构	103
4.2.13	共振腔光电二极管	104
4.2.14	稀释波导和渐逝模式的耦合	105
4.2.15	小结	106
4.3	光电晶体管	107
4.3.1	双极性抑或场效应光电晶体管?	107
4.3.2	GaAlAs/GaAs 和 InGaP/GaAs 光电晶体管	108
4.3.3	InP/InGaAs 光电晶体管	110
4.3.4	Si/SiGe 光电晶体管	113
4.3.5	光电晶体管的共振腔	116
4.3.6	光电晶体管仿真和模型	116
4.3.7	基极负载阻抗的影响	118
4.3.8	小结	120
4.4	附录	121
4.4.1	晶格匹配层、赝晶层和变质层	121
4.4.2	速度过冲效应	123
4.4.3	异质结双极性光电晶体管	124
第 5 章	微波光子链路性能	127
5.1	微波光子链路:电路图和定义	127
5.1.1	直接调制链路电路图和定义	127
5.1.2	外调制链路电路图和定义	129
5.1.3	链路简化电路图和一级增益计算	130
5.2	光微波 S 参数和每个光子链路组件的增益	132
5.2.1	简介	132

5.2.2	激光器的光微波 S 参数和光微波增益	132
5.2.3	光纤的光微波 S 参数和光微波增益	133
5.2.4	光电二极管的光微波 S 参数和增益	134
5.2.5	局域组件外调制器光微波 S 参数和增益	135
5.2.6	分布式组件外调制光微波 S 参数和增益	136
5.2.7	S 参数和光微波增益总结	137
5.3	微波光子链路光微波 S 参数和增益	138
5.3.1	直接调制微波光子链路 S 参数	138
5.3.2	直接调制微波光子链路增益	138
5.3.3	局域式外调制器微波光子链路 S 参数	139
5.3.4	局域式外调制器微波光子链路增益	140
5.3.5	分布式外调制器微波光子链路 S 参数	140
5.3.6	分布式外调制器微波光子链路增益	141
5.3.7	链路增益计算总结	141
5.4	不同链路增益的比较	143
5.4.1	直接调制链路增益计算	143
5.4.2	局域式外调制器链路增益计算	144
5.4.3	分布式外调制器链路增益计算	145
5.5	直接调制微波光子链路的光微波噪声系数	145
5.5.1	链路噪声系数图和计算方法	145
5.5.2	激光器噪声系数	146
5.5.3	光纤噪声系数	147
5.5.4	光电二极管噪声系数	147
5.5.5	直接调制链路噪声系数	147
5.5.6	直接调制链路输入端的匹配效应	148
5.5.7	链路噪声系数计算的总结	148
5.6	外调制微波光子链路光微波噪声系数	149
5.6.1	等效电路图和计算步骤回顾	149
5.6.2	局域式外调制器噪声系数	150
5.6.3	分布式外调制器噪声系数	150
5.6.4	光电探测器噪声系数的新评价	151
5.6.5	局域式外调制器微波光子链路噪声系数	152
5.6.6	输入端匹配的局域式外调制器微波光子链路噪声系数	152
5.6.7	分布式外调制器微波光子链路噪声系数	152
5.7	不同链路噪声系数的比较	153
5.7.1	直接调制链路噪声系数评估	153

5.7.2	局域式外调制器链路噪声系数评估	154
5.7.3	输入端匹配的局域式外调制器链路噪声系数的评估	155
5.7.4	分布式外调制器链路噪声系数评估	155
5.7.5	输出噪声功率	157
5.7.6	噪声系数的一些有效实测值	158
5.8	微波光子链路的非线性:失真现象	159
5.8.1	单频微波信号的非线性	159
5.8.2	多频微波输入信号的非线性	160
5.8.3	宽带输入信号的非线性	161
5.8.4	微波光子链路组件的非线性组合	162
5.9	微波光子链路无干扰动态范围	162
5.9.1	单频输入信号微波光子链路无干扰动态范围	162
5.9.2	多输入信号微波光子链路无干扰动态范围	163
5.9.3	无干扰动态范围的一些有效实测值	164
5.10	附录	164
5.10.1	参数 S, Z, Y 和 $ABCD$ 之间的关系	164
5.10.2	微波光子链路光微波噪声系数计算公式的选择	165
5.10.3	双输入信号微波光子链路的无干扰动态范围计算	171
第6章	微波光子链路性能的补充分析	176
6.1	微波信号在双边带调制中的衰减	176
6.1.1	双边带调制回顾	176
6.1.2	单模光纤传播特性回顾	176
6.1.3	光纤双边带调制信号传播	178
6.1.4	光纤输出端的双边带调制信号探测	178
6.2	光载波或上下边带去除的调制器结构	180
6.2.1	光调制回顾	180
6.2.2	单边带或载波抑制光调制器	180
6.2.3	载波抑制和单边带光调制器	182
6.3	光链路造成的微波信号频谱纯度下降	184
6.3.1	现象描述	184
6.3.2	一些有关微波载波附近噪声的定义	185
6.3.3	光链路中的幅度和相位噪声	186
6.3.4	通过光链路传输的微波信号的相位噪声计算	187
6.3.5	通过光链路传输的微波信号的幅度噪声计算	188
第7章	微波光子链路中的电子放大器	190
7.1	光子链路中的电子放大器	190

