

2002

通信技术创新展

——第八届全国青年通信学术会议论文集

温巧燕 杨义先 主编



2002

绵阳



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

www.phei.com.cn

2002 通信新技术进展

——第八届全国青年通信学术会议论文集

温巧燕 杨义先 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本论文集收录了第八届全国青年通信学术会议论文 121 篇,内容涉及通信领域的各个方面,分为通信理论与技术、数字信号处理、计算机技术与网络应用、密码学与信息安全等四大类,反映了当前通信理论与技术的最新进展,并展望了未来通信领域前沿技术的发展趋势。

本书可供通信、电子、计算机和信息安全等领域的科技工作者和高等院校相关专业的师生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

第八届全国青年通信学术会议论文集/温巧燕,杨义先主编. —北京:电子工业出版社, 2002. 10
ISBN 7-5053-8068-0

I. 第… II. ①温… ②杨… III. 通信技术—学术会议—文集 IV. TN91-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 080145 号

责任编辑:段 颖 刘志红 特约编辑:伍 月

印 刷: 北京四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:43.5 字数:1100 千字

版 次:2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

印 数:500 册 定价:98.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

第八届全国青年通信学术会议领导机构名单

顾问委员会（按姓氏笔画排序）：

- 杨国安 四川省科技厅厅长
杨毅刚 大唐集团副总裁、信息产业部电信研究院副院长
巫英坚 绵阳市副市长
林 新 绵阳市人民政府市长助理、绵阳国家高新技术产业开发区工委、管委会书记、主任
林金泉 信息产业部原副部长、中国通信学会理事长
林金桐 北京邮电大学校长、教授、博士生导师
杜 链 国家信息中心副主任、中国信息大学校长
宋直元 信息产业部原副部长、信息产业部科技委主任
胡正名 北京邮电大学教授、博士生导师、全国政协常委
张真诚 台湾中正大学校长、教授
魏克为 香港中文大学教授、IEEE Fellow

大会 主席： 杨义先

大会合作主席： 龚 克 唐小我 怀进鹏 陈永川

学术委员会 主 席： 温巧燕

学术委员会 合作主席： 寇卫东

学术委员会成员（按姓氏笔画排序）：

- | | | | | | |
|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|
| 丁 瑾 | 王子宇 | 王 京 | 尤肖虎 | 刘 鹏 | 汤锦基 |
| 杨义先 | 张文斌 | 张 荣 | 张 凌 | 张 斌 | 张雄伟 |
| 陈永川 | 李正茂 | 李建东 | 李晓明 | 李晓涛 | 李 星 |
| 邬江兴 | 怀进鹏 | 宋树成 | 吴 巍 | 孟洛明 | 武瑞恒 |
| 赵为粮 | 赵建军 | 赵慧玲 | 钟章队 | 殷一民 | 唐小我 |
| 郭 伟 | 龚 克 | 黄 祥 | 富 杰 | 韩 夏 | 覃 彝 |
| 缪伟豪 | 魏少军 | William Song | | | |

组织委员会 主 席： 陈 敏

组织委员会 合作主席： 任晓敏 陈伟明 桑 毅

组织委员会 委 员： 陈文典 谭 莉 黄 琦 赵长虹 王 腾

与时俱进的“青通会”

杨义先

(中国通信学会青年工作委员会主任)

中国通信学会青年工作委员会是中国通信学会惟一的以年龄为标准划分的一个学术机构。多年来,在中国通信学会领导的热情关怀下,青年工作委员会在促进国内外通信界青年学者的学术交流和人才交流等方面取得了不少成就,培养出了一大批国际一流的青年才俊,也为我国通信界的众多领域推荐了不少专家教授。系列性的全国青年通信学术会议(以下简称“青通会”)便是中国通信学会青年工作委员会的主要学术活动之一。

当今世界是一个“变”的世界。谁变得快,谁变得好,谁就能够取胜。“青通会”也必须在“变”中求生存,在“变”中谋发展。为此,在中国通信学会相关领导的大力支持下,从本届(第八届)“青通会”开始,将在以下几个方面进行大胆的改革尝试。

