

圖書在版編目 — 建議數據

無線光通信 / 柯熙政 柯程虎 吳加麗 著. — 澳門:

澳門科學出版社, 2026.08

ISBN 978-99996-49-80-3

I. ①無… II. ①柯…②柯…③吳… III. ①無線光通信

IV. ① TN929.1

依據《中國圖書分類法》提供分類參考數據。

無線光通信

柯熙政 柯程虎 吳加麗 著

ISBN 978-99996-49-80-3

責任編輯: 彭 俊

責任校對: 何幸祉

裝幀設計: 何幸祉

出版發行: 澳門科學出版社

地 址: 澳門南灣大馬路恒昌大廈 11 樓 F 座

網 址: <https://www.mospbs.com>, <https://moaj.mospbs.com>

總 機: +853-62961666

印裝公司: 澳門翰林出版集團有限公司

開 本: 787mm×1092mm 1/16 印 張: 30.25

字 數: 556 千字 印 數: 1~3000

版 次: 2026 年 08 月第 1 版

印 次: 2026 年 08 月第 1 次印刷

如有缺損質量問題, 請聯繫本社銷售中心

版權所有, 違者必究

作者介绍



柯熙政

柯熙政院士是無線光通信領域著名專家，俄羅斯自然科學院外籍院士，陝西省教學名師，中國電子學會會士，陝西省智慧協同網路軍民融合共建重點實驗室副主任，國家科技獎勵評審專家，陝西省第三屆學位委員會學科評議組成員。二十多年來積極探索、不畏前行；在教書育人的道路上默默耕耘、不忘使命。2001 年以來獲得省部級科技獎勵 20 項，獲得國家授權發明專利 50 多項，其中《無線光通信》以中文、日文、阿拉伯語、葡萄牙語等多種文字出版發行，在科學出版社和施普林格出版社出版專著 30 餘部，發表學術論文 500 多篇，是《電子學報》等 10 餘個期刊編委，在中國電子學會等 10 餘個學術團體兼職，在電子資訊學界享有盛譽。

作者介绍



柯程虎

男，中共黨員、博士，副教授，碩士生導師。陝西省電源學會常務理事、陝西省電源學會副秘書長、陝西省光學學會會員、中國國際經濟技術合作促進會專家庫專家，西安文理學院無線光通信及其組網技術院士工作站主任、科研團隊負責人。參與國家自然科學基金多項，主持陝西省自然科學基礎研究計畫、陝西省數理基礎科學研究專案和西安市科技計畫—各 1 項以及企業課題多項；曾獲陝西省科學技術獎 2 項、陝西省高等學校科學技術獎 1 項；在《中國科學》等期刊發表學術論文 29 篇，其中 18 篇被 SCI/EI 等檢索；在科學出版社等出版專著 / 教材 6 部；指導省級以上大創 3 項；指導學生參加 A/B 類學科競賽獲獎勵數十項，其中中國國際大學生創新大賽國家級銅獎 1 項。

作者介绍



吳加麗

女，漢族，中共黨員。1994 年 3 月生，陝西興平人，2023 年畢業於西安理工大學，獲工學博士學位，西安文理學院講師，陝西省光學學會會員，主要研究方向為光束傳輸與補償技術、自適應光學。主持西安市科技計畫「文理專項」1 項，參與國家自然科學基金 1 項，陝西省重點產業鏈專案 1 項，企業委託專案 2 項；發表論文 15 篇，其中 SCI/EI 檢索 13 篇，科學出版社合著出版學術專著 1 部，授權國家發明專利 4 項，登記軟體著作權 2 項；指導本科生獲得第十八屆 iCAN 大學生創新創業大賽西北賽區一等獎，中國國際大學生創新大賽（2024）陝西省金獎，獲得廣東省光電技術協會科學技術獎一等獎 2 項，第 26 屆廣州國際照明展覽會阿拉丁神燈最佳技術獎 1 項。

