

(预览版)

自然语言处理：大模型理论与实践

赵宇 任福继 陈星延 陈中普 陈珍珠 著



西南财经大学 电子科技大学

2024 年 9 月



赵宇，西南财经大学教授，博导，四川省学术和技术带头人后备人选，金融智能与金融工程四川省重点实验室副主任，通用人工智能与数字经济创新团队负责人，西南财经大学学术百人，美国罗切斯特大学联合培养博士，法国巴黎六大高级访问学者，中国人工智能学会自然语言理解专委会委员，四川省计算机学会自然语言处理专委会副主任。长期致力于人工智能与数字经济的交叉科学研究，主要方向包括自然语言处理、大模型、具身智能、数字经济等，迄今发表高水平论文 40 余篇（其中中国计算机学会（CCF）A 类/B 类推荐论文 14 篇），包括 IEEE TRANS. 系列（TKDE、TNNLS、TMM、TMC、TETC）以及人工智能顶会 ACL、KDD、ICME 等。主持 2 项国家自然科学基金（1 项面上，1 项青年），主持 2 项四川省自然科学基金（1 项重点，1 项面上），主持 3 项省部级教改项目。撰写专著 1 部，获得专利 1 项。



任福继，日本工程院院士，欧盟科学院院士，AAIA FELLOW，CAAI FELLOW，电子科技大学讲席教授，中国人工智能学会荣誉副理事长。主要研究情感计算、先进智能机器等领域，提出的心状态转移网络开辟了一个感知情感的新方法，构建的情感语料库 REN-CECPS 填补了中文情感语料库空白，并使中国情感机器人达到世界前缘。在世界上率先提出的先进智能概念，使其成为国际人工智能研究纲领之一。在信息通讯科学、人工智能领域中曾提出过“家庭模式”和“超级类数”理论，为自然语言的理解及多语种机械翻译及交叉语言信息检索开辟了新的方向。曾先后任美国新墨西哥州立大学访问教授、日本国立德岛大学教授、佛罗里达国际大学客座教授、哈佛大学访问教授。教育部“长江学者奖励计划”讲座教授、海外杰出青年学者基金获得者、中国科协海智专家，中国国务院侨办科技专家咨询委员。获吴文俊人工智能科学技术奖创新一等奖、科学中国人年度人物“杰出贡献奖”等。

序 言

自然语言处理一直是人工智能最热门的应用研究领域，对科学技术、文化教育、经济社会的发展各个方面都具有极其重大的意义。自然语言处理的研究一直存在两类颇不相同而又相互补足的研究方法，即：规则方法与统计方法。规则方法追求的是对自然语言的理解，但严重受到领域的限制；统计方法恰好相反，它所追求的是领域无限，但语言理解能力却成为短板。近年以来，以 ChatGPT 为代表的生成式预训练对话人工智能技术（即大语言模型，简称大模型）取得了令人瞩目的进展，给基于统计方法的自然语言处理技术带来了前所未有的进步。

本书以其独特的视角和结构，全面系统地介绍了大模型技术在自然语言处理中的理论与实践。全书内容丰富，涵盖了语言模型的基础知识、大模型的关键技术以及大模型的应用实践，不仅为初学者提供了详尽的入门指南，也为研究人员和专业人士提供了深入的技术解析和实用的开发案例。本书从自然语言处理的背景知识出发，逐步引入词向量、统计语言模型、神经语言模型和预训练语言模型，然后详细介绍了大模型的架构、训练方法、应用及评估策略，并通过丰富的实例和习题，帮助读者加深理解和掌握大模型技术的核心内容。特别难得的是，本书对大模型的本地开发和应用开发提供了实战演练和实用的代码示例，对实际开发工作具有重要的指导意义。

大语言模型的迅猛发展引起了世界各国学术界高度重视，出现了不少介绍大语言模型的人工智能通俗著作。但是，至今还没有看到可以作为高等学校教材的著作问世。本书的出版正好弥补了这一缺陷，对于高等学校本科生、研究生、教学科研人员，以及从事自然语言处理研究和开发的专业人士来说，都是一本不可多得的参考书籍。通过阅读本书，读者不仅可以系统地掌握自然语言处理的基础知识和前沿技术，还能在实际操作中提升自身的开发和研究能力，探索自然语言处理的深层理论和广泛应用。在此，我愿对本书作者表示衷心的感谢和热烈的祝贺，并大力推荐本书早日出版，以飨广大读者。

当然，人工智能及其在自然语言处理研究中的应用是一个复杂的学术领

域。当前大语言模型的研究一方面取得了前所未有的巨大进步，同时也还存在进一步发展的巨大空间，特别是在自然语言理解能力方面以及由此导致的幻觉、隐私和安全保障等方面，仍然需要大力改进。我深信，随着人工智能理论与技术本身的不断成熟与发展，未来将会有更多新的突破和创新，推动人类与机器之间实现更加自然和更加智能的交流方式，开创我国和世界自然语言处理与理解更加辉煌的未来。