7.2	光子链路发射机的电子放大器	190
7.2.1	光发射机的电子放大器的不同作用	190
7.2.2	发射机:调制器或激光器输入放大器	190
7.3	接收机:光电探测器输出端的放大器	193
7.3.1	基本概念	193
7.3.2	跨阻放大器	194
7.3.3	分布式放大器	195
7.3.4	跨阻抗和分布式放大器的组合	196
7.3.5	窄带放大器	196
7.3.6	光电晶体管后的前置放大器	197
7.3.7	光电晶体管后的其他电路	197
7.4	附录:模拟和微波放大器	197
7.4.1	基本概念	197
7.4.2	模拟放大器	198
7.4.3	微波放大器:晶体管反射器系数的表示	200
7.4.4	微波放大器:增益的表示	201
7.4.5	单向晶体管模型:双端口网络匹配计算	202
7.4.6	非单向晶体管: $S_{12} \neq 0$ 的晶体管的一般情况	206
7.4.7	低噪声放大器	206
7.4.8	小信号微波放大器的通用模型	207
第8章	微波光子链路的仿真和测量	212
8.1	技术现状	212
8.1.1	目标	212
8.1.2	仿真软件的选择	212
8.1.3	不同的 ADS 仿真技术	213
8.2	微波光子链路模型	214
8.2.1	双端口网络方法	214
8.2.2	电光转换器:激光器	214
8.2.3	传输波导:光纤	217
8.2.4	光电传感器:光电二极管	219
8.3	链路中非线性效应	222
8.3.1	非线性源	222
8.3.2	1dB 压缩点和链路的一阶动态响应	222
8.3.3	链路的三阶交调和三阶无干扰动态范围	223
8.4	链路噪声建模	224
8.4.1	激光器噪声	224

8.4.2	光纤	224
8.4.3	光电二极管噪声	225
8.4.4	直接调制链路噪声系数	226
8.4.5	接收机噪声功率	227
8.5	信号在光纤中传输的其他调制类型	229
8.5.1	超宽带信号调制	229
8.5.2	外调制	233
8.5.3	通过差频产生微波信号	236
8.6	结论	238
8.7	附录	239
8.7.1	MB-OOK 调制	239
8.7.2	OFDM 调制	240
参考文献		243
缩略语		260

第1章 基本概念

1.1 微波光子链路

所有由人类活动(不同物理量的测量、遥控、文件、声音、图像等)产生或观测到的信号都可以转换为模拟电信号。这些电信号可以用其原始状态处理和传输,但大多情况下都首先进行数字化。一旦数字化后,这些信号根据其采用的数字编码或误码校正算法和在传输系统通信中所采用的通信协议,具有不同的形式。这些模拟或数字信号可以采用不同的介质来处理 and 传输。

如果数字信号通过金属线缆完成传输,这些数字信号直接进入这些线缆或对副载波进行复杂程度不一的调制(非对称数字用户线路(ADSL)以太网)。

如果传输以射频形式出现,则必须有高频载波存在。由于无线电频段信道拥挤,目前载波主要在微波频段,也就是1~100GHz的频率范围(全球移动通信系统(GSM)、多媒体传送系统(MMTS)、无线局域网(Wi-Fi)、全球微波互联接入(Wimax)等)。无线传输也可以通过具有较宽频谱的窄脉冲来实现,包括微波频段,或在毫米波段调制载波脉冲。这种技术被称为超宽带(UWB)^[YAO 09]。

如果通过光纤传输,数字信号调制一个或多个光载波(幅度或孤子调制),也就是数字信号自身通过光纤传播了数百千米。所有无源光网络(PON)及其不同传输协议所代表的传输都是这种形式。

