

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 978-99996-49-88-9

I. ①无… II. ①柯…②柯…③吴… III. ①无线光通信

IV. ① TN929.1

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 978-99996-49-88-9

责任编辑: 彭 俊

责任校对: 何幸祉

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: 澳门翰林出版集团有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印 张: 28.25

字 数: 672 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

Macao Scientific Publishers

Adresse: Block 11/F, Hengchang Building, Nanwan Avenue, Macao, 999078, China

Website: www.mospbs.com / moaj.mospbs.com

Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte: book@mospbs.com

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Sofern nicht anders angegeben durch gesetzliche Ausnahmen oder gemäß den Bestimmungen in den entsprechenden kollektiven Lizenzverträgen, ist jede Vervielfältigung von Teilen dieser Veröffentlichung ohne schriftliche Genehmigung der Macao Scientific Company strengstens untersagt.

Ausführliche Informationen zum Verlagsprozess bei Macao Scientific Publishers finden Sie auf unserer offiziellen Website <https://www.mospbs.com>.

Copyright © Macao Scientific Publishers. Alle Rechte vorbehalten.

Drahtlose optische Kommunikation

Hardcover

Wortanzahl: 672.486 Wörter

Erste Auflage: Aug 2026

Veröffentlicht von Macao Scientific Publishers (MOSP)

Gedruckt von der HanLin Publishing Group, Macao, China

Druckdatum: Aug 2026

ISBN 978-99996-49-88-9



Bei Qualitätsmängeln dieses Buches wenden Sie sich bitte an book@mospbs.com

AUTORENPORTRÄT



Ke Xizheng

Professor Ke Xizheng ist ein renommierter Experte auf dem Gebiet der drahtlosen optischen Kommunikation, ausländisches Mitglied der Russischen Akademie der Naturwissenschaften, Lehrmeister der Provinz Shaanxi, Fellow der Chinese Institute of Electronics, stellvertretender Direktor des gemeinsam von ziviler und militärischer Seite betriebenen Schlüssellabors für intelligente kooperative Netzwerke der Provinz Shaanxi, Gutachter für die National Science and Technology Awards sowie Mitglied der Disziplinprüfungsgruppe des dritten Akademischen Ausschusses der Provinz Shaanxi. Seit über 20 Jahren forscht er unermüdlich und engagiert sich mit großer Hingabe in der akademischen Lehre. Seit 2001 erhielt er 20 Auszeichnungen des Ministeriums für Wissenschaft und Technologie sowie über 50 nationale Erfindungspatente. Sein Werk *Wireless Optical Communications* wurde in mehreren Sprachen veröffentlicht, darunter Chinesisch, Japanisch, Arabisch und Portugiesisch. Er hat beim Science Press und beim Springer-Verlag über 30 Monografien veröffentlicht und mehr als 500 wissenschaftliche Arbeiten publiziert. Er ist Mitglied des Redaktionsbeirats von mehr als zehn Fachzeitschriften, darunter *Acta Electronica Sinica*, und engagiert sich ehrenamtlich in über zehn akademischen Gremien wie der Chinese Institute of Electronics. In der elektronischen Informationswissenschaft genießt er hohes Ansehen.

AUTORENPORTRÄT



Ke Chenghu

Männlich, Mitglied der Kommunistischen Partei Chinas, Doktor der Ingenieurwissenschaften, außerordentlicher Professor und Masterarbeitsbetreuer. Er ist geschäftsführendes Vorstandsmitglied der Shaanxi Power Supply Society, stellvertretender Generalsekretär der Shaanxi Power Supply Society, Mitglied der Shaanxi Optical Society, Experte im Expertengremium der China International Economic and Technological Cooperation Promotion Association, Leiter des Akademischen Arbeitskreises für drahtlose optische Kommunikation und Vernetzungstechnologien der Xi'an University of Arts and Science sowie Leiter des entsprechenden Forschungsteams. Er hat an mehreren Projekten der National Natural Science Foundation of China mitgewirkt und leitet jeweils ein Projekt der Natural Science Basic Research Program of Shaanxi Province, ein Projekt der Shaanxi Fundamental Mathematical and Physical Sciences Research sowie ein Projekt des Wissenschafts- und Technologieprogramms der Stadt Xi'an; darüber hinaus leitet er mehrere Unternehmensprojekte. Er wurde mit zwei Preisen des Shaanxi Provincial Science and Technology Award und einem Preis des Shaanxi Higher Education Science and Technology Award ausgezeichnet. Er hat 29 wissenschaftliche Arbeiten in Fachzeitschriften wie Science in China veröffentlicht, von denen 18 von SCI/EI erfasst wurden. Beim Science Press und anderen Verlagen hat er als Autor/Co-Autor sechs Monografien/Lehrbücher veröffentlicht. Er hat drei studentische Innovationsprojekte auf Provinzebene und darüber hinaus betreut und hat Studierende bei zahlreichen A/B-Kategorie-Wettbewerben zu Preisen geführt, darunter eine nationale Bronzemedaille beim China International College Students' Innovation Competition.