1. 承办者多元化。过去七届“青通会”都是由国内若干著名大学合作承办,如清华大学、北京邮电大学、电子科技大学、东南大学、南京理工大学、北方交通大学、西安电子科技大学等都曾经当过“青通会”的东道主。应该肯定,过去的每一届“青通会”都很有特色、很成功。因此,与奥运会类似,每一届“青通会”的举办权也已成为各大学重点争取的对象。如今,“青通会”在国内通信界已经产生了很大的影响,成为检阅国内青年通信科技工作者最新科研成果的大舞台。许多青年学者都是通过“青通会”走向了自己的成功之路,成为科学家或工程师。但是,随着时代的发展,囿于大学的“青通会”已经不能很好地发挥其应有的作用了。“青通会”必须走出“象牙塔”,社会也很需要亲近“青通会”。今年“青通会”改由政府(四川省绵阳市国家高新技术产业开发区)承办便是“青通会”走向社会的开始。今后,承办“青通会”的大门将向国内外的所有单位开放,欢迎相关大学、企业、事业、政府以自己的独特方式承办未来的“青通会”,我们将以竞争的方式选出承办者。

2. 周期和地点按需确定。过去七届“青通会”都是每两年定期在北京、西安、南京、成都等大城市举行。在中心城市举办“青通会”虽然可以获得交通便利,但是,不利于扩大“青通会”的广泛影响力。今年,“青通会”改在风景如画的绵阳市召开将是“青通会”“送会下乡”的开始。今后,“青通会”的举办地将可能是国内任何大、中、小城市或乡村,甚至也可能去港、澳、台地区(现在,台湾的一所大学正与我们商讨承办“青通会”之事)。“青通会”也将不再定期举行,而是根据需求动态地确定。只要有需求,每年可以多次举办“青通会”;也有可能就某些特新、特热的专题举办专题性的“青通会”;还可以举办若干地区性的“青通会”。

3. 参加者广泛化。过去七届“青通会”的参加者主要是以研究生和青年教师为代表的青年科技工作者。从今年开始,我们希望学术界、产业界、政府部门等与通信相关的所有青年朋友都来关心和支持“青通会”。今后,“青通会”将是官、产、学、研等各部分彼此全面交流的大平台。

4. 内容不断丰富。过去七届“青通会”的主题几乎都是“以文会友”。今后,“青通会”

的内容将以学术论文交流为主，同时开展包括成果展览、合作洽谈、人才招聘等活动。总之，只要是有利于我国通信事业发展的活动，“青通会”都将积极支持和参与。

“青通会”的改革不是目的，只是手段。让我们共同努力，打破所有旧框框，把“青通会”从成功推向更大的成功。

前 言

第八届全国青年通信学术会议于 2002 年 11 月 1 日至 3 日在四川省绵阳市长虹大酒店召开。本次会议是在“与时俱进”思想指导下发起并召开的，是“青通会”改革尝试的开始。自去年 10 月第七届会议之后开始征稿，截止今年 5 月底，半年多的时间共收到稿件 201 篇，可喜的是作者更加年轻化、广泛化，除大学、科研院所的专家教授、科研人员、研究生外，有不少企业科技工作者、政府工作人员积极投稿，还有不少在校大学生写出了很有水平的论文。论文范围涉及通信领域的各个方面，学术委员会组织专家对收到的论文进行评审，共选出 121 篇刊登在这本论文集中，由于版面有限，还有不少优秀论文未能登出，这些论文都将在大会期间进行交流。

在会议期间，将选出本届会议的优秀论文，并向《通信学报》、《电信科学》、《北京邮电大学学报》等刊物增刊推荐论文。

我们衷心感谢所有投稿者对会议的关心与支持，感谢论文评审者对论文集的贡献，感谢通信学会领导和青年工作委员会对论文集出版的关心与支持；研究生韩杰和责任编辑段颖、刘志红为论文集的出版付出了辛勤的劳动，电子工业出版社对论文集的出版给予了大力支持，特别是竺南直同志为论文集的出版作了大量工作，在此也向他们表示衷心的感谢！最后，我们向承办本次大会的四川绵阳高新区以及所有关心和支持本届青年通信学术会议的领导和专家表示衷心的感谢！

