科学出版社

الاتصالات الضوئية اللاسلكية

الإصدار الأول، 2025

كى سى چنغ (Ke Xizheng) الدكتور
كي تشنغهو (Ke Chenghu) الدكتور
وُ جيا لِي (Wu Jiali) الدكتور

Global Reach Series
The Legacy of Outstanding Chinese Culture

Macao Scientific Publishers

الاتصالات الضوئية اللاسلكية

العنوان: المجمع الأول، الطابق الحادي عشر، مبنى هنجتشانغ، شارع نانوان، ماكاو، ٩٩٩٠٧٨، الصين

ChinaSite web: www.mospbs.com | moaj.mospbs.com

Para obter mais informações, entre em contato pelo e-mail: book@mospbs.com

هـذه النشريـة محميـة بحقـوق الـنشر. باسـتثناء الحـالات التـي تنـص عليهـا الاسـتثناءات القانونيـة أو وفقًـا لـلشروط المحـددة في اتفاقيـات الترخيـص الجماعـي ذات الصلـة، فـإن أي نسـخ لأي جـزء مـن هـذه النشريـة محظـور صارمًـا دون الحصـول على إذن كتبـي مـن شركـة مـاكاو سـاينتيفيك.

للحصـول على معلومـات مفصلـة عـن عمليـة التحريـر في مـاكاو سـاينتيفك بـلشريشرز، يرجـى زيـارة موقعنـا الرسـمي: *https://www.mospbs.com*/للحصـول على معلومـات مفصلـة عـن عمليـة التحريـر في مـاكاو سـاينتيفك بـلشريشرز، يرجـى زيـارة موقعنـا الرسـمي: *https://www.mospbs.com/*

حقوق النشر © ماكاو ساينتيفك بلشريشرز. جميع الحقوق محفوظة.

الاتصال البصري اللاسلكي

الغلاف الصلب

عدد الكلمات: ٩١٧,٧٤٨ كلمة

الإصدار الأول: نوفمبر ٢٠٢٥

نُشِر بواسطة ماكاو ساينتيفك بلشريشرز (MOSP)

مُطبوع بواسطة مجموعة هانلين للنشر، ماكاو، الصين

تاريخ الطباعة: نوفمبر ٢٠٢٥

ISBN 978-99996-42-41-5

إذا كانت هناك أي مشكلة في جودة هذا الكتاب، يرجى التواصل عبر البريد الإلكتروني: book@mospbs.com.

مقدمة المؤلف

كـو شي زينـغ، رجـل، مـن قوميـة الهـان، عضـو في التحالـف الديمقراطـي الصينـي. وُلـد في أكتوبـر ١٩٦٢ في مدينـة لينتونـغ بمقاطعـة شـنشي. تخـرج في عـام ١٩٩٦ مـن جامعـة الأكاديميـة الصينيـة للعلـوم، حـاصلاً على درجـة الدكتـوراه في العلـوم. مـن ١٩٩٧ إلى ٢٠٠٢، عمـل كباحـث مـا بعـد الدكتـوراه في كل مـن جامعـة علـوم الإلكترونيـات والتكنولوجيـا في شـيان والأكاديميـة الثانيـة للمدفعيـة. منـذ عـام ٢٠٠٢، يعمـل أسـتاذاً في جامعـة شـيان للتكنولوجيـا، بدرجـة أسـتاذ (التقنية الثانيـة)، ومشرفـاً على الدكتـوراه. وهـو معلـم متميـز في مقاطعـة شـنشي، وخـبير في مراجعـة الجوائـز الوطنيـة للعلـوم والتكنولوجيـا. نائـب مديـر «مختـبر التعـاون المـشترك العسـكري والمـدني لشـبكات الـذكاء التعـاوني في شـنشي». عضـو في جمعيـة الإلكترونيـات الصينيـة، وأكاديمـي أجنبـي في الأكاديميـة الروسـية للعلـوم الطبيعيـة. شـغل منصـب عضـو مجلـس إدارة جمعيـة الهندسـة البصريـة الصينيـة، وعضـو مجلـس إدارة جمعيـة البصريـات في شـنشي. نائـب رئيـس جمعيـة التعـاون الصناعـي الصينـي في مجـالات الطاقـة الجديـدة والمـواد، عضـو كـبير في جمعيـة الأجهـزة القياسـية الصينيـة، عضـو كـبير في جمعيـة هندسـة البصريـات الصينيـة، عضـو فخـري دائـم في الجمعيـة الصينيـة للبصريـات. عضـو دائـم في لجنـة تحليـل الإشـارات الديناميكيـة التابعـة لجمعيـة الهندسـة الاهتزازيـة الصينيـة. عضـو في الجمعيـة البصريـة الأمريكيـة، عضـو فخـري في الجمعيـة الأمريكيـة للهندسـة البصريـة. خـبير في مراجعـة الجوائـز الوطنيـة للعلـوم والتكنولوجيـا، عضـو في اللجنـة الاستشـارية للدرجـات الأكاديميـة في مقاطعـة شـنشي (الـدورة الثالثـة)

