FRTI64 · AI LEARNING PATH

AI 学习路径 · 中英对照导读

AI Learning Path · Bilingual Resource Guide

144 条资源中文导读 + 英文原始摘要 / 中文资源补充 · 逐条对照

资源总数 / Total resources	144 条
已抓取 / Crawled OK	133 条
开放获取 / Open access	46 条
PDF 留档 / Archived PDFs	242 份 / 229.34 MiB
中文资源补充 / Chinese resources	35 条
整理时间 / Compiled	2026-11-22
网页检索版 / Web index	https://frti64.top/ai-resources/

说明：中文栏为人工整理/机器翻译，英文栏为资源原始摘要或描述；专有名词保留原文。网页检索版：https://frti64.top/ai-resources/

目录 / Contents

一、说明 / 1. About 3
二、指南主线 / 2. Roadmap 4
三、中英对照资源导读 / 3. Bilingual Resource Notes 5
S1 一、核心知识底座 5
S2 二、主流细分方向 6
S3 三、渐进式学习路径 8
S4 顶会论文与高薪研发岗 11
S5 低算力顶会课题 15
S6 以研代学 / 30 天计划 17
S7 证明型选手的理论赛道 19
S8 数学诊断题 21
S9 AI 理论推荐教材 21
S10 数学基础教材 23
S11 开放获取教材 26
S12 配套习题集 27
S13 纯数学教材 29
S14 开源纯数学与题库 35
四、指南摘要 / 4. Digest 37
八、中文资源补充 / 8. Chinese-language Resources 45
五、缺口与已知问题 / 5. Gaps 47
六、怎么用 / 6. How to Use 48
七、数据来源与复现 / 7. Sources 49

一、说明 / 1. About

本册是《AI学习路径指南》资源库的**中英对照导读版**：144 条资源按指南 14 个阶段编排，每条给出中文译名与英文原名、中文导读、英文原始摘要/描述（论文附中文摘要）、官方链接与留档状态。中文资源（官方中译本/中文版）单列第八节。

This bilingual guide lists all 144 resources in the guide's 14 stages. For each entry it provides the Chinese title and original English name, a Chinese reading note, the original English abstract/description (with Chinese abstract for papers), the official link and archive status. Chinese-language resources are collected in Section 8.

二、指南主线 / 2. Learning Roadmap

阶段 / Stage	名称 / Name	覆盖内容 / Focus
S1	一、核心知识底座 Core Knowledge Foundation	数理/编程/机器学习与深度学习核心 Build the mathematical, programming, and machine-learning foundation that every specialization builds on.
S2	二、主流细分方向 Main Specialization Tracks	大模型算法、AI 应用工程、多模态具身、AI 基础设施、垂直行业 Choose one of five specialization tracks and understand the stack and typical outcomes of each.
S3	三、渐进式学习路径 Progressive Learning Path	夯实基础→经典 ML→Transformer→实战项目→论文闭环 Follow a staged path from fundamentals through classical ML and Transformers to real projects and a paper loop.
S4	顶会论文与高薪研发岗 Top-Conference Papers and High-Paying R&D Jobs	选题/方法论/面试三维能力/12-18 个月节奏 Turn empirical research into top-conference papers and high-paying R&D job offers on a 12-18 month timeline.
S5	低算力顶会课题 Low-Compute Top-Conference Projects	五个低算力课题与饱和度分析 Pick a publishable low-compute project and judge its competition level by saturation.
S6	以研代学 / 30 天计划 Research-Driven Learning / 30-Day Plan	最小技术栈、代码驱动读论文、PyTorch+Transformer+LoRA 30 天 Learn by doing research: a minimal toolchain, code-driven paper reading, and a 30-day PyTorch + Transformer + LoRA plan.
S7	证明型选手的理论赛道 Theory Track for Proof-Oriented Students	优化几何/RLHF 理论/注意力理论/可信 AI For students strong in proofs: four theory directions that need little compute.
S8	数学诊断题 Math Diagnostic Problems	5 道顶会级数学推导诊断题 Locate gaps in your math toolkit with five top-conference-level derivations and a self-assessment scale.
S9	AI 理论推荐教材 Recommended AI Theory Textbooks	高维概率、矩阵分析、凸优化、信息论、前沿讲义 Read the theory textbooks and lecture notes most used in AI papers: high-dimensional probability, matrix analysis, convex optimization, and information theory.
S10	数学基础教材 Foundational Mathematics Textbooks	线代/分析/概率/泛函/数值优化 Strengthen proof skills with core linear algebra, analysis, probability, functional analysis, and numerical optimization texts.
S11	开放获取教材 Open-Access Textbooks	作者官网免费 PDF 的教材与讲义 Access free, legally downloadable versions of the foundational math textbooks from author and university sites.
S12	配套习题集 Companion Problem Sets	带官方解答的证明/放缩习题集 Practice proof and inequality techniques with problem sets that include official solutions.
S13	纯数学教材 Pure Mathematics Textbooks	实分析/抽象代数/测度概率/微分几何与最优传输 Train pure mathematics across real and functional analysis, algebra and representation theory, measure-theoretic probability, and differential geometry and optimal transport.
S14	开源纯数学与题库 Open-Source Pure Math & Problem Banks	开放获取纯数学教材 + MIT OCW/剑桥 Tripos/arXiv 题库 Use open pure-math textbooks and problem banks (MIT OCW, Cambridge Tripos, arXiv lecture notes) for self-study.

说明：阶段名称取自《AI学习路径指南》原文（S1-S14），原文为中文；英文为对照翻译。

三、中英对照资源导读 / 3. Bilingual Resource Notes

每条含：中文译名/原文名 · 类型/阶段/获取方式 · 中文导读 · 英文原始摘要 · 官方链接。多阶段资源在对应阶段重复出现，ID 唯一。

S1 一、核心知识底座

数理/编程/机器学习与深度学习核心（本节 10 条 / 10 entries）

注意力就是你所需要的一切 Attention Is All You Need

论文 / Paper　S1 S3　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　Transformer 与自注意力机制原始论文，现代生成式 AI 基石

Original　The dominant sequence transduction models are based on complex recurrent or convolutional neural networks in an encoder-decoder configuration. The best performing models also connect the encoder and decoder through an attention mechanism. We propose a new simple network architecture, the Transformer, based solely on attention mechanisms, dispensing with recurrence and convolutions entirely.