由于时间仓促，水平有限，不足之处在所难免，欢迎批评指正。

中国通信学会
第八届全国青年通信学术会议学术委员会
2002 年 10 月

目 录

第一部分 通信理论与技术

基于 SOA 中 FWM 效应的波长变换器性能研究	徐俊华	余志华	李玉权 (3)
快速收敛的 SM-CM 算法用于 DS/CDMA 中盲干扰抑制	孙丽萍	胡光锐	(9)
OFDM 系统的自适应盲信道识别算法	李 峰	李建东	李 夏 (15)
一种全新的基于空时分组码的差分调制方法	李正权	胡光锐	单红梅 (20)
自适应传输系统中信噪比预测方法研究	李 夏	李建东	刘 静 (26)
CDMA2000 1xEV 空中链路概述	刘海涛	张 好	(31)
应用恒模阵列进行跳频通信跟踪干扰抑制研究	陈长征	王华力	甘仲民 (36)
软件无线电中突发 DQPSK 信号的联合码元定时恢复和频偏估计方法	陈 晨	李建东	韩 钢 (43)
The Strategy of Call Admission Control and Handover Control in Multi-Services CDMA Cellular Systems			
Ling Xiang, Zhu Lidong, Wu Shiqi (49)			
临界抽样下均匀信道化接收机模型	刘杉坚	赵杭生	甘仲民 (55)
多载波 MC-CDMA 调制体制	王亚莉	张海林	王育民 (62)
基于信道估计的功率控制	吴 蓓	张红伟	翟娟娟 李晓辉 (68)
时变信道中采用 ESPRIT 方法的 OFDM 频偏估计	吴 杰	李建东	(74)
DS/SS 系统中解扩 chip 波形对非相干同步跟踪性能的影响	臧国珍	李广侠	(80)
一种基于三阶谱的盲自适应均衡器	吕浚哲	张海林	刘增基 (86)
分布式多跳无线网络的流量自适应 MACA 协议接入时延研究	盛 敏	李建东	史 琰 (91)
Rayleigh 衰落信道中级连空时分组码和 Turbo 乘积码的性能研究	刘 伟	张海林	(96)
基站实时告警处理系统的设计与实现	张孟雄	陈 钢	耿建林 (102)
自适应变速率 OFDM 技术在低压电力线局域网中的应用	刘洺辛	吴长奇	陈 晶 (107)
一种新型调制方式 DMFSK 的最佳接收	李 勇	姚富强	(113)
软件无线电中波特率估计算法研究	韩 钢	李建东	(119)
新型无线感应系统的信号传输特性	谭启泉	连级三	宋平岗 钮小明 (125)
有效支持智能天线在 MANET 中应用的多址接入协议	杨 军	李建东	(132)
空时编码 OFDM 系统信道估计的改进方法	黄彩梅	肖丽萍	(138)
TD-SCDMA 系统定位算法研究与仿真	宋宇恒	古艳涛	谢显中 (143)
一种低复杂度的改进解相关检测器与性能仿真	海 平	谢显中	(149)
软件无线电的智能波形处理研究及 DSP+FPGA 实现	韩 钢	王晓虎	李建东 刘金银 (155)
采用谱反转技术消除 WDM 系统的 SRS 串话	刘 杰	李玉权	(161)

基于 SVR 的数据融合算法实现蜂窝无线定位	孙国林	郭伟	(166)
程控交换机话务台监控管理系统	王霞	唐红梅	赵晓群 (172)
受激励曼散射对波分复用光纤传输系统功率的限制	赵晓红	杨伯君	(177)
OTDM 系统中的色散控制孤子相互作用			
.....	蔡炬	张国强	毛宇 吕辉 杨祥林 (181)
广义卫星移动通信信道模型及仿真分析	李兴	吴诗其	(187)
基于 GPS 的车辆定位信息传输技术研究	李钊	曹耀钦	(192)
基于公共市话网 (PSTN) 的数据通信设备	杨虹	段红光	郑建宏 王汝言 (199)
基于 TETRA 系统空中接口协议栈的几个关键技术的研究			
.....	李鹏	宋越	徐子平 (204)
基于 Agent 模型的 GPRS 无线远程监控系统	苏建明	石志国	王志良 (207)
TD-SCDMA 中利用空时处理改善系统性能的算法设计与仿真分析			
.....	徐生瑜	缪丹	谢显中 (211)
LEO 卫星系统多波束技术与多址方式的选择	刘云志	王华力	甘仲民 (219)
3G 中多用户检测技术的研究	龚秋莎	杨家玮	(225)
直接序列扩频码元捕获的快速算法	宫二玲	王跃科	杨俊 董飞鹏 (230)
移动 IP 在 CDMA 网络中的应用研究	徐任晖	裴凌波	张剑锋 (235)
全光网络的攻击与检测方法研究	周辉	张宝富	(241)
综合自动化变电站远动信息的采集与传输	杨嵘	吴朝寿	(247)
光缆网自动监测系统的设计	徐智勇		(252)