通过这些定义,微波光子链路的特征是以模拟形式或经数字调制的形式传输微波信号。微波信号调制到光载波上,并通过光纤以最低损耗传输。微波信号再通过光纤终端的光电探测器解调出来。

微波光子链路最先得到的应用是在分置天线或有源相控阵天线组成的雷达或射电天文系统中的微波载波的分配,这得益于光纤体积小重量轻的特性^[COX 97, DEC 98]。

另一个重要应用领域是光载无线电(Radio over Fiber, RoF)应用,包括采用微波或UWB信号的无线网络的扩展。产生的光通路(Optical Tunnels)能到达公司、学校的所有房间或办公楼,或不同机构及一个住宅的所有房间,同时受益于光纤的低损耗特性^[FRI 02]。

RoF的应用领域中,一个很有前景的应用是家庭互联网的连接。由于光纤入户,这些连接伴随着不断增长的速度(1Gb/s)也日益流行,凭此接入光纤的住宅本

身也成了一个高速局域网。在这个局域网中,分配到每个房间的信号可通过 60GHz 毫米波来实现(无线个人局域网(Wireless Personal Area Network, WPAN)),这种信号由于该频段的急剧衰减只能在房间内的有限区域有效。所有房间通过无源光纤网络完成相互连接,无源光纤网络将毫米波超宽带信号扩展到整个住宅(超宽带无线家庭区域网络(Ultra Broad Band Wireless Home Area Network, UBB-WHAN))。光载毫米波传输系统的实例在文献[CHU 07, KIM 04, WEI 08]中都有描述,具有上下行链路的 UBB - WHAN 演示系统在文献[HUC 08]也有介绍。

链路长度范围从 10m ~ 1km,这使得多种光纤类型可供选择(单模或多模,玻璃或塑料材料),且有从 0.6 ~ 1.55 μm 多种光波长可选。强度调制的光信号通过光电探测器来接收。短短几年时间传输速率已由数吉赫载波上的 10Mb/s 提高到 60GHz 微波载波的 1Gb/s 或 10Gb/s。

微波光子链路由三部分组成。

(1) 相干光源:辐射光载波的激光器,其强度通过激光器内部直接调制或通过外部光调制器调制。外调制激光器的幅度调制通过 Mach - Zehnder 或电吸收调制器完成。

(2) 经过调制的光通过玻璃或塑料材料制成单模或多模光纤,这部分可能会包含一个光放大器。

(3) 经过调制的光最终通过由光电二极管或光电晶体管组成的光电探测器完成解调。

经过对相干和非相干链路的慎重考虑^[HAL 82],最终采用了“强度调制(IM)直接探测(DD)”的链路。如文献[COX 06]中所回顾的,这种链路的光调制深度非常浅,我们可以对每个部分用小信号或线性技术来分析。这些信号以微波形式引入到链路中或从链路中提取,所以描述这些系统的变量为 S 参数、增益和噪声系数,也包括非线性度,链路引入的每个信号成分的交调失真也必须考虑。这些不同特性的组合带来所谓无干扰动态范围(IFDR)的概念。这一点需要结合有关链路总体性能的相关章节的组件特性来综合分析评估。

由于微波光子链路包括电光传感器、光电传感器甚至光光传感器,每种以 S 参数、增益和噪声系数表示的量,都应该以光微波量来表示。这就不得不协调来自于光学、光电子和微波学科的概念。这一点将在第 5 章中介绍。

起初用于描述这种链路的术语是“微波光链路(Microwave Optical Links)”。然而,这种技术已经逐渐远离了常规光和光电子技术,因而更准确的术语“微波光子链路(Microwave Photonic Links)”更多地被使用^[SEE 02]。

1.2 链路描述

图 1.1 和图 1.2 所示为 IM-DD 微波光子链路的总体框图。

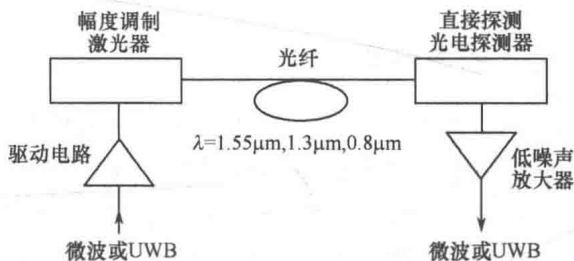


图 1.1 直接调制微波光子链路框图

图 1.1 代表直接调制链路。激光器发射出 $0.8\mu\text{m}$ 、 $1.3\mu\text{m}$ 或 $1.55\mu\text{m}$ 波长的光,经过驱动电路被微波信号(或由其自身)调制。经调制的光信号进入光纤耦合到光电探测器并检波出微波信号。光调制可有幅度、频率和相位三种方式。然而,直接光电探测方式只能检测出幅度调制方式。然后,检测出的微波信号通过低噪声放大器进行放大。