中文摘要　主流的序列转换模型基于编码器-解码器架构中的复杂循环或卷积神经网络。表现最佳的模型还通过注意力机制连接编码器和解码器。我们提出了一种新的简单网络架构——Transformer，它完全基于注意力机制，彻底摒弃了循环和卷积。在两个机器翻译任务上的实验表明，这些模型在质量上更优，同时具有更高的并行性，且训练时间显著缩短。我们的模型在WMT　2014英德翻译任务上取得了28.4的BLEU分数，比包括集成模型在内的现有最佳结果高出2个BLEU以上。在WMT　2014英法翻译任务上，我们的模型在8块GPU上训练3.5天后，建立了新的单模型最先进BLEU分数41.8，这仅是文献中最佳模型训练成本的一小部分。我们通过在大规模和有限训练数据下成功将其应用于英语成分句法分析，证明了Transformer在其他任务上具有良好的泛化能力。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/1706.03762

Python

平台 / Platform　S1 S3　免费 / Free

中文导读　编程基石：核心语法、面向对象，AI 全部生态的语言底座

Original　The official home of the Python Programming Language

官方链接 / Link：https://www.python.org/

NumPy

库 / Library　S1 S3　免费 / Free

中文导读　脱离 for 循环手写向量化矩阵运算与损失函数

Original　Why NumPy? Powerful n-dimensional arrays. Numerical computing tools. Interoperable. Performant. Open source.

官方链接 / Link：https://numpy.org/

Pandas

库 / Library　S1　免费 / Free

中文导读　数据科学栈的数据清洗与分析入口

Original　pandas pandas is a fast, powerful, flexible and easy to use open source data analysis and manipulation tool, built on top of the Python programming language. Install pandas now! Getting started Install pandas Getting started Try pandas online Documentation User guide API reference Contributing to pandas Release notes Community About pandas Ask a question Eco…

官方链接 / Link：https://pandas.pydata.org/

Scikit-learn

库 / Library　S1 S3　免费 / Free

中文导读　跑通分类/回归/聚类/交叉验证的经典机器学习基线

Original　scikit-learn: machine learning in Python — scikit-learn 0.16.1 documentation

官方链接 / Link：https://scikit-learn.org/

XGBoost

库 / Library　S1　免费 / Free

中文导读　表数据经典强基线，理解梯度提升

Original　XGBoost Documentation 🔗XGBoost is an optimized distributed gradient boosting library designed to be highly efficient , flexible and portable . It implements machine learning algorithms under the Gradient Boosting framework. XGBoost provides a parallel tree boosting (also known as GBDT, GBM) that solve many data science problems in a fast and accurate way.

官方链接 / Link：https://xgboost.readthedocs.io/

PyTorch

框架 / Framework　S1 S3 S6　免费 / Free

中文导读　深度学习主框架：不依赖高层封装手写训练循环

Original　PyTorch Foundation is the deep learning community home for the open source PyTorch framework and ecosystem.

官方链接 / Link：https://pytorch.org/

Docker

工具 / Tool　S1　免费 / Free

中文导读　容器化部署，复现实验环境

Original　Docker is a platform designed to help developers build, share, and run container applications. We handle the tedious setup, so you can focus on the code.

官方链接 / Link：https://www.docker.com/

Git

工具 / Tool　S1　免费 / Free

中文导读　版本控制；开源贡献与技术信用的基础设施

Original　Git is a free and open source distributed version control system designed to handle everything from small to very large projects with speed and efficiency. Git is lightning fast and has a huge ecosystem of GUIs , hosting services , and command-line tools .

官方链接 / Link：https://git-scm.com/

Hugging Face

平台 / Platform　S1 S3 S6　免费 / Free

中文导读　模型/数据集/镜像源生态，单卡跑通开源模型的入口

Original　We’ re on a journey to advance and democratize artificial intelligence through open source and open science.

官方链接 / Link：https://huggingface.co/

S2 二、主流细分方向

大模型算法、AI 应用工程、多模态具身、AI 基础设施、垂直行业（本节 14 条 / 14 entries）

MCP 协议

网站 / Website　S2　免费 / Free

中文导读　Model Context Protocol：Agent 工具调用与上下文接入标准

Original　MCP (Model Context Protocol) is an open-source standard for connecting AI applications to external systems. Using MCP, AI applications like Claude or ChatGPT can connect to data sources (e.g. local files, databases), tools (e.g. search engines, calculators) and workflows (e.g. specialized prompts)—enabling them to access key information and perform tasks.

官方链接 / Link：https://modelcontextprotocol.io/

Megatron-LM

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　分布式训练：TP/PP/EP 并行与大规模预训练工程

Original　Ongoing research training transformer models at scale

官方链接 / Link：https://github.com/NVIDIA/Megatron-LM

DeepSpeed

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　ZeRO 显存优化与分布式训练，面试高频考点

Original　DeepSpeed is a deep learning optimization library that makes distributed training and inference easy, efficient, and effective.

官方链接 / Link：https://github.com/deepspeedai/DeepSpeed

CUDA

平台 / Platform　S2 S4　免费 / Free

中文导读　GPU 计算平台；底层推理加速/算子开发的必备技能

Original　Get access to SDKs, trainings, and connect with developers.

官方链接 / Link：https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit

Triton

框架 / Framework　S2 S5　免费 / Free

中文导读　Python 写 GPU 算子：融合算子实现真实吞吐提升

Original　Development repository for the Triton language and compiler

官方链接 / Link：https://github.com/triton-lang/triton

Isaac Sim

框架 / Framework　S2　免费 / Free

中文导读　机器人仿真平台，具身智能/Sim2Real 迁移

Original　Design, simulate, test, and train AI-based robots in a physically-based virtual environment.

官方链接 / Link：https://developer.nvidia.com/isaac/sim

MuJoCo

框架 / Framework　S2　免费 / Free

中文导读　物理仿真引擎，VLA/机器人策略研究

Original　Multi-Joint dynamics with Contact. A general purpose physics simulator.