第二部分 数字信号处理

鲁棒的基于等级树分集算法的图像压缩	陈海林	杨宇航	(257)
对等实体中通信安全的研究	宋丽敏	崔国华	徐茂智 (262)
基于窗函数法的 FIR 数字滤波器优化设计	邬书跃	田新广	(267)
图像智能化的目标检测技术——I. 目标-背景视觉模型			
.....	景晓军	熊玉庆	杨义先 (272)
图像的智能化目标检测技术——II. 数据流程与背景感知			
.....	景晓军	熊玉庆	杨义先 (279)
自适应图像目标检测技术研究——III. 优化聚类与特征识别			
.....	景晓军	熊玉庆	杨义先 (291)
一种特征结构并行提取的神经网络算法实现	何畏	虞水俊	(300)
Signal Subspace Tracking for Blind Identification of Multi-channel Time Varying System			
.....	Yang Daiming, Zhang Liming, Hu Bo, Wang Yuanyuan		(305)
基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的 TMS320C54X 实时内核设计	罗世波	张雄伟	(310)
一种 FFT 算法的硬件实现方案	王金明	张雄伟	(316)
基于分形维数实现语音分割和增强	陈亮	张雄伟	(321)
一种对可编程器件逻辑测试的方法	张晨燕	孙成立	(325)
利用遥测实现的多目标识别与外测技术研究	苗留成		(329)
神经网络编码和解码	张定会	李敬红	左小五 (334)

网络视频会议系统的发展及应用	王菽兰	赵东风	(338)
基于 TMS320C31 的双通道实时 DSP 系统	张海燕	李欣	赵犁丰
H.26L 视频编码系统的研究	刘浩	王科进	胡栋
新世纪的雷达电子对抗	矫志宁	崔立辉	宋学军
基于子带加权的鲁棒性说话人辨认	王金甲	王成儒	李静
循环冗余校验在单片机通信中的 C 语言的实现	曹爱请	曹洁	(358)
一种提取图像中感兴趣区的新方法	李莉	张雄伟	(362)
PESQ 算法及应用	赵斐	徐勇	成立新

第三部分 计算机技术与网络应用

一种基于禁忌搜索的 QoS 路由选择算法	王兴伟	程 辉	黄 敏	(371)
一种多域数据包快速分类算法	赵国锋	谷上宇	温智宇	(378)
自愈对网络业务性能改善的分析	刘爱民	刘有恒		(385)
基于数据挖掘和神经网络的赛马决策与分析	冯少荣	薛永生	邓安生	(391)
ATM 中漏桶法接入性能的研究	刘 勤	杨家玮	李建东	(401)
XML 语言在入侵检测系统中的应用	傅 华	温巧燕	杨义先	(407)
一个新的 HLA 范型自主式联邦的设计及研究	何 明	刘晓明		(413)
核心路由器高速大容量分组缓冲技术研究	李万林	郑少仁		(420)
Kerberos 身份认证协议分析及改进	张红旗	车天伟	李 娜	(426)
短 TCP 数据流传输时间的建模	赵 炯	张树京	周其刚	(432)
基于 CORBA 的网络管理与安全性研究	袁占亭	杨 洁	张秋余	(439)
Internet 中 QoS 机制的安全性研究	李志兵	杨义先		(445)
宽带 IP 城域网方案在军事通信网中的应用	夏靖波	胡曦明	吕珊珊	(451)
基于嵌入式系统的虚拟仪器与智能仪器的实现	程东旭	邢艳玲	徐志军	(457)
远程教育平台管理控制系统的设计与实现	许 波	郑少仁		(462)
电子商务中的网上协商探索			苏安洋	(468)
分组交换网队列调度 WFQ 算法研究	刘化君	解学军		(473)
基于 SPKI 证书的 CORBA 分布式授权服务	刘 璟	周明天		(479)
基于自适应传输的 Ad Hoc 网络性能分析	刘 静	李建东	李 夏	(488)
电厂卸灰自动控制系统的的设计与应用	刘满强	周红莉		(494)
基于电力线通信技术的家庭网络系统研究	魏维伟	李 杰		(499)
嵌入式 Internet 与扩展 Internet 研究	袁 兵	付 宏	吴鸿韬	(503)
高速分组交换网中的 SDL 协议	崔向徽	周卫东		(508)
基于多 Agent 机制的生产调度系统的研究与实现				
.....	瞿 斌	庄 毅	姜 丽	孙玉星 (512)
一种面向企业网的可伸缩的入侵检测框架	王 伟	徐国爱	温巧燕	杨义先 (516)
TCL 在通信测试领域中的应用	张海旸	高文昌	罗 红	(523)
用 EJB 与 RMI 技术构建非嵌入式基于 Web 的网络管理 ..	张廉君	喻 炜	徐塞虹	(531)
移动智能网提供移动电子商务业务	蔡 斌	廖建新	吴小频	(538)
交通规划中 EMME/2 数据与 ARCVIEW 数据的交换				

..... 曹 洁 高玮军 陈希平 余姝婷 (545)

适于拥塞控制的主动式队列管理算法研究 朱凤春 解学军 (550)