قـام بدمـج مقـررات «الـدارات» و«الإشـارات والأنظمـة» مـع «أساسـيات الإلكترونيـات التناظريـة» و«الـدارات الإلكترونيـة عاليـة التردد» و«الـدارات الإلكترونيـة الرقميـة» مـع «مبـادئ الكمبيوتـر» لتصبـح ثلاث مقـررات هـي «الـدارات والإشـارات والأنظمـة»، و«الـدارات الإلكترونيـة التناظريـة والاتصـالات»، و«المنطـق الرقمـي والمعالجـات الدقيقـة»، مما جعـل النظـام التعليمـي أكثر تـكاملاً. كما كتـب أول كتـاب تعليمـي في الـصين في «الاتصـالات البصريـة اللاسـلكية» وأسـس وأكمـل نظـام التدريـس في هـذا المجـال

أسـس تخصـص «نظـم الاتصـالات والمعلومـات» وجعـل «تقنيـة ونظريـة الاتصـالات البصريـة اللاسـلكية» هـو المحـور الرئـيسي لهـذا التخصـص، وقـام بتطويـر نظـام التعليـم والتدريـب لهـذا التخصـص. تمسـك بهـدف بنـاء «الجامعـات مـن الدرجـة الأولى»، مما حـول هـذا التخصـص مـن لا شيء إلى شيء، ومـن شيء إلى الأفضـل، محققـاً قفـزة نوعيـة.

حصل التخصص على «حق منح درجة الماجستير في نظم الاتصالات والمعلومات» في عام ٢٠٠٣، وحصل على «حق منح درجة الماجستير في الهندسة المعلوماتية والاتصالات» في عام ٢٠٠٥، وحصل على «حق منح درجة الماجستير في الهندسة الإلكترونية والاتصالات» في عام ٢٠١٠، وأكمل عملية التقييم المؤهلة في عام ٢٠١٨. حصل التخصص الذي يشرف عليه في جامعة شيان للتكنولوجيا على موافقة «نظام الاتصالات» في ٢٠١١ كأحد التخصصات المميزة في الجامعات في مقاطعة شنشي. كما تم الموافقة عليه في عام ٢٠١٥ كنموذج مبتكر لتطوير التعليم في الجامعات، وحصل على لقب «تخصص من الدرجة الأولى» في عام ٢٠١٩، وتم الموافقة عليه كنقطة بناء متخصصة على المستوى الوطني في عام ٢٠٢٠ ومر عبر الاعتماد الهندسي