AUTORENPORTRÄT



Wu Jiali

weiblich, Angehörige der Han-Nationalität, Mitglied der Kommunistischen Partei Chinas. Geboren im März 1994 in Xingping, Shaanxi. Sie promovierte 2023 an der Xi'an University of Technology zum Doktor der Ingenieurwissenschaften und ist heute Dozentin an der Xi'an University of Arts and Science. Sie ist Mitglied der Shaanxi Optical Society und forscht schwerpunktmäßig zu Strahlausbreitungs- und Kompensationstechnologien sowie zur adaptiven Optik. Sie leitet ein Projekt des Wissenschafts- und Technologieprogramms der Stadt Xi'an (Schwerpunkt "Arts and Science Special") und hat an einem Projekt der National Natural Science Foundation of China, einem Projekt der industriellen Schlüsselketten der Provinz Shaanxi sowie zwei von Unternehmen beauftragten Projekten mitgewirkt. Sie hat 15 Arbeiten veröffentlicht, davon 13 von SCI/EI erfasst, und ist Mitautorin einer akademischen Monografie im Science Press. Sie verfügt über vier nationale Erfindungspatente und zwei registrierte Softwareurheberrechte. Sie hat Studierende zum ersten Preis in der Nordwest-China-Region beim 18. iCAN College Student Innovation and Entrepreneurship Competition geführt und einen Goldpreis in der Provinz Shaanxi beim China International College Students' Innovation Competition (2024) betreut. Sie wurde mit zwei ersten Preisen des Science and Technology Award der Guangdong Optoelectronic Technology Association sowie mit dem "Aladdin God Lamp Best Technology Award" der 26. Guangzhou International Lighting Exhibition ausgezeichnet.

INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel 1 Drahtloses optisches Kommunikationssystem

1.1	Modell der drahtlosen optischen Kommunikation	1
1.2	Laserlichtquelle	4
1.3	Ansprechverhalten von Halbleiterlasern und Photodetektoren	11
1.4	Oberflächenplasmonen	22
1.5	Signaldetektion	26
1.6	Optische Verstärker	29
1.7	Raumlicht-Faser-Kopplungstechnik	35
1.8	Optische Antennen und Teleskope	39
1.9	Zusammenfassung und Ausblick	46

Kapitel 2 Kohärente optische Kommunikation

2.1	Grundprinzipien der kohärenten optischen Kommunikation	56
2.2	Kohärente Modulation und Demodulation	64
2.3	Faktoren, die die Detektionsempfindlichkeit beeinflussen	73
2.4	Räumliche Phasenbedingungen der optischen Heterodyn-Detektion	75
2.5	Korrektur von Wellenfrontverzerrungen mit adaptiver Optik	81
2.6	Zusammenfassung und Ausblick	92

Kapitel 3 Modulation, Demodulation und Codierung

3.1	Modulationstechnik	99
3.2	Externe Modulationstechnik	102
3.3	Retroreflektor-Modulation	113
3.4	PPM-ähnliche Modulation	121
3.5	Direkte Modulation der Lichtquelle	129
3.6	Unterträger-Intensitätsmodulation	137
3.7	Orthogonales Frequenzmultiplexing	144
3.8	Raum-Zeit-Codierung	152
3.9	Nichtorthogonaler Mehrfachzugriff	157
3.10	Multiplex-Kommunikation mit orbitalem Drehimpuls	160
3.11	Kanalcodierung	165
3.12	Zusammenfassung und Ausblick	170