Ad hoc 网络的体系结构和分簇算法研究 王海涛 郑少仁 宋丽华 (554)

WebGIS 技术与城市智能交通系统 高玮军 曹 洁 余姝婷 陈希平 (560)

关于政府信息化建设的探讨 詹微昊 谢 欢 刘 韧 (565)

远程数据服务技术在房地产销售网络系统中的应用 刘丽霞 (568)

一种构建 Web 安全系统的方案设计 & 研究 何 明 刘晓明 (572)

提高军事通信网络抗毁性的几点思考 燕华俊 (575)

电子商务与网上信息分析 高 峰 (578)

第四部分 密码学与信息安全

一种可撤消的群签名 张键红 王育民 (587)

两个串联的 LFSR 的输出序列的分析 李忠杰 徐茂智 杨义先 (592)

一种新的认证逻辑系统及其应用 李益发 赵亚群 (597)

广义部分 Bent 函数和广义 Bent 函数之间的计数关系
..... 赵亚群 李世取 冯登国 (608)

一个新的具有指定接收者 (t,n) 门限签名加密方案 曹珍富 李继国 (614)

最佳二进阵列偶与准最佳二进阵列偶 蒋 挺 赵晓群 候蓝田 李 琦 (620)

关于几乎完全非线性置换的两个定理 袁 征 徐茂智 (627)

遗传算法在二元序列优化中的应用 赵晓群 苗 源 贾志成 (632)

WAP 安全通信机制及其基于新型密码算法的实现 胡向东 鲜继清 魏琴芳 (637)

屏蔽二元互补序列偶 蒋 挺 赵晓群 李 琦 候蓝田 (644)

网络安全应急系统的有限自动机 张 峰 秦志光 (649)

一类广义 Bent 函数的构造和性质 丁金扣 黄 铮 温巧燕 (654)

构造 $GF(2)^n$ 的 t -正交分划的递归生成算法 黄 铮 丁金扣 温巧燕 杨义先 (658)

数据库加密系统中的密钥集成管理方案 刘焕平 胡铭曾 李 斌 (661)

Oblivious Transfer Protocol Based on Elliptic Curve Discrete Logarithm Problem
..... Qu Yadong, Hou Zifeng, Wei Wei (666)

双钥密码体制算法 孙 敏 席荣荣 (675)

换位密码及其前景展望 张 雅 冯登国 (680)

第一部分 通信理论与技术

基于 SOA 中 FWM 效应的波长变换器性能研究

徐俊华¹ 余志华³ 李玉权²

1 解放军理工大学通信工程学院研究生一队 210007

2 解放军理工大学通信工程学院有线教研室 210007

3 第二炮兵指挥学院程控教研室 430012

摘 要: 本文利用描述 SOA 的一个集总模型, 对 4 种基于 SOA 中 FWM 效应的波长变换器的输出功率和输出 SNR 进行了比较。结果表明, 对于合理的插入损耗, 当这 4 种结构的输入功率相同、并且产生相同的频移时, 泵浦光与信号光偏振方向不同的结构具有最高的输出 SNR; 在系统允许的相同的最小输出 SNR 条件下, 这种结构具有最大的频率可调范围。
关键词: 波长变换器 四波混频 半导体光放大器

引言

全光波长变换器具有严格透明、对偏振不敏感、充分可调、高信噪比、低衰减的特性, 将在未来的光波系统中占有重要地位。充分可调的全光透明波长变换器是指在输入输出波长间隔较大时仍能得到可以接受的 SNR 以及较小的衰减。目前已研制出的基于电光晶体中的差频振荡(DFG)和光纤中的 FWM 效应的全光波长变换器都具有较大的波长变换范围, 但由于相位匹配的要求, 限制了它们的转换效率, 目前这些技术还不能提供充分的可调性。基于 SOA 中的 FWM 机制可以实现较大范围内的泵浦可调, 但其变换效率和输出 SNR 会随着变化范围的增加而减小。对于一个给定的系统可以接受的 SNR, SOA 中 FWM 的变换范围受到了限制。也就是说, SOA 中 FWM 也不能实现充分可调, 但其相对较宽的泵浦可调范围使 SOA 中 FWM 波长变换技术成为主要的全光透明波长变换技术。目前已证实, 使用两个同向偏振泵浦、两个正交偏振泵浦及单泵浦情况下基于 SOA 中的 FWM 效应都可以实现波长变换。本文通过对 4 种机制的波长变换器的输出 SNR 进行比较, 提出了提高可调能力的方案。