前言

以光為資訊載體的無線光通信技術具有高頻寬、低延遲、傳輸速率高以及頻譜範圍寬的優點，依據光傳輸通道不同，無線光通信可分為紫外光通信、可見光通信以及水下光通信等。惟通道環境對光傳輸影響甚鉅，如何抑制與補償通道環境對雷射傳輸造成之影響，向來是無線光通信領域之研究重點。本書共計十章，針對無線光通信原理進行完整詳細之介紹，內容主要涵蓋無線光通信基礎原理、光訊號之編碼調變、各類光通道傳輸特性、捕獲對準追蹤技術，並針對部分相干光傳輸原理與未來通信技術展開完整深入之論述。本書內容為作者受聘西安文理學院榮譽教授期間之研究成果，同時亦為西安文理學院西安市無線光通信及其組網技術院士工作站之系列研究成果，謹此感謝西安文理學院為本書順利出版提供各項資源協助與鼎力支持。本書相關研究工作承蒙國家自然科學基金計畫(61377080)、陝西省重點產業創新專案(2017 ZDCXL-GY-06-01)、陝西省自然科學基礎研究計畫專案(2024JC-YBMS-562)、陝西數理基礎科學研究專案(23JSQ024)經費補助，特此致謝。感謝本書參考文獻所列之各位作者，以及未納入參考文獻之列的相關研究人員，諸位先進之研究成果提供作者極大啟發。

目录

第 1 章 無線光通信系統

1.1 無線光通信模型	1
1.2 激 光 光 源	4
1.3 半導體激光器和光電探測器的響應特性	11
1.4 表面等離激元	24
1.5 結 論	28
1.6 光 放 大 器	31
1.7 空間光 – 光纖耦合技術	37
1.8 光學天線與望遠鏡	41
1.9 總結與展望	48
思 考 題 一	49
習 題 一	49

第 2 章 相干光通信

2.1 相干光通信的基本原理	58
2.2 相干調製與解調	67
2.3 影響檢測靈敏度的因素	75

2.4 光外差檢測的空間相位條件	78
2.5 自適應光學波前畸變校正	83
2.6 總結與展望	94
思考題二	95
習題二	95

第3章 調製、解調與編碼

3.1 調制技術	101
3.2 外調制技術	103
3.3 逆向調制	114
3.4 類脈衝位置調製	122
3.5 光源直接調製	131
3.6 副載波強度調製	139
3.7 正交頻分複用	146
3.8 空時編碼	154
3.9 非正交多址	160
3.10 軌道角動量複用通信	163
3.11 信道編碼	168
3.12 總結與展望	172
思考題三	173
習題三	174

第 4 章 大氣信道、信道估計與信道均衡

4.1 大氣衰減效應	180
4.2 大氣湍流模型	186
4.3 分集接收	201
4.4 信道估計	203
4.5 信道均衡	205
4.6 大氣湍流對於誤碼率的影響	209
4.7 信道容量界	213
4.8 湍流對光傳輸的影響	220
4.9 總結與展望	227
思考題四	228
習題四	228

第 5 章 白光 LED 通信與組網

5.1 LED 發光原理	235
5.2 車聯網環境可見光通信系統的背景光雜訊模型	240
5.3 可見光通信系統乘性噪聲模型	246
5.4 光源最優化佈局	249
5.5 室內可見光信道	251
5.6 接收機與檢測技術	255
5.7 可見光通信的上行鏈路	259
5.8 可見光通信定位技術	261

5.9 室內混合 VLC/RF 通信系統	263
5.10 可見光異構網絡	270
5.11 OWC/RF-THz 混合中繼通信系統	273
5.12 可見光定位 + 慣導的組合導航	277
5.13 板間無線光通信	281
5.14 總結與展望	286
思考題五	287
習題五	287

第 6 章 水下光通信

6.1 概述	295
6.2 水下激光通信系統	296
6.3 激光對潛通信	298
6.4 複眼接收天線	303
6.5 發射端恆流驅動	310
6.6 光在海水中的傳輸特性	314
6.7 非直視傳輸	321
6.8 水下湍流對激光傳輸性能的影響	333
6.9 總結與展望	348
思考題六	349
習題六	349

第 7 章 紫外光通信

7.1 紫外光及其信道特性	354
7.2 紫外光非直視傳輸特性	359
7.3 日盲紫外光非直視通信組網	363
7.4 紫外光背景噪聲模型	367
7.5 紫外光通信路徑損耗模型	378
7.6 總結與展望	389
思考題七	390
習題七	390