رئيس لمؤتمرات أكاديمية محلية ودولية وألقى أكثر من ١٠٠ تقرير رئيسي. حصل على جائزة «الشاب المتميز في الأكاديمية الصينية للعلوم» في عام ٢٠٠٠. حصل على لقب «موظف التكنولوجيا المتميز في وزارة العلوم والتكنولوجيا ووزارة التعليم في مقاطعة قوانغدونغ» في عام ٢٠٠٩. حصل على لقب «القائد البارز في يانغتشو» في عام ٢٠١٥. حصل على جائزة «الابتكار في التعاون بين الصناعة والبحث العلمي في الصين» في عام ٢٠١٨، وحصل على جائزة «الابتكار في التعاون بين الصناعة والبحث العلمي في الصين» في عام ٢٠١٩. حصل على لقب «العامل التكنولوجي المتميز في جمعية الإلكترونيات الصينية» في عام ٢٠٢٠. حصل على أكثر من ٢٠ جائزة علمية وتكنولوجية على مستوى المقاطعات والوزارات منذ عام ٢٠٠١. حصل على أكثر من ٥٠ براءة اختراع. نشر أكثر من ٣٠ كتابًا في دار النشر العلمية الصينية وفي دار نشر Springer، ونشر أكثر من ٥٠٠ ورقة أكاديمية، ودرس أكثر من ٣٠ طالبًا دكتوراه، وله سمعة مرموقة في مجال الإلكترونيات والمعلومات.

مقدمة

تتميز تقنية الاتصالات الضوئية اللاسلكية، التي تستخدم الضوء كوسيط للمعلومات، بعرض نطاق ترددي عالٍ، وتأخر منخفض، ومعدلات نقل عالية، ونطاق طيفي واسع. وفقًا لقناة النقل الضوئية المختلفة، يمكن تقسيم الاتصالات الضوئية اللاسلكية إلى اتصالات بالأشعة فوق البنفسجية، واتصالات بالضوء المرئي، واتصالات تحت الماء، إلخ. ومع ذلك، تؤثر بيئة القناة بشكل كبير على النقل الضوئي، ولذلك يظل تثبيط وتعويض تأثير بيئة القناة على نقل الضوء أحد الأولويات الرئيسية لأبحاث الاتصالات الضوئية اللاسلكية.

يتضمن هذا الكتاب ١٠ فصولًا، ويقدم شرحًا مفصلاً لمبادئ الاتصالات الضوئية اللاسلكية. ويغطي بشكل أساسي مبادئ الاتصالات الضوئية اللاسلكية، والتشفير والتعديل للإشارات الضوئية، وخصائص نقل القناة الضوئية المختلفة، وتقنيات الالتقاط والمحاذاة والتتبع، كما يقدم شرحًا مفصلاً لبعض مبادئ نقل الضوء المترابط وتقنيات الاتصالات المستقبلية.

هذا الكتاب هو عمل المؤلف أثناء توليه منصب أستاذ فخري في كلية الآداب والعلوم في شيان، وهو أيضًا نتيجة لأبحاث محطة العمل الخاصة بالأكاديميين في مجال الاتصالات الضوئية اللاسلكية وتقنيات التوصيل الشبكي في شيان. أتقدم بالشكر إلى كلية شيان للآداب والعلوم على التسهيلات والدعم اللذين قدمتهما لضمان نشر هذا الكتاب بنجاح.

تم دعم الأبحاث المذكورة في هذا الكتاب من قبل مشروع صندوق العلوم الطبيعية الوطني (٦١٣٧٧٠٨٠)، ومشروع الابتكار في الصناعات الرئيسية في مقاطعة شنشي (٢٠١٧ ZDCXL-GY-٠١-٠٦)، ومشروع بحوث العلوم الأساسية في مقاطعة شنشي (٢٠٢٤JC-YBMS-٥٦٢)، ومشروع بحوث العلوم الأساسية الرياضية والفيزيائية في مقاطعة شنشي (٢٣JSQ٠٢٤)، ونود أن نعرب عن شكرنا لهم جميعًا.

شكرًا لمؤلفي الإشارات المرجعية لهذا الكتاب، وكذلك للباحثين غير المدرجين في الإشارات المرجعية، على مساهماتهم، التي كانت مصدر إلهام كبير للمؤلف.

بسبب محدودية معرفة المؤلف، لا بد أن يحتوي الكتاب على بعض الأخطاء والنقاط غير المناسبة، وأرجو من القراء أن يقدموا تعليقاتهم ويقوموا بتصحيح أي أخطاء.