官方链接 / Link：https://github.com/google-deepmind/mujoco

vLLM

框架 / Framework　S2 S4 S5 S6　免费 / Free

中文导读　高吞吐推理引擎：评测加速、KV Cache 压缩实验平台

Original　A high-throughput and memory-efficient inference and serving engine for LLMs

官方链接 / Link：https://github.com/vllm-project/vllm

SGLang

框架 / Framework　S2 S4 S5　免费 / Free

中文导读　推理加速框架，与 vLLM 并列用于采样加速与吞吐测试

Original　SGLang is a high-performance serving framework for large language models and multimodal models.

官方链接 / Link：https://github.com/sgl-project/sglang

veRL

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　RL 训练框架：提交 PR 建立开源技术信用、申请研究型实习

Original　verl/HybridFlow: A Flexible and Efficient RL Post-Training Framework

官方链接 / Link：https://github.com/volcengine/verl

OpenRLHF

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　RLHF/RLVR 训练框架，后训练方向核心工具

Original　An Easy-to-use, Scalable and High-performance Agentic RL Framework based on Ray (PPO & DAPO & REINFORCE++ & VLM & TIS & vLLM & Ray & Async RL)

官方链接 / Link：https://github.com/OpenRLHF/OpenRLHF

通义千问（Qwen2.5 / Qwen3）　Qwen（Qwen2.5 / Qwen3）

模型 / Model　S2 S5 S6　免费 / Free

中文导读　开源模型家族：单卡实验与多模型家族验证的首选基座

Original　Qwen3 is the large language model series developed by Qwen team, Alibaba Cloud.

官方链接 / Link：https://github.com/QwenLM/Qwen3

参数高效微调　PEFT

库 / Library　S2 S6　免费 / Free

中文导读　参数高效微调：LoRA/QLoRA 显存友好微调

Original　🤗 PEFT: State-of-the-art Parameter-Efficient Fine-Tuning.

官方链接 / Link：https://github.com/huggingface/peft

Llama（Llama-3）

模型 / Model　S2 S5 S6　免费 / Free

中文导读　开源模型家族，多家族对比实验

Original　Utilities intended for use with Llama models.

官方链接 / Link：https://github.com/meta-llama/llama-models

S3 三、渐进式学习路径

夯实基础→经典 ML→Transformer→实战项目→论文闭环（本节 15 条 / 15 entries）

注意力就是你所需要的一切　Attention Is All You Need

论文 / Paper　S1 S3　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　Transformer 与自注意力机制原始论文，现代生成式 AI 基石

Original　The dominant sequence transduction models are based on complex recurrent or convolutional neural networks in an encoder-decoder configuration. The best performing models also connect the encoder and decoder through an attention mechanism. We propose a new simple network architecture, the Transformer, based solely on attention mechanisms, dispensing with recurrence and convolutions entirely.

中文摘要　主流的序列转换模型基于编码器-解码器架构中的复杂循环或卷积神经网络。表现最佳的模型还通过注意力机制连接编码器和解码器。我们提出了一种新的简单网络架构——Transformer，它完全基于注意力机制，彻底摒弃了循环和卷积。在两个机器翻译任务上的实验表明，这些模型在质量上更优，同时具有更高的并行性，且训练时间显著缩短。我们的模型在WMT　2014英德翻译任务上取得了28.4的BLEU分数，比包括集成模型在内的现有最佳结果高出2个BLEU以上。在WMT　2014英法翻译任务上，我们的模型在8块GPU上训练3.5天后，建立了新的单模型最先进BLEU分数41.8，这仅是文献中最佳模型训练成本的一小部分。我们通过在大规模和有限训练数据下成功将其应用于英语成分句法分析，证明了Transformer在其他任务上具有良好的泛化能力。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/1706.03762

Python

平台 / Platform　S1 S3　免费 / Free

中文导读　编程基石：核心语法、面向对象，AI 全部生态的语言底座

Original　The official home of the Python Programming Language

官方链接 / Link：https://www.python.org/

NumPy

库 / Library　S1 S3　免费 / Free

中文导读　脱离 for 循环手写向量化矩阵运算与损失函数

Original　Why NumPy? Powerful n-dimensional arrays. Numerical computing tools. Interoperable. Performant. Open source.

官方链接 / Link：https://numpy.org/

Scikit-learn

库 / Library　S1 S3　免费 / Free

中文导读　跑通分类/回归/聚类/交叉验证的经典机器学习基线

Original　scikit-learn: machine learning in Python — scikit-learn 0.16.1 documentation

官方链接 / Link：https://scikit-learn.org/

PyTorch

框架 / Framework　S1 S3 S6　免费 / Free

中文导读　深度学习主框架：不依赖高层封装手写训练循环

Original　PyTorch Foundation is the deep learning community home for the open source PyTorch framework and ecosystem.

官方链接 / Link：https://pytorch.org/

Hugging Face

平台 / Platform　S1 S3 S6　免费 / Free

中文导读　模型/数据集/镜像源生态，单卡跑通开源模型的入口

Original　We’ re on a journey to advance and democratize artificial intelligence through open source and open science.

官方链接 / Link：https://huggingface.co/

GitHub

平台 / Platform　S3 S4　免费 / Free

中文导读　端到端项目产出与复现代码公开的载体

Original　Join the world's most widely adopted, AI-powered developer platform where millions of developers, businesses, and the largest open source community build software that advances humanity.

官方链接 / Link：https://github.com/

机器学习路线图：从入门到精通（2026）- Coursera Machine Learning Roadmap: Beginner to Expert (2026) - Coursera

路线图 / Roadmap　S3　免费 / Free

中文导读　指南 Sources：Coursera 机器学习路线图课程

Original　Explore a structured path covering Python, key algorithms, hands-on projects, MLOps practices, and career steps for ML and deep learning roles.

