

图书在版编目—建议数据

无线光通信 / 柯熙政 柯程虎 吴加丽 著. —澳门:

澳门科学出版社, 2026.08

ISBN 978-99996-49-85-8

I. ①无… II. ①柯…②柯…③吴… III. ①大气光通信 (自由空间光通信 / 无线光通信 FSO)

IV. ① TN929.12

依据《中国图书馆分类法》提供分类参考数据。

无线光通信

柯熙政 柯程虎 吴加丽 著

ISBN 978-99996-49-85-8

责任编辑: 彭 俊

责任校对: 何幸宜

装帧设计: 何幸祉

出版发行: 澳门科学出版社

地 址: 澳门南湾大马路恒昌大厦 11 楼 F 座

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

总 机: +853-62961666

印装公司: 澳門翰林出版集團有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印 张: 34.5

字 数: 661 千字 印 数: 1~3000

版 次: 2026 年 08 月第 1 版

印 次: 2026 年 08 月第 1 次印刷

如有缺损质量问题, 请联系本社销售中心。

版权所有, 违者必究

マカオ科学出版

住所: 中国マカオ、南湾街、恒昌ビルディング 11 階 〒 999078

ウェブサイト: www.mospbs.com | moaj.mospbs.com

お問い合わせ: book@mospbs.com

本書は著作権法により保護されています。法令上の例外規定または関連する集管理団体の定め
に別段の定めがある場合を除き、本書のいかなる部分も、マカオ科学出版の書面による許可なく複
製することを固く禁じます。

マカオ科学出版の出版プロセスに関する詳細は、公式ウェブサイト(<https://www.mospbs.com/>)をご
覧ください。/

Copyright © マカオ科学出版 All rights reserved

光無線通信

ハードカバー

総文字数: 661,323 文字

初版: 2026 年 8 月

発行: マカオ科学出版 (MOSP)

印刷: 漢林出版グループ (中国マカオ)

印刷日: 2026 年 8 月

ISBN 978-99996-49-85-8



本書の品質に関するお問い合わせは、book@mospbs.com までご連絡ください

著者紹介



柯熙政

柯熙政氏は、光無線通信分野の著名な専門家である。ロシア自然科学アカデミー外国人会員、陝西省教学名師、中国電子学会フェローを務める。また、陝西省インテリジェント協調ネットワーク軍民融合共同設置重点実験室副主任、国家科学技術賞審査専門家、陝西省第3期学位委員会分野別審議部会委員でもある。20年以上にわたり、困難を恐れず研究を進める一方、教育の現場でも使命を忘れず、地道な努力を重ねてきた。2001年以降、省・部級科学技術賞を20件受賞し、国家認可発明特許を50件以上取得している。著書『光無線通信』は、中国語、日本語、アラビア語、ポルトガル語など多言語で刊行されている。科学出版社およびシュプリンガー社から学術書を30点以上刊行し、学術論文を500編以上発表した。『電子学報』など10誌以上の編集委員を務め、中国電子学会をはじめとする10以上の学術団体で役職を兼任している。電子情報分野で高い評価を得ている。

著者紹介



柯程虎

男性、中国共産党員、博士、准教授、修士課程指導教員。陝西省電源学会常務理事、同学会副事務局長、陝西省光学学会会員、中国国際経済技術合作促進会の専門家データベース登録専門家を務める。また、西安文理学院「光無線通信およびネットワーク化技術院士ワークステーション」の主任であり、研究チームの責任者でもある。中国国家自然科学基金の複数のプロジェクトに参加し、陝西省自然科学基礎研究計画、陝西省数理基礎科学研究プロジェクト、西安市科学技術計画を各1件、ならびに複数の企業研究課題を研究代表者として担当した。陝西省科学技術賞を2件、陝西省高等学校科学技術賞を1件受賞している。『中国科学』などの学術誌に論文29編を発表し、そのうち18編がSCI、EIなどに収録されている。科学出版社などから学術書・教科書6点を刊行した。省級以上の大学生イノベーション・起業訓練プロジェクト3件を指導したほか、学生をA・B類学科コンテストに導き、数十件の受賞実績を上げている。その中には、中国国際大学生イノベーションコンテストの国家級銅賞1件が含まれる。