فهرس المحتويات

مقدمة المؤلف, i
مقدمة, ii

١. أنظمة الاتصالات البصرية اللاسلكية, ١

٢. الاتصالات البصرية المتماسكة, ٨٥

٣. التعديل وفك التعديل والترميز, ٤٠١

٤. القنوات الجوية ، وتقدير القنوات، ومعادلة القنوات, ٧٨١

٥. اتصالات وشبكات LED ذات الضوء الأبيض, ٥٤٢

٦. الاتصالات البصرية تحت الماء, ٢٠٣

٧. الاتصالات بالأشعة فوق البنفسجية, ٠٦٣

٨. تقنيات الاستحواذ والاستهداف والتتبع, ١٠٤

٩. النقل البصري المتماسك جزئيًا, ٠٣٤

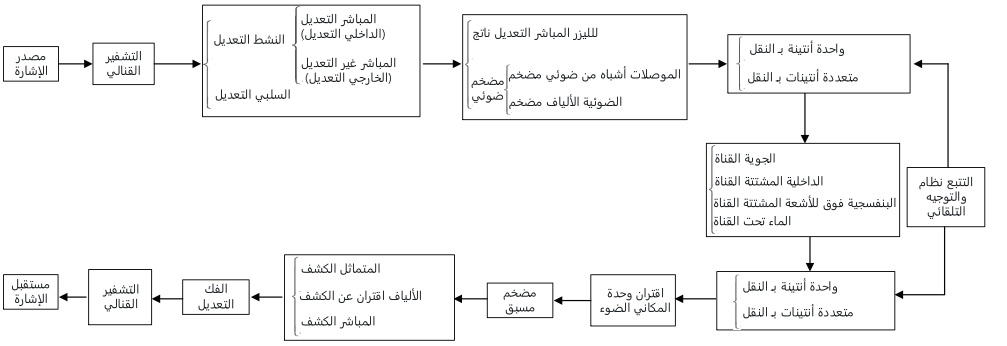
١٠. تقنيات الاتصالات المستقبلية, ٣٧٤

الفصل الأول: نظام الاتصالات الضوئية اللاسلكية

الاتصالات الضوئية هي طريقة اتصال تستخدم الموجات الضوئية كناقل. يمكن أن تشمل الاتصالات الضوئية دليلاً للضوء، أو قد لا تشمله. تعتمد الاتصالات بالألياف الضوئية على نقل الضوء عبر دليل للضوء (الألياف الضوئية). الاتصالات الضوئية اللاسلكية لا تتطلب دليلاً للضوء، حيث يتم نقل الضوء في الفضاء الحر. تجمع الاتصالات الضوئية اللاسلكية، أو الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر (FSO)، بين مزايا الاتصالات بالألياف الضوئية والاتصالات الميكروويفية، حيث توفر سعة اتصال كبيرة دون الحاجة إلى تركيب الألياف الضوئية أو الحصول على ترخيص للطيف الترددي. تقدم هذه الفصل نموذجًا لنظام الاتصالات الضوئية اللاسلكية بالإضافة إلى المفاهيم الأساسية.

١,١ نموذج الاتصالات الضوئية اللاسلكية.

تتكون أجهزة الاتصالات الضوئية اللاسلكية من هوائيات ضوئية (تلسكوبات) ومستقبلات ليزر ووحدات معالجة إشارات وأنظمة تتبع تلقائية وغيرها. تستخدم مصادر الضوء في الجهاز المرسل ديود ليزر (laser diode، LD، وتُعرف أيضًا باسم ليزر أشباه الموصلات) أو مصابيح LED (Light-Emitting Diode، LED)، مصابيح إضاءة)، بينما يستخدم الجهاز المستقبل أساسًا دائرة PIN أو APD (avalanche photo diode)، مصباح ضوئي عالي الحساسية). يُظهر الشكل ١,١ نموذج الاتصالات الضوئية اللاسلكية.



الشكل ١,١: نموذج الاتصالات الضوئية اللاسلكية.