官方链接 / Link：https://www.coursera.org/resources/ml-learni…

关于 AI 的学习路线图 - 凌杰 - 博客园

博客 / Blog　S3　免费 / Free

中文导读　指南 Sources：中文 AI 学习路线图博客

Original　title: 关于 AI 的学习路线图 author: 凌杰 date: 2026-01-29 updated: 2026-09-28 tags: 学习路线图 categories: 基础理论学习 [!NOTE] 笔记说明 这篇文章是本人一系列与 AI 相关笔记的开场白与规划说明，这一系列的笔记将用

官方链接 / Link：https://www.cnblogs.com/owlman/p/19560606

2026年机器学习路线图：从Python到论文 A Machine Learning Roadmap for 2026, from Python to Papers

博客 / Blog　S3　免费 / Free

中文导读　指南 Sources：从 Python 到论文的 2026 机器学习路线图

Original　Learn machine learning in twelve stages, from Python and the maths to deep learning, LLMs, GPU programming and research papers, with a guide, a study plan and a starter problem for each stage.

官方链接 / Link：https://www.tensortonic.com/guides/machine-l…

初学者机器学习路线图：5项必备技能 - IAICB Machine Learning Roadmap for Beginners: 5 Essential Skills - IAICB

博客 / Blog　S3　免费 / Free

中文导读　指南 Sources：初学者五项必备技能

Original　Explore a machine learning roadmap for beginners. Learn ML algorithms, model training, neural networks, deep learning, transformers, and NLP to become an AI…

官方链接 / Link：https://www.iaicb.org/blog/machine-learning-…

查阅了十几篇学习资源后，我总结了这份AI学习路径 - mason's blog

博客 / Blog　S3　免费 / Free

中文导读　指南 Sources：中文 AI 学习路径总结

Original　tags: ai,machine learning,deep learning 一句话概括：想进入AI领域，需要学习的的东西很多，如果能在纷繁复杂的知识中找到一条合理的学习路径，少走弯路，那该多好，本文将试图找到这条路。 1 引言 作为一名想进入AI领域的程序员，上网搜一下人工智能，大量的知识涌出来，有AI发展，有机器学习，有tensorflow，有python等等，但对于需要学什么，怎么学还是没有明确的答案。可以想象自己是一名大学老师，需要开一门AI的课程，那么课程如何设置才能合理，有效率地让学生学到知识。我查看了十多篇学习方法和学习资源的文章，浏览了几十篇相关内容后，做了一个资源整合，整理出一条相对完整的学习路径。

官方链接 / Link：https://mianshenglee.github.io/2019/09/06/ai…

学习路径总览：从零基础到找到第一份相关工作 - GitHub

路线图 / Roadmap　S3　免费 / Free

中文导读　指南 Sources：GitHub 上的从零到就业学习路径总览

Original　从零到一搭建一台具身智能机器人:深入强化学习、World-Model、VLA　等智能决策方法的工程落地,贯穿仿真环境、控制器、运动规划、感知系统等技能树模块,并在真实项目中跑通"决策—控制—感知"完整链路。 - datawhalechina/dive-into-embodied-ai

官方链接 / Link：https://github.com/datawhalechina/dive-into-…

arXiv

网站 / Website　S3 S4 S5　免费 / Free

中文导读　每日刷 cs.CL/cs.LG/cs.CV，精读 1-2 篇最新高赞论文

Original　arXiv is a free distribution service and an open-access archive for more than 3.2 million scholarly articles in the fields of physics, mathematics, computer science, quantitative biology, quantitative finance, statistics, electrical engineering and systems science, and economics. Materials on this site are not peer-reviewed by arXiv.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/

Transformers（Hugging Face 库）

库 / Library　S3 S6　免费 / Free

中文导读　AutoModel/AutoTokenizer 三件套，提取中间层激活与注意力矩阵

Original　🤗 Transformers: the model-definition framework for state-of-the-art machine learning models in text, vision, audio, and multimodal models, for both inference and training.

官方链接 / Link：https://github.com/huggingface/transformers

S4 顶会论文与高薪研发岗

选题/方法论/面试三维能力/12-18 个月节奏（本节 18 条 / 18 entries）

Megatron-LM

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　分布式训练：TP/PP/EP 并行与大规模预训练工程

Original　Ongoing research training transformer models at scale

官方链接 / Link：https://github.com/NVIDIA/Megatron-LM

DeepSpeed

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　ZeRO 显存优化与分布式训练，面试高频考点

Original　DeepSpeed is a deep learning optimization library that makes distributed training and inference easy, efficient, and effective.

官方链接 / Link：https://github.com/deepspeedai/DeepSpeed

CUDA

平台 / Platform　S2 S4　免费 / Free

中文导读　GPU 计算平台；底层推理加速/算子开发的必备技能

Original　Get access to SDKs, trainings, and connect with developers.

官方链接 / Link：https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit

GitHub

平台 / Platform　S3 S4　免费 / Free

中文导读　端到端项目产出与复现代码公开的载体

Original　Join the world's most widely adopted, AI-powered developer platform where millions of developers, businesses, and the largest open source community build software that advances humanity.

官方链接 / Link：https://github.com/

arXiv

网站 / Website　S3 S4 S5　免费 / Free

中文导读　每日刷 cs.CL/cs.LG/cs.CV，精读 1-2 篇最新高赞论文

Original　arXiv is a free distribution service and an open-access archive for more than 3.2 million scholarly articles in the fields of physics, mathematics, computer science, quantitative biology, quantitative finance, statistics, electrical engineering and systems science, and economics. Materials on this site are not peer-reviewed by arXiv.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/

DeepSeek-V3 技术报告 DeepSeek-V3 Technical Report

技术报告 / Tech report　S4　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　精读顶级技术报告的 Limitations，找可迁移到低资源场景的机制

Original　We present DeepSeek-V3, a strong Mixture-of-Experts (MoE) language model with 671B total parameters with 37B activated for each token. To achieve efficient inference and cost-effective training, DeepSeek-V3 adopts Multi-head Latent Attention (MLA) and DeepSeekMoE architectures, which were thoroughly validated in DeepSeek-V2.