中国人工智能学会原理事长
发展中世界工程技术科学院院士
2024 年 9 月 17 日 于北京

前 言

自然语言处理（Natural Language Processing, NLP）是计算机科学与人工智能交叉领域中的一门关键技术，其目标是使计算机能够理解、解释、生成人类语言。在当今人工智能时代，NLP 技术已经深刻地渗透到我们日常生活的方方面面，从智能助手、语音识别到机器翻译和文本生成，NLP 正以惊人的速度改变着我们的生活方式。特别的是，2022 年底以 ChatGPT 为代表的大模型技术横空出世，进一步推动了新一代人工智能技术的发展。大模型技术颠覆了自然语言处理领域传统的知识体系。然而，目前以大模型技术为主线介绍自然语言处理知识的教材较为缺乏。基于此考虑，催生了我编著本教材的想法。

本教材以自然语言处理中语言模型为主线，主要内容分为三部分，包括语言模型基础、大模型理论和大模型实践。在此之前，首先介绍了自然语言处理的背景知识。然后，在语言模型基础部分介绍了词向量、统计语言模型、神经语言模型和预训练语言模型。接着，在大模型理论部分介绍大模型的架构、训练、使用与评估等。最后，在大模型实践部分介绍了大模型的本地开发和应用开发等。

本教材主要针对高校本科生、研究生以及教学科研人员，作为教学用书。当然，也适用于计算语言学家、语言学家、数据科学家和 NLP 开发人员等专业人士。考虑到不同读者的学科差异，本书在附录部分介绍了概率论、信息论、机器学习与强化学习等 NLP 交叉学科的基础知识。阅读本教材最好具备 Python 的编程知识。

在写作本教材的过程中，我深切地感受到自然语言处理的迅猛发展。从传统的基于规则的方法到现今基于深度学习的革命性变革，NLP 的前景无疑令人激动。我希望通过本教材，能够为读者提供以语言模型为主线的 NLP 知识体系，并让读者能深入理解大语言模型前沿理论，掌握大语言模型实践技能。希望这本教材成为您学习与实践 NLP 的得力工具，激发您对自然语言处理无尽的好奇心和创造力。

在本书即将付梓之际，我深感荣幸与感激，借此机会向所有在本书编写过程中给予帮助和支持的个人与机构致以最诚挚的谢意！

谨向自然语言处理领域的诸多前辈和专家致以崇高的敬意。我要特别感谢大模型技术相关领域的研究学者，正是你们在 Transformer、GPT、GLM 等模型的发展过程中所做出的杰出贡献，为本书的内容奠定了坚实的基础。你们的无私分享和合作精神，推动了这一领域的飞速发展，并为本书提供了丰富的理论依据和实践经验。

感谢中国人工智能学会自然语言理解专委会主任王小捷教授对本书编写给予的大力支持，并提出了若干宝贵的建议。感谢我们通用人工智能团队以及金融智能与金融工程四川省重点实验室的同仁们，为本书的完成提供了不可或缺的支持。本书初稿完成以后，我们团队自然语言处理课程组老师做了大量的工作。王小捷博士、陈珍珠博士和施龙博士校对了第一章的全部内容。刘康博士、陈中普博士、陈星延博士和施龙博士分别校对并修改了第二章的部分内容。李蕾博士、潘宁宁博士和陈中普博士校对了第三章的全部内容。孙晓博士、潘宁宁博士校对了第四章的全部内容。庄福振博士、陈珍珠博士校对了第五章的全部内容。谷雨博士、袁彩霞博士和余关元博士校对了第六章的全部内容。李珂博士和陈珍珠博士校对了第七章的全部内容。孙健博士和陈中普博士校对了第八章的全部内容。徐睿峰博士、陈星延博士和陈中普博士校对并编写了第九章的部分内容。王昊奋博士、陈中普博士和张阳博士分别校对了第十章的部分内容。张岳博士、陈珍珠博士、陈中普博士和张阳博士校对了第十一章的全部内容。金澎博士、陈星延博士和陈珍珠校对了第十二章的全部内容。陈运文博士、陈珍珠博士和黄士罗博士校对了第十三章的全部内容。杜亚军博士、陈中普博士和黄士罗博士校对了第十四章的全部内容。李睿凡博士、陈中普博士和张蕊博士校对了第十五章的部分内容。陈星延博士、施龙博士和张蕊博士分别校对了附录 A 预备知识的部分内容。此外，李庆博士和谢志龙博士也参与了本书的部分校对工作。冯飞高级架构师对该书的实践部分也提出了宝贵的意见。另外，特别感谢韦鳗珍、白芊芊、罗灵、王瑞、刘银峰、许雯婷、钟一、顾添承、刘雅玲、黄浩南、唐川清、郭宇、杨闻博和邓黄怡等同学在文稿编辑、图表绘制和审稿校对等方面所付出的努力，这是本书完成的基础。

本书引用了一些优秀参考文献中的图表、公式和案例等，征求了相关作者的意见并得到了积极支持，在此表示由衷的感谢！

此外，由衷感谢机械工业出版社的辛勤付出，感谢你们在本书编写和出版过程中所展现的专业精神和不懈努力，让本书最终得以面世。

本书的编写得到了国家自然科学基金项目的资助。