2019 历史机遇 · 打造交流合作基地

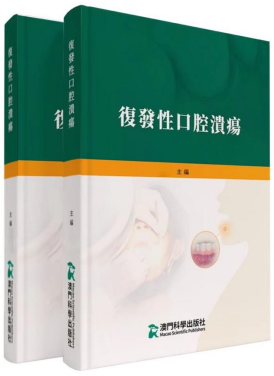
Historic Opportunity · Build Communication And Cooperation Bases

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.

MACAU TECHNOLOGY GENERAL ASSOCIATION 澳門科技總會
澳門科學出版社 Macao Scientific Publishers
澳门科学出版社（MOSP）
网址：moaj.mospbs.com 电话：+853-62961666
邮箱：book@mospbs.com 邮编：999078
经营场所：中国澳门南湾大马路恒昌大夏F座11楼
禁忌内容或注意事项本资料未能详尽 © 版权所有，翻版必究。



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

MACAU TECHNOLOGY GENERAL ASSOCIATION 澳門科技總會
澳門科學出版社 Macao Scientific Publishers

澳门科学出版社（MOSP）
网址：moaj.mospbs.com
邮箱：book@mospbs.com
电话：+853-62961666
邮编：999078
经营场所：中国澳门南湾大马路恒昌大夏F座11楼
禁忌内容或注意事项本资料未能详尽 © 版权所有，翻版必究。

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

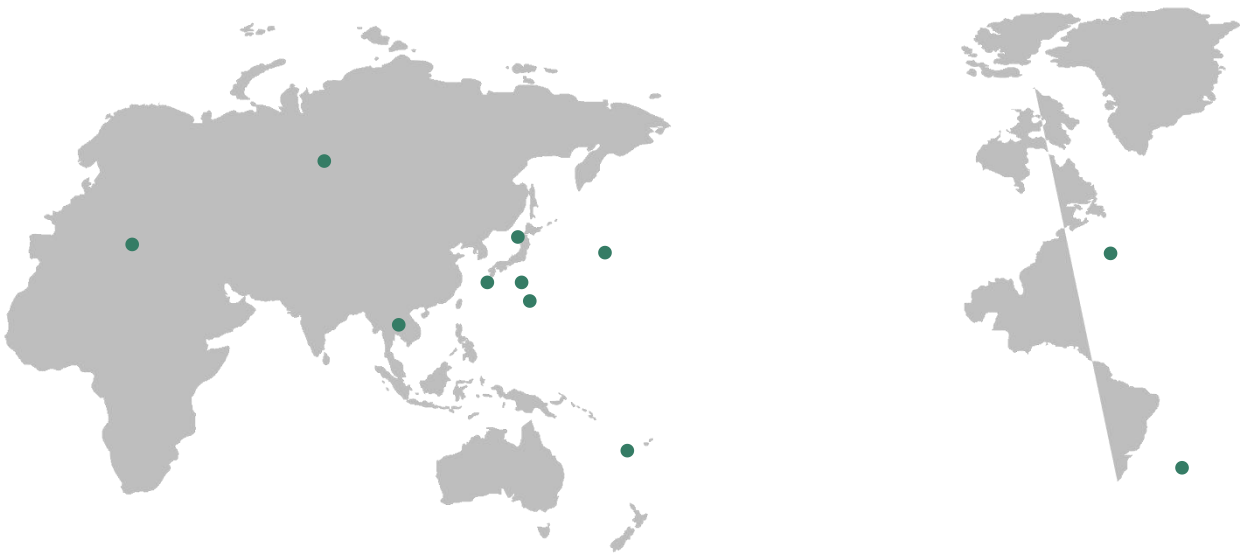
作者签订销售合作协议后，IBPC可提供多种上架渠道，包括官网、京东、天猫、亚马逊、当当网等平台，可销售字纸印本与电子图书等形式，并按照合作协议进行利润分成。

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.

澳门科学出版社（MOSP）
网址：moaj.mospbs.com
邮箱：bookt@mospbs.com
电话：+853-62961666
邮编：999078
经营场所：中国澳门南湾大马路恒昌大夏F座11楼
禁忌内容或注意事项本资料未能详尽 © 版权所有，翻版必究。

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夏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。