1 各种情况的变换光输出功率

为了简化分析, 将 SOA 简单地等效为一个集总的可饱和增益, 后面接一个集总的三阶非线性的模型^[6], 如图 1 所示。这里假设 SOA 的增益与偏振方向无关, 即 $G_x=G_y=G$ 。下面分 4 种情形讨论经变换以后的输出光功率。

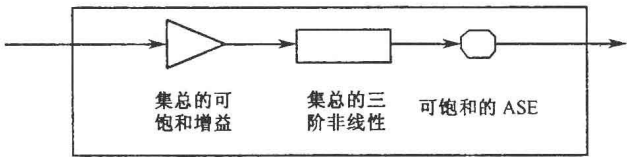


图 1 SOA 中 FWM 的集总模型

(1) 采用一个与信号光同向偏振的泵浦光的情形

根据 FWM 效应, 利用上述集总模型, 频率为 $2\omega_L - \omega_s$ 的变换光的输出功率可表示为

$$P_{out}(2\omega_L - \omega_s) = S \cdot L^2 \cdot G^3 \cdot R(\omega_L - \omega_s) \quad (1)$$

式中 S 为信号光功率, L 为泵浦光功率, G 为 SOA 的增益, 脚标 L 和 S 分别表示泵浦光和信号光, R 是相对转换效率函数, 它只与各种带内和带间 FWM 机制的饱和功率和弛豫时间常数有关。在强的增益饱和条件下, 可以认为 R 与 SOA 的输入功率和驱动电流有关, 并且在一定的增益和输入功率范围内, R 的变化不大。

(2) 同向偏振泵浦的 FWM

图 2(a)给出了采用同向偏振、频率分别为 ω_1 和 ω_2 的两个泵浦的 FWM 结构。两个泵浦光和信号光一起注入只有一个 SOA 的混合器。在混合器的输入端, 泵浦光功率为 L_1 和 L_2 , 信号光功率为 S 。混合器输入端的偏振状态如图 2(b)所示, 泵浦光是同向的, 与 SOA 的一个导波模式相一致。为了简化, 下面均假设信号光是线偏振的, 与 SOA 的一个导波模式的夹角为 θ 。根据集总模型, 可以得到频率为 $\omega_1 - \omega_2 + \omega_s$ 的变换光的输出功率为

$$P_{out} = SL_1L_2G_X^2 \{G_X \cos^2 \theta \cdot |r(\omega_1 - \omega_2) + r(\omega_s - \omega_2)|^2 + G_Y \sin^2 \theta \cdot R(\omega_1 - \omega_2)\}$$

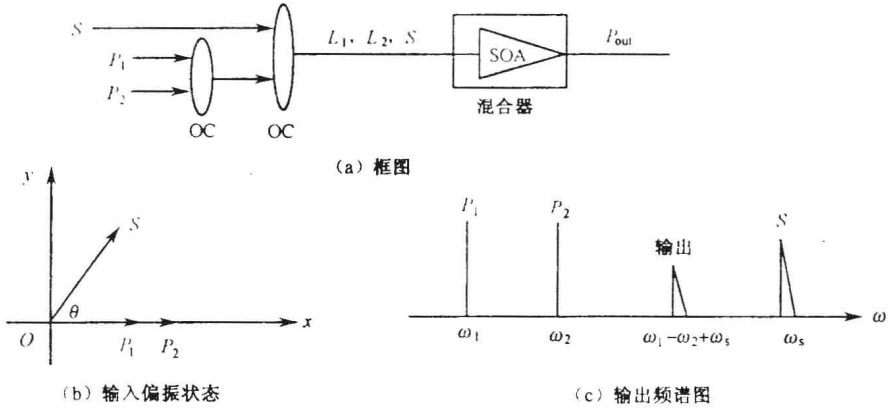


图 2 同向偏振泵浦 FWM 结构图

假设 SOA 的增益与偏振无关, 即 $G_X = G_Y = G$, 在 $|\omega_1 - \omega_2| \ll |\omega_s - \omega_2|$ 时, 有 $|r(\omega_1 - \omega_2)| \gg |r(\omega_s - \omega_2)|$ 成立, 因而上式可简化为

$$P_{out} = SL_1L_2G^3R(\omega_1 - \omega_2) \quad (2)$$

(3) 正交泵浦的 FWM

正交泵浦的 FWM 机制与同向泵浦具有相同的结构。混合器输入端的偏振状态如图 3(a)所示, 两泵浦光是正交偏振的, 与波导模式一致, 图 3(b)是混合器输出端光谱图, 在这种机制中研究频率为 $\omega_1 + \omega_2 - \omega_s$ 的光。由集总模型得到混合器输出端在此频率上变换光的输出光功率为

$$P_{out} = SL_1L_2G_XG_Y \{G_X \cos^2 \theta \cdot R(\omega_1 - \omega_s) + G_Y \sin^2 \theta \cdot R(\omega_2 - \omega_s)\}$$