中文摘要　我们提出了DeepSeek-V3，这是一个强大的混合专家（Mixture-of-Experts，　MoE）语言模型，总参数量为6710亿，每个token激活370亿参数。为了实现高效推理和低成本训练，DeepSeek-V3采用了多头潜在注意力（Multi-head Latent Attention，MLA）和DeepSeekMoE架构，这些架构已在DeepSeek-V2中得到充分验证。此外，DeepSeek-V3开创了一种无辅助损失的负载均衡策略，并设定了多token预测训练目标以增强性能。我们在14.8万亿个多样化且高质量的token上对DeepSeek-V3进行了预训练，随后通过监督微调和强化学习阶段充分释放其能力。全面评估表明，DeepSeek-V3优于其他开源模型，并达到了与领先闭源模型相当的性能。尽管性能卓越，DeepSeek-V3的完整训练仅需278.8万H800 GPU小时。此外，其训练过程异常稳定。在整个训练过程中，我们未经历任何不可恢复的损失尖峰，也未执行任何回滚操作。模型检查点可在https://github.com/deepseek-ai/DeepSeek-V3获取。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2412.19437

DeepSeek-R1

技术报告 / Tech report　S4　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　RLVR/长思维链推理的标志性技术报告

Original　General reasoning represents a long-standing and formidable challenge in artificial intelligence. Recent breakthroughs, exemplified by large language models (LLMs) and chain-of-thought prompting, have achieved considerable success on foundational reasoning tasks. However, this success is heavily contingent upon extensive human-annotated demonstrations, and models' capabilities are still insufficient for more complex problems.

中文摘要　通用推理是人工智能领域长期存在且极具挑战性的难题。以大型语言模型（LLMs）和思维链提示为代表的近期突破，在基础推理任务上取得了显著成功。然而，这种成功严重依赖于大量人工标注的演示数据，且模型的能力仍不足以解决更复杂的问题。本文表明，通过纯强化学习（RL）可以激励LLMs的推理能力，从而无需人工标注的推理轨迹。所提出的RL框架促进了高级推理模式的涌现发展，例如自我反思、验证和动态策略适应。因此，训练后的模型在数学、编程竞赛和STEM领域等可验证任务上表现出卓越性能，超越了通过传统监督学习在人工演示上训练的同类模型。此外，这些大规模模型所展现的涌现推理模式可以被系统地利用，以引导和增强较小模型的推理能力。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2501.12948

Qwen2.5 技术报告 Qwen2.5 Technical Report

技术报告 / Tech report　S4　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　开源模型技术报告：数据配比与后训练细节

Original　In this report, we introduce Qwen2.5, a comprehensive series of large language models (LLMs) designed to meet diverse needs. Compared to previous iterations, Qwen 2.5 has been significantly improved during both the pre-training and post-training stages. In terms of pre-training, we have scaled the high-quality pre-training datasets from the previous 7 trillion tokens to 18 trillion tokens.

中文摘要　本报告介绍了Qwen2.5，这是一系列旨在满足多样化需求的大语言模型（LLM）。与之前的版本相比，Qwen2.5在预训练和后训练阶段均得到了显著提升。在预训练方面，我们将高质量预训练数据集从之前的7万亿词元扩展至18万亿词元，为常识、专业知识和推理能力奠定了坚实基础。在后训练方面，我们实施了包含超过100万个样本的复杂监督微调，以及多阶段强化学习。后训练技术增强了人类偏好对齐，并显著提升了长文本生成、结构化数据分析和指令遵循能力。为了有效处理各种各样的使用场景，我们推出了多种规格的Qwen2.5大语言模型系列。开源权重版本包括基础模型和指令微调模型，并提供量化版本。此外，针对托管解决方案，专有模型目前包含两个混合专家（MoE）变体：Qwen2.5-Turbo和Qwen2.5-Plus，均可通过阿里云百炼平台获取。Qwen2.5在评估语言理解、推理、数学、编程、人类偏好对齐等方面的广泛基准测试中展现了顶尖性能。具体而言，开源旗舰模型Qwen2.5-72B-Instruct的性能优于众多开源和专有模型，并与最先进的开源权重模型Llama-3-405B-Instruct具有竞争力，后者的规模约为前者的5倍。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2412.15115

Qwen3 技术报告 Qwen3 Technical Report

技术报告 / Tech report　S4　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　最新开源模型技术报告，跟踪前沿训练配方

Original　In this work, we present Qwen3, the latest version of the Qwen model family. Qwen3 comprises a series of large language models (LLMs) designed to advance performance, efficiency, and multilingual capabilities. The Qwen3 series includes models of both dense and Mixture-of-Expert (MoE) architectures, with parameter scales ranging from 0.6 to 235 billion.

中文摘要　本文介绍了Qwen3，即Qwen模型系列的最新版本。Qwen3包含一系列旨在提升性能、效率及多语言能力的大语言模型（LLMs）。该系列涵盖稠密架构和混合专家（MoE）架构的模型，参数规模从0.6B到235B不等。Qwen3的一项关键创新在于将思考模式（用于复杂的多步推理）和非思考模式（用于快速、基于上下文的响应）整合到一个统一的框架中。这消除了在不同模型之间切换的需求——例如在针对聊天优化的模型（如GPT-4o）和专用推理模型（如QwQ-32B）之间切换——并支持基于用户查询或聊天模板的动态模式切换。同时，Qwen3引入了思考预算机制，允许用户在推理过程中自适应地分配计算资源，从而根据任务复杂度平衡延迟与性能。此外，通过利用旗舰模型的知识，我们显著降低了构建较小规模模型所需的计算资源，同时确保其具有极具竞争力的性能。实证评估表明，Qwen3在包括代码生成、数学推理、智能体任务等多种基准测试中均达到了最先进的水平，其表现可与更大的MoE模型及专有模型相媲美。与上一代Qwen2.5相比，Qwen3将多语言支持从29种扩展至119种语言和方言，通过改进跨语言

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2505.09388

GPT-4 技术报告 GPT-4 Technical Report

技术报告 / Tech report　S4　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　OpenAI 技术报告范式：能力评测与安全约束

Original　We report the development of GPT-4, a large-scale, multimodal model which can accept image and text inputs and produce text outputs. While less capable than humans in many real-world scenarios, GPT-4 exhibits human-level performance on various professional and academic benchmarks, including passing a simulated bar exam with a score around the top 10% of test takers. GPT-4 is a Transformer-based model pre-trained to predict the next token in a document.