著者紹介



吴加丽

女性、漢族、中国共産党員。1994年3月生まれ、陝西省興平市出身。2023年に西安理工大学を修了し、博士（工学）の学位を取得した。現在は西安文理学院講師、陝西省光学学会会員であり、主な研究分野は光ビームの伝搬・補償技術および補償光学（アダプティブ・オプティクス）である。西安市科学技術計画「文理特別枠」1件を研究代表者として担当し、中国国家自然科学基金1件、陝西省重点産業チェーンプロジェクト1件、企業委託研究2件に参加した。論文15編を発表し、そのうち13編がSCIまたはEIに収録されている。科学出版社から共著の学術書1点を刊行した。中国国家発明特許4件を取得し、ソフトウェア著作権2件を登録している。指導した学部学生は、第18回iCAN大学生イノベーション・起業コンテスト西北地区一等賞、中国国際大学生イノベーションコンテスト（2024）陝西省金賞を受賞した。また、広東省光電技術協会科学技術賞一等賞2件、第26回広州国際照明展覧会「阿拉丁神灯」最優秀技術賞1件を受賞している。

まえがき

光を情報の搬送媒体とする光無線通信技術は、広帯域、低遅延、高速伝送、広いスペクトル範囲を利用できることなどの特長を備えている。光伝送チャネルの違いにより、光無線通信は紫外線通信、可視光通信、水中光通信などに分類される。一方、チャネル環境は光伝送に大きな影響を及ぼす。そのため、チャネル環境がレーザー光伝送に及ぼす影響をどのように抑制し、補償するかは、光無線通信研究における重要な課題であり続けている。

本書は全10章で構成され、光無線通信の原理を詳しく解説する。主な内容は、光無線通信の基礎原理、光信号の符号化・変調、各種光チャネルの伝送特性、捕捉・指向・追尾 (APT) 技術である。さらに、部分コヒーレント光の伝送原理および将来の通信技術についても詳しく論じる。

本書は、著者が西安文理学院の荣誉教授として招聘されていた期間に進めた研究をまとめたものであり、同学院の「西安市光無線通信およびネットワーク化技術院士ワークステーション」における研究成果でもある。本書の円滑な刊行にあたり、さまざまな便宜と支援を提供してくださった西安文理学院に深く感謝申し上げる。

本書に関する研究は、中国国家自然科学基金プロジェクト (61377080)、陝西省重点産業イノベーションプロジェクト (2017 ZDCXL-GY-06-01)、陝西省自然科学基金基礎研究計画プロジェクト (2024JC-YBMS-562)、陝西省数理基礎科学研究プロジェクト (23JSQ024) の助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

本書で引用した文献の著者各位、ならびに参考文献には収録できなかった研究者各位の貢献に感謝申し上げます。これらの研究成果は、著者に多くの深い示唆を与えた。

著者の知識と力量には限りがあるため、本書には不備や不適切な点が残されている可能性がある。読者諸賢からご批判とご指摘を賜れば幸いである。

目 录

第 1 章 光無線通信システム

1.1	光無線通信モデル	1
1.2	レーザ光源	5
1.3	半導体レーザおよび光検出器の応答特性	12
1.4	表面プラズモンポラリトンポラリトン	25
1.5	信号検出	29
1.6	光増幅器	32
1.7	自由空間光 – 光ファイバカップリング技術	39
1.8	光学アンテナと望遠鏡	43
1.9	まとめと今後の課題	51
1.10	思考問題 一	51
1.11	演習問題 一	52

第 2 章 コヒーレント光通信

2.1	コヒーレント光通信の基本原理	62
-----	----------------	----

2.2	コヒーレント変調と復調	71
2.3	検出感度を影響する要因	79
2.4	光ヘテロダイン検波の空間位相条件	81
2.5	適応光学による波面歪み補正	86
2.6	まとめと今後の課題	97

第3章 変調、復調と符号化

3.1	変調技術	105
3.2	外部変調技術	108
3.3	逆変調	120
3.4	パルス位置変調系	126
3.5	光源の直接変調	136
3.6	サブキャリア強度変調	145
3.7	直交周波数分割多重方式	153
3.8	時空間符号化	161
3.9	非直交多元接続	167
3.10	軌道角運動量多重通信	170
3.11	チャネル符号化	175
3.12	まとめと今後の課題	181
3.13	思考問題三	181
3.14	演習問題三	182

第4章 大気チャネル、チャネル推定とチャネル等化

4.1 大気減衰効果	189
4.2 大気乱流モデル	196
4.3 ダイバーシチ受信	212
4.4 チャネル推定	214
4.5 チャネル等化	217
4.6 大気乱流が誤り率に与える影響	222
4.7 チャネル容量の限界	225
4.8 乱流が光伝搬に及ぼす影響	232
4.9 まとめと今後の課題	238
4.10 思考問題四	239
4.11 演習問題四	239