如果 SOA 的增益与偏振无关, 并且 $R(\omega_1 - \omega_s) \approx R(\omega_2 - \omega_s)$, 上式为

$$P_{out} = SL_1L_2G^3R(\omega_1 - \omega_s) \quad (3)$$

(4) 单泵浦时泵浦光与信号光偏振方向不同的 FWM

图 4(a)是单泵浦时泵浦光与信号光偏振方向不同的 FWM 结构图。泵浦光和信号光在混合器的输入端耦合在一起。混合器包含两个偏振光束分路器 PBS1 和 PBS2, SOA X 和 SOA Y。

从图 4(b)中可以看出泵浦光偏振方向与 PBS1 主轴成 45° ，与 SOA 的一个波导模式相一致的泵浦场与同向偏振的信号场同时进入 SOA。图 4(c)是 SOA 中产生的光频率为 $2\omega_1 - \omega_s$ 的变换光，这两个场在 PBS2 中合路，由于是正交的，因而不会产生拍频。

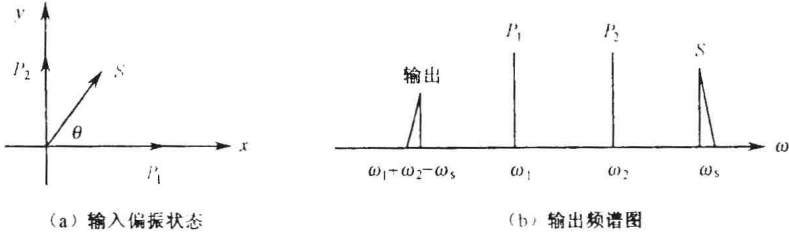


图 3 正交偏振泵浦的 FWM 结构图

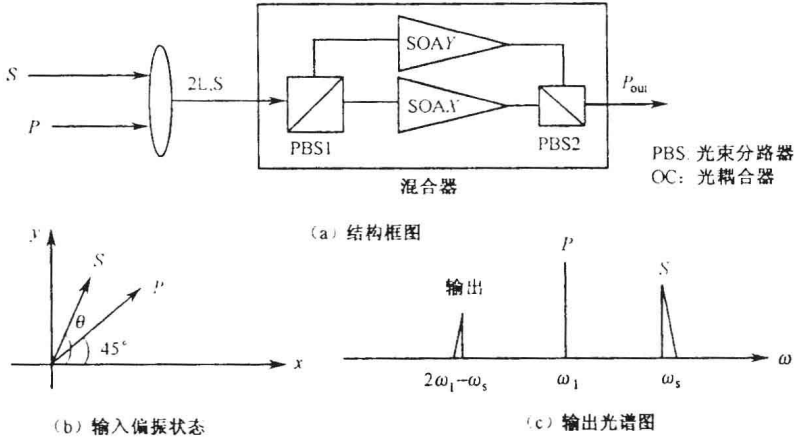


图 4 偏振变化的 FWM 机制

如果偏振分束器两个端口的通过率为 α ，在混合器输入端泵浦光和信号光功率均以 α 指数下降，并且在混合器输出端变换光也以 α 指数衰减，设混合器输入端总的泵浦功率为 $2L$ ，根据集总模型，利用 (7) 式和 (8) 式可得混合器输出端在 $2\omega_1 - \omega_s$ 处的光功率为

$$P_{out} = \alpha^4 SL^2 \{ G_A^3 \cos^2 \theta \cdot R_A(\omega_1 - \omega_s) + G_B^3 \sin^2 \theta \cdot R_B(\omega_1 - \omega_s) \}$$

如果两个放大器具有相同的增益和相同的转换效率函数，则

$$P_{out} = \alpha^4 SL^2 G^3 R(\omega_1 - \omega_s) \quad (4)$$

2 输出信噪比的比较

为了对各种机制的输出 SNR 进行比较，设泵浦功率 $L_1 = L_2 = L$ ，输入到混合器的总的泵浦光功率为 $2L$ ，信号光功率为 S ，且 $S \ll L$ 。假设输入信号的消光比无穷大，没有 ASE 噪声。各种机制中的混合器均由增益为 $G_X = G_Y = G$ 的 SOA 组成。混合器输出功率为 P_{out} 的变换光和由混合器 SOA 产生的功率谱密度为 W_{out} 的非偏振的 ASE 噪声。信号的信噪比定义为从信号中检测到的功率与由于信号自发产生的拍噪声引起的光电流变化的比值^[5]，即