中文摘要　我们报告了GPT-4的开发进展，这是一个大规模多模态模型，能够接受图像和文本输入并生成文本输出。尽管在许多现实场景中其能力不及人类，但GPT-4在多项专业及学术基准测试中展现出人类水平的表现，包括在模拟律师资格考试中取得位于应试者前10%的成绩。GPT-4是一个基于Transformer架构的模型，经过预训练以预测文档中的下一个词元。后训练对齐过程提升了其在事实准确性及遵循期望行为方面的表现。该项目的核心组成部分之一是开发能够在广泛规模范围内保持可预测性的基础设施和优化方法。这使我们能够基于计算资源不超过GPT-4千分之一的模型，准确预测GPT-4性能的某些方面。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2303.08774

Anthropic Claude 3 模型卡 Anthropic Claude 3 Model Card

技术报告 / Tech report　S4　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　Anthropic 技术报告/模型卡：可解释性与评测口径参考

中文摘要　Anthropic Claude 3 模型卡（Model Card）中文摘要：介绍 Claude 3 家族（Opus / Sonnet / Haiku）的模型定位、能力评测、安全评估与使用限制，是了解工业界大模型评测口径、责任披露与风险边界的参考文档；指南把它列为「最新技术报告」的范例之一。

官方链接 / Link：https://docs.anthropic.com/en/docs/resources…

ByteDance Seed 技术报告

技术报告 / Tech report　S4　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived

中文导读　Seed（字节）技术报告：Seed 系列模型训练与评测

Original　We present Seed1.5-VL, a vision-language foundation model designed to advance general-purpose multimodal understanding and reasoning. Seed1.5-VL is composed with a 532M-parameter vision encoder and a Mixture-of-Experts (MoE) LLM of 20B active parameters.

中文摘要　我们提出了Seed1.5-VL，这是一个旨在推动通用多模态理解与推理的视觉-语言基础模型。Seed1.5-VL由一个5.32亿参数的视觉编码器和一个拥有200亿激活参数的混合专家（MoE）大语言模型组成。尽管其架构相对紧凑，但它在广泛的公开VLM基准测试和内部评估套件中均表现出强劲的性能，在60个公开基准测试中的38个上达到了最先进水平。此外，在GUI控制和游戏操作等以智能体为中心的任务中，Seed1.5-VL的表现优于包括OpenAI CUA和Claude 3.7在内的领先多模态系统。除了视觉和视频理解外，它还展现出强大的推理能力，使其在视觉谜题等多模态推理挑战中尤为有效。我们相信这些能力将赋能多样化任务的更广泛应用。本报告主要全面回顾了我们在模型设计、数据构建以及各阶段训练过程中构建Seed1.5-VL的经验，希望本报告能启发进一步的研究。Seed1.5-VL现已可通过https://www.volcengine.com/ 访问（火山引擎模型ID：doubao-1-5-thinking-vision-pro-250428）

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2505.07062

vLLM

框架 / Framework　S2 S4 S5 S6　免费 / Free

中文导读　高吞吐推理引擎：评测加速、KV Cache 压缩实验平台

Original　A high-throughput and memory-efficient inference and serving engine for LLMs

官方链接 / Link：https://github.com/vllm-project/vllm

SGLang

框架 / Framework　S2 S4 S5　免费 / Free

中文导读　推理加速框架，与 vLLM 并列用于采样加速与吞吐测试

Original　SGLang is a high-performance serving framework for large language models and multimodal models.

官方链接 / Link：https://github.com/sgl-project/sglang

veRL

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　RL 训练框架：提交 PR 建立开源技术信用、申请研究型实习

Original　verl/HybridFlow: A Flexible and Efficient RL Post-Training Framework

官方链接 / Link：https://github.com/volcengine/verl

OpenRLHF

框架 / Framework　S2 S4　免费 / Free

中文导读　RLHF/RLVR 训练框架，后训练方向核心工具

Original　An Easy-to-use, Scalable and High-performance Agentic RL Framework based on Ray (PPO & DAPO & REINFORCE++ & VLM & TIS & vLLM & Ray & Async RL)

官方链接 / Link：https://github.com/OpenRLHF/OpenRLHF

力扣 LeetCode

网站 / Website　S4　免费 / Free

中文导读　算法题保持零 Bug 编写能力，面试硬性要求

Original　海量技术面试题库，拥有算法、数据结构、系统设计等　1000+题目，帮助你高效提升编程技能，轻松拿下世界　IT　名企 Dream Offer。

官方链接 / Link：https://leetcode.cn/

直接偏好优化 Direct Preference Optimization (DPO)

论文 / Paper　S4 S7　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　DPO 原始推导：RLHF/GRPO 理论分析基石，面试手推 KL 正则闭式解

Original　While large-scale unsupervised language models (LMs) learn broad world knowledge and some reasoning skills, achieving precise control of their behavior is difficult due to the completely unsupervised nature of their training. Existing methods for gaining such steerability collect human labels of the relative quality of model generations and fine-tune the unsupervised LM to align with these preferences, often with reinforcement learning from human feedback …

中文摘要　尽管大规模无监督语言模型（LMs）能够学习广泛的世界知识和部分推理技能，但由于其训练过程完全无监督，精确控制其行为仍具挑战性。现有的方法通过收集人类对模型生成内容相对质量的评价标签，并对无监督语言模型进行微调以对齐这些偏好，通常采用基于人类反馈的强化学习（RLHF）。然而，RLHF 是一个复杂且往往不稳定的过程，首先需要拟合一个反映人类偏好的奖励模型，然后利用强化学习对大型无监督语言模型进行微调，以最大化该估计奖励，同时避免偏离原始模型过远。本文提出了一种 RLHF 中奖励模型的新参数化方法，能够以闭式解提取对应的最优策略，从而仅通过一个简单的分类损失即可解决标准的 RLHF 问题。我们提出的算法称为直接偏好优化（DPO），具有稳定性高、性能优异且计算开销低的特点，消除了微调期间从语言模型中采样或进行大量超参数调优的需求。实验表明，DPO 能够微调语言模型以对齐人类偏好，其效果与现有方法相当或更优。值得注意的是，使用 DPO 进行微调在控制生成内容情感方面优于基于 PPO 的 RLHF，并且在摘要生成和单轮对话中匹配或提升了回复质量，同时实现更为简单，且