图 1.2 代表外调制链路。这种条件下,由激光器发出的光进入马赫-曾德尔(Mach-Zehnder, MZ)或电吸收(Electro-Absorption, EA)调制器,微波调制同样经过驱动电路施加到调制器上。

在传入光纤之后,光幅度调制仅通过光电探测器来检波,和图 1.1 表示的一样,检测出的微波信号在低噪声放大器中放大。

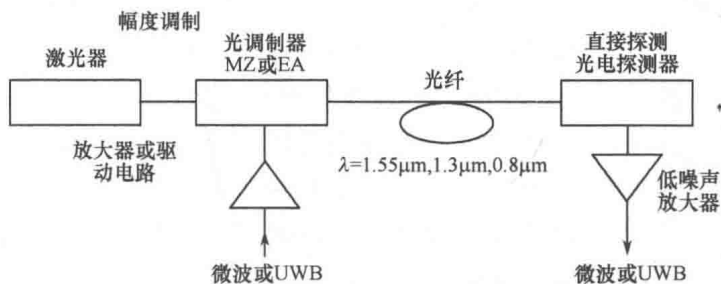


图 1.2 外调制微波光子链路框图

1.3 信号传输

1.3.1 微波信号

最初被传输的信号类型是微波频率参考信号,这种信号可用于偏置天线或有源相控阵天线中。经运动目标反射后,从天线发出的这种微波信号可以产生频率偏移(Doppler 调制),微波信号的频谱纯度决定了最小可观测的频率偏移,也就是运动目标的最小相对运动速度。必须注意频谱纯度和微波信号经过光链路传输后

的纯度下降,并区分频率偏移量。

1.3.2 数字信号的微波载波

如果微波信号作为数字信号的载波,这种载波需预先调制。所有通常使用的调制技术,如幅度、频率、相位、正交频分调制(OFDM)和幅度和相位同时变化的正交幅度调制(QAM),或者更复杂的调制技术,如移动电话中使用的 GSM、通用分组无线服务技术(GPRS)、增强型数据速率 GSM 演进技术(EDGE)和 MMTS 或数据传输中使用的蓝牙、Wi-Fi 和 Wimax。这些调制一般都通过单边带(SSB)调制实现。当通过相位或频率来实现微波调制时,频谱纯度仍然非常重要。

1.3.3 UWB 信号

此外,还存在另一类通过光纤传输的信号,这类信号与 UWB 技术有关,并且没有微波谱段的载波或通过上变频到毫米波段的载波。UWB 无线链路大多用于短距离通信。光纤用来表征这类网络可扩展。

1.3.4 光载波

微波信号可以携带模拟信息(多普勒效应引起的频率偏移),或微波信号可被数字信号调制或由 UWB 信号组成(UWB 信号本身是经过数字调制的)。所有这些微波信号必须上变频到光载波上。这种转换只能通过强度调制实现,强度调制的优点之一就是微波信号可通过简单的光电探测单元恢复出来,光电探测单元可以去除光载波上可能存在的频率波动。如果光波长允许插入一级光放大器或链路路径较短的话,直接探测带来的灵敏度损失现象不会出现。一般这种调制是双边带调制(Double Side Band, DSB)。对于较长链路的特殊情况,如果在激光器端直接调制可能带来消光现象(Extinction Phenomena),因而也可以考虑单边带调制,但是这种调制必须通过外调制器来实现。

1.3.5 小结

微波光子链路的复杂性来自于光载波和微波或 UWB 副载波的混合。光载波只能是强度调制,而微波副载波可通过所有已知的调制方式来实现:幅度、频率、相位或它们的组合包括由多普勒效应带来的频率偏移。所有这些调制方式都可以通过光电探测器来解调。

当被传输的信号多且以并行通信方式发送时,传输数据率会相应地增大,微波光子链路的应用需求也会增大。于是,电信光纤网络需要在不同的载波上同时传送 GSM、MMTS、UWB 和高清晰度电视(HDTV)信号,微波光子链路传输多种信号时的约束因素很多,这一点将在后续章节中重点描述。