Kapitel 4 Atmosphärischer Kanal, Kanalschätzung und Kanalentzerrung

4.1	Atmosphärische Dämpfungseffekte	177
-----	---------------------------------	-----

4.2	Atmosphärisches Turbulenzmodell	184
4.3	Diversitätsempfang	198
4.4	Kanalschätzung	200
4.5	Kanalentzerrung	202
4.6	Auswirkungen atmosphärischer Turbulenz auf die Bitfehlerrate	207
4.7	Schranken der Kanalkapazität	208
4.8	Einfluss der Turbulenz auf die Lichtübertragung	215
4.9	Zusammenfassung und Ausblick	222
Kapitel 5 Kommunikation und Vernetzung mit weißen LEDs		
5.1	Prinzip der LED-Lichterzeugung	230
5.2	Hintergrundlicht-Rauschmodell für VLC-Systeme in einer Fahrzeugvernetzungs- umgebung	235
5.3	Multiplikatives Rauschmodell für VLC-Systeme	240
5.4	Optimierte Anordnung der Lichtquellen	243
5.5	Innenraumkanal der Kommunikation mit sichtbarem Licht	246
5.6	Empfänger und Detektionstechnik	249
5.7	Uplink der Kommunikation mit sichtbarem Licht	254
5.8	Positionierungstechnik für Kommunikation mit sichtbarem Licht	255
5.9	Hybrides VLC/RF-Kommunikationssystem für Innenräume	257
5.10	Heterogenes VLC-Netz	266
5.11	Hybrides OWC/RF-THz-Relaiskommunikationssystem	270
5.12	Integrierte Navigation mit VLC-Ortung und Trägheitsnavigation	274
5.13	Optische Drahtloskommunikation zwischen Leiterplatten	277
5.14	Zusammenfassung und Ausblick	282
Kapitel 6 Optische Unterwasserkommunikation		
6.1	überblick	289
6.2	Unterwasser-Laserkommunikationssystem	291
6.3	Laserkommunikation mit U-Booten	293
6.4	Facettenaugen-Empfangsantenne	297
6.5	Konstantstromansteuerung am Sender	305
6.6	Ausbreitungseigenschaften von Licht in Meerwasser	310
6.7	Nicht-Sichtlinien-Übertragung	317
6.8	Einfluss der Unterwasserturbulenz auf die Laserübertragungsleistung	328
6.9	Zusammenfassung und Ausblick	339

Kapitel 7 UV-Kommunikation

7.1 UV-Licht und seine Kanaleigenschaften	344
7.2 Eigenschaften der UV-NLOS-Übertragung	350
7.3 Vernetzung solarblinder UV-NLOS-Kommunikation	353
7.4 Modell des UV-Hintergrundrauschens	357
7.5 Pfadverlustmodell der UV-Kommunikation	368
7.6 Zusammenfassung und Ausblick	378

Kapitel 8 Erfassungs-, Ausrichtungs- und Nachführungstechnik

8.1 APT-System	381
8.2 Automatische Erfassung	385
8.3 Automatische Nachführung	393
8.4 Schnelle nichtkoaxiale Ausrichtung zwischen Sende- und Empfangsende	397
8.5 Einfluss des Ausrichtungsfehlers auf die Kommunikationsleistung	401
8.6 Zusammenfassung und Ausblick	406

Kapitel 9 Ausbreitung teilweise kohärenten Lichts

9.1 Grundparameter des Lichtstrahls	409
9.2 Modell für teilweise kohärentes Licht	417
9.3 Ausbreitung von Lichtstrahlen in atmosphärischer Turbulenz	421
9.4 Detektion von teilweise kohärentem Licht	440
9.5 Zusammenfassung und Ausblick	445

Kapitel 10 Zukunfftige Kommunikationstechnologien

10.1 X-Strahlen-Weltraumkommunikation	452
10.2 Kommunikation mit Multiplexing des orbitalen Drehimpulses	459
10.3 Neutrinokommunikation	469
10.4 Gravitationswellenkommunikation	473
10.5 Terahertz-Kommunikation	477
10.6 Zusammenfassung und Ausblick	485

Drahtloses optisches Kommunikationssystem

Optische Kommunikation ist eine Kommunikationsform, bei der Lichtwellen als Träger dienen. Sie kann mit oder ohne Wellenleiter realisiert werden. Bei der Glasfaserkommunikation breitet sich das Licht entlang eines Wellenleiters (Glasfaser) aus. Drahtlose optische Kommunikation benötigt keinen Wellenleiter; das Licht wird im freien Raum übertragen. Die drahtlose optische Kommunikation, also die Freiraumoptik (free-space optical, FSO), verbindet die Vorteile der Glasfaserkommunikation und der Mikrowellenkommunikation: Sie bietet hohe Kommunikationskapazität, erfordert keine Verlegung von Glasfasern und benötigt keine Frequenzspektrum-Lizenz. Dieses Kapitel stellt das Modell und die Grundbegriffe drahtloser optischer Kommunikationssysteme vor.

1.1 Modell der drahtlosen optischen Kommunikation

Ein Endgerät der drahtlosen optischen Kommunikation besteht aus einer optischen Antenne (Teleskop), einem Laser-Transceiver, einer Signalverarbeitungseinheit, einem automatischen Nachführ- und Zielsystem usw. Als Lichtquelle des Senders werden eine Laserdiode (laser diode, LD; auch Halbleiterlaser) oder eine LED (Light-Emitting Diode, LED; Leuchtdiode) eingesetzt; der Empfänger verwendet hauptsächlich eine PIN-Diode oder APD (avalanche photo diode, Avalanche-Photodiode). Das Modell der drahtlosen optischen Kommunikation ist in Abb. 1.1 dargestellt.

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.

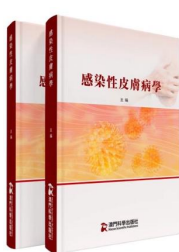


全球发行 · Publishing worldwide



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。