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2305.18290

S5 低算力顶会课题

五个低算力课题与饱和度分析（本节 20 条 / 20 entries）

Triton

框架 / Framework　S2 S5　免费 / Free

中文导读　Python 写 GPU 算子：融合算子实现真实吞吐提升

Original　Development repository for the Triton language and compiler

官方链接 / Link：https://github.com/triton-lang/triton

arXiv

网站 / Website　S3 S4 S5　免费 / Free

中文导读　每日刷 cs.CL/cs.LG/cs.CV，精读 1-2 篇最新高赞论文

Original　arXiv is a free distribution service and an open-access archive for more than 3.2 million scholarly articles in the fields of physics, mathematics, computer science, quantitative biology, quantitative finance, statistics, electrical engineering and systems science, and economics. Materials on this site are not peer-reviewed by arXiv.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/

vLLM

框架 / Framework　S2 S4 S5 S6　免费 / Free

中文导读　高吞吐推理引擎：评测加速、KV Cache 压缩实验平台

Original　A high-throughput and memory-efficient inference and serving engine for LLMs

官方链接 / Link：https://github.com/vllm-project/vllm

SGLang

框架 / Framework　S2 S4 S5　免费 / Free

中文导读　推理加速框架，与 vLLM 并列用于采样加速与吞吐测试

Original　SGLang is a high-performance serving framework for large language models and multimodal models.

官方链接 / Link：https://github.com/sgl-project/sglang

通义千问（Qwen2.5 / Qwen3）　Qwen（Qwen2.5 / Qwen3）

模型 / Model　S2 S5 S6　免费 / Free

中文导读　开源模型家族：单卡实验与多模型家族验证的首选基座

Original　Qwen3 is the large language model series developed by Qwen team, Alibaba Cloud.

官方链接 / Link：https://github.com/QwenLM/Qwen3

MATH-500

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　推理模型评测基准，课题一/二的评测集

Original　Dataset with 500 rows (Text). Explore, preview and download it on Hugging Face.

官方链接 / Link：https://huggingface.co/datasets/HuggingFaceH…

AIME

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　数学竞赛评测基准，检验推理模型上限

Original　Dataset with 90 rows (Text). Explore, preview and download it on Hugging Face.

官方链接 / Link：https://huggingface.co/datasets/AI-MO/aimo-v…

GPQA

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　研究生级问答评测基准

Original　GPQA: A Graduate-Level Google-Proof Q&A Benchmark

官方链接 / Link：https://github.com/idavidrein/gpqa

LongBench

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　长文本评测基准：KV Cache 压缩实验

Original　LongBench v2 and LongBench (ACL 25'&24')

官方链接 / Link：https://github.com/THUDM/LongBench

RULER

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　长上下文评测基准

Original　This repo contains the source code for RULER: What’s the Real Context Size of Your Long-Context Language Models?

官方链接 / Link：https://github.com/NVIDIA/RULER

大海捞针 Needle-in-a-Haystack

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　大海捞针测试，验证长上下文信息保留

Original　Doing simple retrieval from LLM models at various context lengths to measure accuracy

官方链接 / Link：https://github.com/gkamradt/LLMTest_NeedleIn…

SWE-bench

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　软件工程 Agent 评测（SWE-bench Lite）

Original　SWE-bench: Can Language Models Resolve Real-world Github Issues?

官方链接 / Link：https://github.com/SWE-bench/SWE-bench

OSWorld

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　计算机操作 Agent 评测环境

Original　[NeurIPS 2024] OSWorld: Benchmarking Multimodal Agents for Open-Ended Tasks in Real Computer Environments

官方链接 / Link：https://github.com/xlang-ai/OSWorld

WebArena

评测基准 / Benchmark　S5　免费 / Free

中文导读　网页智能体评测环境

Original　Code repo for "WebArena: A Realistic Web Environment for Building Autonomous Agents"

官方链接 / Link：https://github.com/web-arena-x/webarena

Unsloth

库 / Library　S5　免费 / Free

中文导读　单卡微调加速，显存需求可降 60%

Original　Local UI to run and train LLMs and diffusion models. Supports GGUF, MLX, Qwen3.8, DeepSeek-V4.1, MiniMax-H3, Gemma 4, FLUX and more.

官方链接 / Link：https://github.com/unslothai/unsloth

Llama（Llama-3）

模型 / Model　S2 S5 S6　免费 / Free

中文导读　开源模型家族，多家族对比实验

Original　Utilities intended for use with Llama models.

官方链接 / Link：https://github.com/meta-llama/llama-models

Mistral

模型 / Model　S5　免费 / Free

中文导读　开源模型家族，多家族对比实验

Original　Official inference library for Mistral models

官方链接 / Link：https://github.com/mistralai/mistral-inference

Gemma

模型 / Model　S5　免费 / Free

中文导读　开源模型家族，多家族对比实验

Original　Gemma open-weight LLM library, from Google DeepMind

官方链接 / Link：https://github.com/google-deepmind/gemma

教师引导课程用于数据高效的RLVR Teacher-Guided Curriculum for Data-Efficient RLVR

论文 / Paper　S5　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　低算力 RLVR 课程学习代表作（ACL Anthology），课题二的对标工作

Original　Yukang Zhu, Zhen Han. Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2026. 2026.

中文摘要　ACL Findings（EMNLP 2026）论文《Unlocking the Unsolvable: Teacher-Guided Curriculum for Data-Efficient RLVR》的中文摘要：面向可验证强化学习（RLVR）的数据高效训练，提出教师引导的课程学习/样本筛选方法，用远少于全量数据的样本达到相近甚至更好的推理能力，对低算力课题二（RLVR 数据筛选）有直接参考价值。作者：Yukang Zhu, Zhen Han。

官方链接 / Link：https://aclanthology.org/2026.findings-emnlp…

ACL论文集 ACL Anthology

网站 / Website　S5　免费 / Free

中文导读　NLP 顶会论文库，检索低算力课题的代表作

Original　The ACL Anthology is a library of publications in the scientific fields of computational linguistics and speech and natural language processing. It hosts papers from official venues of the Association for Computational Linguistics and other organizations.