第5章 白色 LED 通信とネットワーク構築

5.1 LED の発光原理	248
5.2 車両ネットワーク環境における可視光通信システムの背景光雑音モデル	253
5.3 可視光通信システムにおける乗法性雑音モデル	259
5.4 光源配置の最適化	262
5.5 屋内可視光通信チャネル	265
5.6 受信機と検出技術	269
5.7 可視光通信のアップリンク	273
5.8 可視光通信位置技術	275

5.9	屋内混合 VLC/RF 通信システム	277
5.10	可視光異種ネットワーク	286
5.11	OWC/RF-THz ハイブリッド中継通信システム	291
5.12	可視光測位と慣性航法の統合ナビゲーション	295
5.13	ボード間無線光通信	298
5.14	まとめと今後の課題	304

第 6 章 水中レーザー通信

6.1	水中レーザー通信	313
6.2	水中レーザー通信システム	315
6.3	レーザーによる潜水通信システム	317
6.4	複眼受信アンテナ	322
6.5	送信端の定電流駆動	331
6.6	海水中における光の伝搬特性	336
6.7	見通し外伝搬	344
6.8	水中乱流がレーザー伝搬性能に与える影響	356
6.9	まとめと今後の課題	369

第 7 章 紫外線通信

7.1	紫外線およびそのチャネルの特性	375
7.2	紫外線見通し外伝搬特性	381
7.3	深紫外線見通し外通信ネットワーク	385

7.4	紫外線の背景雑音モデル	389
7.5	紫外線通信の伝搬損失モデル	404
7.6	まとめと今後の課題	415
7.7	思考問題七	416
7.8	演習問題七	416

第8章 捕捉、指向、および追尾 (APT) 技術

8.1	APT システム	419
8.2	自動捕捉	422
8.3	自動追尾	432
8.4	送信端 - 受信端の非共光軸高速指向	437
8.5	指向誤差が通信性能に及ぼす影響	442
8.6	まとめと今後の課題	447
8.7	思考問題 八	447
8.8	演習問題八	448

第9章 部分的コヒーレント光伝搬

9.1	光ビームの基本パラメータ	451
9.2	部分的コヒーレント光モデル	459
9.3	大気乱流中におけるビームの伝搬	464
9.4	部分的コヒーレント光の検出	484
9.5	まとめと今後の課題	489

9.6	思考問題九	489
9.7	演習問題九	490

第 10 章 未来の通信技術

10.1	X 線通信	497
10.2	軌道角運動量多重化通信	504
10.3	ニュートリノ通信	514
10.4	重力波通信	518
10.5	テラヘルツ波通信	523
10.6	まとめと今後の課題	532
10.7	思考問題十	532
10.8	演習問題十	533

第1章 光無線通信システム

光通信とは、光波をキャリアとして用いる通信方式であり、導波路を用いるものと用いないものに大別される。前者の代表例として光ファイバ通信があり、これは光が導波路（光ファイバ）を通じて伝送される方式である。一方、後者に分類される光無線通信は、導波路を介さず、光を自由空間中で伝送する通信方式である。光無線通信、すなわち自由空間光通信（Free-Space Optical, FSO）は、光ファイバ通信とマイクロ波通信の利点を兼ね備えた技術であり、大容量の通信が可能である一方、光ファイバの敷設を必要とせず、また周波数帯域の免許も不要である。本章では、光無線通信システムの基本的な構成モデルおよびその基礎概念について概説する。

1.1 光無線通信モデル

光無線通信の端末は、光学アンテナ（望遠鏡型光学系）、レーザ送受信器、信号処理ユニット、自動追尾システムなどで構成される。送信器の光源には LD (laser diode, レーザダイオード) または LED (Light-Emitting Diode, 発光ダイオード) が用いられ、受信器には主に PIN フォトダイオードまたはアバランシェフォトダイオード (avalanche photo diode, APD) が採用される。光無線通信の基本モデルを図 1.1 に示す。

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.

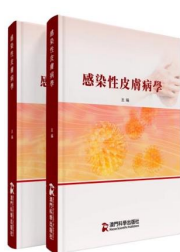


全球发行 · Publishing worldwide



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.



- 呼吸系統基本基礎與臨床 Fundamentals and clinic of respiratory diseases
- 臨床腫瘤護理學 Clinical oncology nursing
- 感染性皮膚病學 Infectious dermatology
- 內分泌系統疾病 Endocrine system disease



- 實用小兒內科學 Practical pediatric internal medicine
- 消化系統疾病診療學 Diagnosis and treatment of digestive system diseases
- 現代中醫診斷學 Modern diagnostics of traditional chinese medicine
- 皮膚修復與再生 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。