第 8 章 捕獲、瞄準和跟蹤技術

8.1 APT 系統	391
8.2 自動捕獲	395
8.3 自動跟蹤	404
8.4 發射 – 接收端非共光軸快速對準	408
8.5 總結與展望	418
思考題八	419
習題八	419

第 9 章 部分相干光傳輸

9.1 光束的基本參數	423
9.2 部分相干光模型	432
9.3 光束在大氣湍流中的傳輸	437

9.4 部分相干光探測	455
9.5 總結與展望	461
思考題九	462
習題九	462

第 10 章 未來的通信技術

10.1 X 射線空間通信	469
10.2 軌道角動量複用通信	476
10.3 中微子通信	485
10.4 引力波通信	489
10.5 太赫茲波通信	492
10.6 總結與展望	499
思考題十	500
習題十	500

第1章 無線光通信系統

光通信是以光波為載波的通信方式。光通信可以有波導，也可以沒有波導。光纖通信就是光沿着波導（光纖）傳輸。無線光通信不需要波導，光在自由空間傳輸。無線光通信，即自由空間光通信(free-space optical, FSO)融合了光纖通信與微波通信的優點，通信容量大又不需要鋪設光纖，也無須頻譜許可。本章介紹無線光通信系統的模型以及基本概念。

1.1 無線光通信模型

無線光通信端機由光學天線(望遠鏡)、激光收發器、信號處理單元、自動跟瞄系統等部分組成。發送器的光源採用激光二極管(laser diode, LD, 也稱為半導體激光器)或LED(Light-Emitting Diode, LED, 發光二極管), 接收器主要採用PIN或APD(avalanche photo diode, 雪崩二極管)。無線光通信模型如圖 1.1 所示。

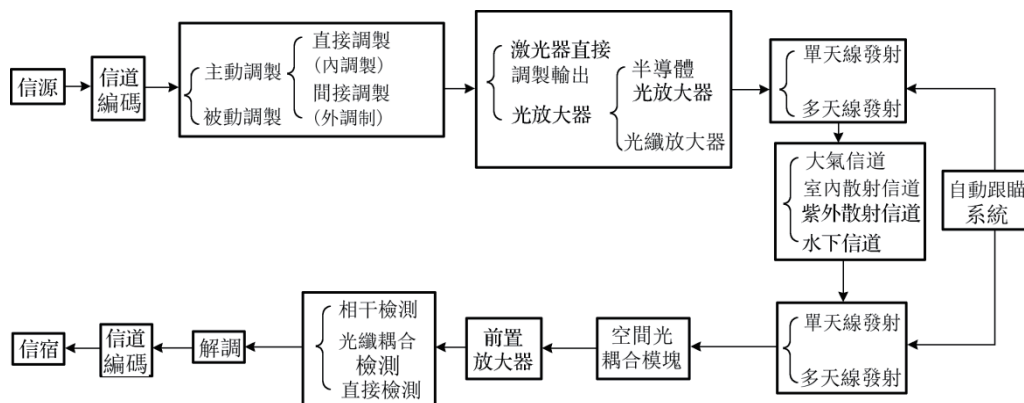


圖 1.1 無線光通信模型

1.1.1 發射機

將信源產生的某種形式的信息(如時變的波形、數字符號等)調製到光載波上,載波(稱為光束或光場)通過大氣或自由空間發射出去,這就是發射機。發射機包括信道編碼、信源編碼、調製、光信號放大以及發射天線。

信道編碼的過程是在源數據碼流中加插一些冗餘碼元,從而達到在接收端進行判錯和糾錯的目的。降低誤碼率是信道編碼的基本任務。信道編碼的本質是增加通信的可靠性,但由於加入了冗餘而使有用的信息數據傳輸率降低。

調製是信號的變換過程,是按編碼信號的特徵改變光信號的某些特徵值(如振幅、頻率、相位等)並使其發生有規律(這個規律是由信源信號本身的規律所決定的)的變化。這樣光信號就攜帶了信源信號的相關信息。調製的目的是便於信息在信道中傳輸。

調製可以分為主動調製與被動調製。如果光源和調製信號同在發射端,就是主動調製;如果光源和調製信號不在同一端,就是被動調製,也稱為逆向調製(modulating retro-reflector, MRR)。如果對激光器電源進行調製,則稱為直接調製;如果對激光器發出的波束進行調製,則稱為間接調製,也稱為外調制。

如果通信距離要求較遠,激光器直接輸出的光功率不足,則採用光放大器對光信號進行放大。光放大器有半導體光放大器和光纖放大器。

2019

历史机遇 · 打造交流合作基地

Historic Opportunity · Build Communication And Cooperation Bases

· 粤港澳大湾区 · 发展规划纲要

解读2019年新发布《粤港澳大湾区发展规划纲要》

★★★★

大湾区规划 · Introduction

《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确了澳门“一个中心、一个平台、一个基地”的三个定位，即：建设世界旅游休闲中心、中国与葡语国家商贸合作服务平台，**打造以中华文化为主流、多元文化共存的交流合作基地。**

It further clarified the three orientations of "one center, one platform and one base" of Macao, namely, to build a world tourism and leisure center, a business and trade cooperation service platform between China and Portuguese-speaking countries, and to build an exchange and cooperation base with Chinese culture as the mainstream and multicultural coexistence.