$$SNR = \frac{P_{out}}{2 \cdot \Delta f \cdot W_{out}} \quad (5)$$

式中， Δf 是接收机的等效噪声带宽，上式考虑了只有偏振方向与 P_{out} 平行的 ASE 噪声对信

号自发产生的拍噪声起作用。

在一定输入功率范围内，SOA 的增益达到饱和时为^[3]

$$G = aP_{\text{tot}}^{-\gamma} \quad (6)$$

SOA 中 ASE 噪声功率谱密度 W 达到饱和时为

$$W = bP_{\text{tot}}^{-\beta} \quad (7)$$

式中， a 和 γ 、 b 和 β 是常数， P_{tot} 为总的输入功率，上式仅适用于中等输入功率，对于高输入功率是不正确的。

当 $S \ll L$ 时，由集总模型并利用(1)和(6)式可以得到 $P_{\text{out}} \propto L^{2-3\gamma}$ ，利用(7)式得到 $W_{\text{out}} \propto L^{-\beta}$ ，联合这两个式子与(5)式可得

$$\text{SNR} \propto L^{2+\beta-3\gamma} \quad (8)$$

由此可以看到，在 $\gamma < 2/3$ 时，提高泵浦功率可以提高输出功率，并且 ASE 噪声功率下降，从而可以提高信噪比。

利用(5)~(7)式和 P_{out} 的表达式，并根据集总模型可以得到，单泵浦(sp)(信号光与泵浦光偏振方向相同)的 FWM、同向偏振泵浦(cp)FWM、正交偏振泵浦(op)的 FWM 和单泵浦时信号光与泵浦光偏振方向不同(pd)的 FWM 的输出信噪比如下所示。

单泵浦同向偏振的 FWM:

$$\text{SNR}_{\text{sp}} = X \cdot R(\Delta\omega/2) \cdot 2^{\beta-3\gamma+1} \quad (9)$$

同向泵浦 FWM:

$$\text{SNR}_{\text{cp}} = X \cdot R(\Delta\omega) \cdot 2^{\beta-3\gamma-1} \quad (10)$$

正交泵浦 FWM:

$$\text{SNR}_{\text{sp}} = X \cdot R(\Delta\omega/2) \cdot 2^{\beta-3\gamma-1} \quad (11)$$

单泵浦偏振方向不同的 FWM:

$$\text{SNR}_{\text{sp}} = X \cdot R(\Delta\omega/2) \cdot \frac{\alpha^{\beta-3\gamma+3}}{2} \quad (12)$$

$$X = L^{2+\beta-3\gamma} \frac{Sa^3}{b \cdot \Delta f} \quad (13)$$

(12) 式考虑了 PBS2 偏振对 SOA 的 ASE 的影响。 $\Delta\omega$ 为输出变换光频率与信号光频率之差。

在 SOA 的输入功率、增益、ASE 功率谱密度均相同的情况下，由(9)式和(11)式可以看出，在产生相同频移的结构中，信号光与泵浦光偏振方向相同的单泵浦 FWM 结构的输出信噪比较大，比正交偏振泵浦结构的输出 SNR 要大 6 dB。在两种结构中，光频率变化 $\Delta\omega$ 所需的载流子浓度拍频均为 $\Delta\omega/2$ 。由(10)式和(11)式可以看出，正交偏振结构的输出 SNR 与同向偏振时 SNR 的比值为 $R(\Delta\omega/2)/R(\Delta\omega)$ 。然而，对于正交偏振结构，光频率变换 $\Delta\omega$ 所需的载流子浓度拍频为 $\Delta\omega/2$ ，对于同向偏振泵浦结构载流子浓度拍频为 $\Delta\omega$ 。由于相对转换效率函数 $R(\Delta\omega)$ 随变换范围 $\Delta\omega$ 的增加而减小，因此正交偏振泵浦的转换效率及输出 SNR 高于同向偏振结构。

由(11)式和(12)式可以得到集总模型中泵浦光与信号光偏振方向不同的结构与正交泵浦结构的输出 SNR 的比率为

$$\frac{\text{SNR}_{\text{pd}}}{\text{SNR}_{\text{op}}} = \frac{\alpha^{\beta-3\gamma+3}}{2^{\beta-3\gamma}} \quad (14)$$

因此，当 $a > a_{\min}$ ($a_{\min} = 2^{\beta-3\gamma/(\beta-3\gamma+3)}$) 时，泵浦光与信号光偏振方向不同的结构的输出 SNR