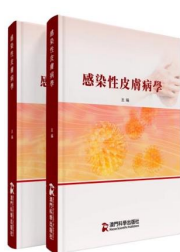


全球发行 · Publishing worldwide



由于国内自费书没有实际销售，出版社不会实际发行，属于非正式出版物，因此国内自费书绝大部分是属于非正式出版物。国际出版即便在没有销售市场的情况下也可以在海外发行上架。世界上其他地方（包括中国）的读者可以通过海外电商平台进行订购和销售。

Since there is no market for self-funded books in mainland China, mainland publishing houses will not actually issue them, so most of self-funded books in the Mainland are informal publications.



- 呼吸系统基本基础与临床 Fundamentals and clinic of respiratory diseases
- 临床肿瘤护理学 Clinical oncology nursing
- 感染性皮肤病学 Infectious dermatology
- 内分泌系统疾病 Endocrine system disease



- 实用小儿内科学 Practical pediatric internal medicine
- 消化系统疾病诊疗学 Diagnosis and treatment of digestive system diseases
- 现代中医诊断学 Modern diagnostics of traditional chinese medicine
- 皮肤修复与再生 Skin repair and regeneration

出版流程 · Publishing Process

出版流程快速简便，在填写基本信息、签订合同并支付费用后，IBPC将原始内容进行校对、排版及封面设计；在经过多次校对后，提交申请国际书号；可根据实际需求进行印刷和馆藏存档，最后上架发行。全程专人沟通指导，以极高性价比的方式出版属于自己的作品。

The publishing process is simple and convenient, after filling in the basic information, signing the contract and paying the fee, IBPC will conduct proofreading, typesetting and cover design. After multiple proofreading, submit the ISBN application. According to the actual needs, we will arrange printing and collection archiving, and finally put on the shelves and issued.

检索服务 · Retrieval Service

IBPC的检索服务可提供出版物国际注册文件及出版物所在地的图书馆检索证明，为作者提供证明文件支撑。同时，优秀图书将推荐至国际数据库中收录，提升出版物的认可度。

IBPC can provide retrieval service including the registration documents and the library search certificate. Meanwhile, excellent books will be recommended for inclusion in authoritative databases to enhance the recognition of publications.

销售协议 · Sales Agreement

作者签订销售合作协议后，IBPC可提供多种上架渠道，包括官网、京东、天猫、亚马逊、当当网等平台，可销售纸质印本与电子图书等形式，并按照合作协议进行利润分成。

After the author signs the sales agreement, IBPC can provide a variety of sales channels, such as the official website, JD & T-mall overseas Purchase, Amazon and other platforms, printed paper and electronic books are available, and the authors share the profits according to the sales agreement.



填写信息
Information Filling



签订合同
Contract Signing



支付费用
Payment



提交书稿
Submitting



内容校对
Proofreading
内容排版
Content Layout
封面设计
Cover Design



申请书号
ISBN Apply



印刷出版
Printing



馆藏存档
Archives



上架发行
Publication

澳门科学出版社 MOSP

“以服务青少年及青年科学才俊为己任，
打造国际性的科学技术交流平台”

正规国际出版，首选澳科出版

- 学术著作/个人作品 - 优质
- 中华“强国文化”输出战略 - 翻译后国际出版
- 数字教材 - 教材出书 & 数字化媒体上线

所有优质内容，均可申请出版减免资助。

所有澳门本土内容，均可申请出版减免资助；

澳门总部

电话：0853-62961666（澳门）

邮件：book@mospbs.com

地址：中国澳门南湾大马路恒昌大厦F座11楼

网址：www.mospbs.com（英文）| moaj.mospbs.com（中文）

特别提醒：MOSP所有业务均有出版社的正规盖章合同，
若有任何疑问，可联系出版社编辑确认。