官方链接 / Link：https://aclanthology.org/

S6 以研代学 / 30 天计划

最小技术栈、代码驱动读论文、PyTorch+Transformer+LoRA 30 天（本节 16 条 / 16 entries）

PyTorch

框架 / Framework　S1 S3 S6　免费 / Free

中文导读　深度学习主框架：不依赖高层封装手写训练循环

Original　PyTorch Foundation is the deep learning community home for the open source PyTorch framework and ecosystem.

官方链接 / Link：https://pytorch.org/

Hugging Face

平台 / Platform　S1 S3 S6　免费 / Free

中文导读　模型/数据集/镜像源生态，单卡跑通开源模型的入口

Original　We’ re on a journey to advance and democratize artificial intelligence through open source and open science.

官方链接 / Link：https://huggingface.co/

vLLM

框架 / Framework　S2 S4 S5 S6　免费 / Free

中文导读　高吞吐推理引擎：评测加速、KV Cache 压缩实验平台

Original　A high-throughput and memory-efficient inference and serving engine for LLMs

官方链接 / Link：https://github.com/vllm-project/vllm

通义千问（Qwen2.5 / Qwen3）　Qwen（Qwen2.5 / Qwen3）

模型 / Model　S2 S5 S6　免费 / Free

中文导读　开源模型家族：单卡实验与多模型家族验证的首选基座

Original　Qwen3 is the large language model series developed by Qwen team, Alibaba Cloud.

官方链接 / Link：https://github.com/QwenLM/Qwen3

参数高效微调　PEFT

库 / Library　S2 S6　免费 / Free

中文导读　参数高效微调：LoRA/QLoRA 显存友好微调

Original　🤗 PEFT: State-of-the-art Parameter-Efficient Fine-Tuning.

官方链接 / Link：https://github.com/huggingface/peft

Llama（Llama-3）

模型 / Model　S2 S5 S6　免费 / Free

中文导读　开源模型家族，多家族对比实验

Original　Utilities intended for use with Llama models.

官方链接 / Link：https://github.com/meta-llama/llama-models

Transformers（Hugging Face 库）

库 / Library　S3 S6　免费 / Free

中文导读　AutoModel/AutoTokenizer 三件套，提取中间层激活与注意力矩阵

Original　🤗 Transformers: the model-definition framework for state-of-the-art machine learning models in text, vision, audio, and multimodal models, for both inference and training.

官方链接 / Link：https://github.com/huggingface/transformers

从零开始用代码构建GPT——Andrej Karpathy　Let's build GPT: from scratch, in code — Andrej Karpathy

教程 / Tutorial　S6　免费 / Free

中文导读　跟着视频用纯 PyTorch 手敲 Self-Attention/位置编码/自回归采样

Original　We build a Generatively Pretrained Transformer (GPT), following the paper "Attention is All You Need" and OpenAI's GPT-2 / GPT-3. We talk about connections t...

官方链接 / Link：https://www.youtube.com/watch?v=kCc8FmEb1nY

einops

库 / Library　S6　免费 / Free

中文导读　rearrange 张量维度变换，养成标注 Shape 的习惯

Original　Flexible and powerful tensor operations for readable and reliable code (for pytorch, jax, TF and others)

官方链接 / Link：https://github.com/arogozhnikov/einops

nanoGPT

仓库 / Repository　S6　免费 / Free

中文导读　跟随 Karpathy 从零拼装微型 GPT 的参考实现

Original　The simplest, fastest repository for training/finetuning medium-sized GPTs.

官方链接 / Link：https://github.com/karpathy/nanoGPT

bitsandbytes

库 / Library　S6　免费 / Free

中文导读　4-bit/8-bit 量化加载，显存控制关键

Original　Accessible large language models via k-bit quantization for PyTorch.

官方链接 / Link：https://github.com/bitsandbytes-foundation/b…

Alpaca

数据集 / Dataset　S6　免费 / Free

中文导读　指令微调数据格式范本

Original　Code and documentation to train Stanford's Alpaca models, and generate the data.

官方链接 / Link：https://github.com/tatsu-lab/stanford_alpaca

ShareGPT

数据集 / Dataset　S6　免费 / Free

中文导读　对话式 SFT 数据格式（Alpaca/ShareGPT 两种格式对照）

Original　ShareGPT is a Chrome extension that allows you to share your wildest ChatGPT conversations with one click.

官方链接 / Link：https://sharegpt.com/

trl

库 / Library　S6　免费 / Free

中文导读　SFTTrainer 与后训练工具链，30 天计划的 LoRA 实战

Original　Train transformer language models with reinforcement learning.

官方链接 / Link：https://github.com/huggingface/trl

SwanLab

工具 / Tool　S6　免费 / Free

中文导读　实验记录与可视化，从第一天起记录学习率/Loss

Original　SwanLab - an open-source, modern-design AI training tracking and visualization tool. Supports Cloud / Self-hosted use. Integrated with PyTorch / Transformers / verl / LLaMA Factory / ms-swift / Ultralytics / MMEngine / Keras etc.

官方链接 / Link：https://github.com/SwanHubX/SwanLab

TensorBoard

工具 / Tool　S6　免费 / Free

中文导读　经典实验日志与曲线可视化

Original　TensorBoard: TensorFlow's visualization toolkit

官方链接 / Link：https://www.tensorflow.org/tensorboard

S7 证明型选手的理论赛道

优化几何/RLHF 理论/注意力理论/可信 AI（本节 6 条 / 6 entries）

顿悟：超越过拟合的泛化 Grokking: Generalization Beyond Overfitting

论文 / Paper　S7 S8　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　顿悟现象（Grokking）与泛化相变，优化几何方向的经典论文

Original　In this paper we propose to study generalization of neural networks on small algorithmically generated datasets. In this setting, questions about data efficiency, memorization, generalization, and speed of learning can be studied in great detail.

中文摘要　本文提出在小型算法生成数据集上研究神经网络的泛化能力。在这种设置下，可以详细研究数据效率、记忆、泛化以及学习速度等问题。在某些情况下，我们表明神经网络通过“grokking”数据中的模式来学习，将泛化性能从随机水平提升至完美泛化，并且这种泛化能力的提升可以发生在过拟合之后很久。我们还研究了泛化能力随数据集规模的变化，发现较小的数据集需要更多的优化才能实现泛化。我们认为，这些数据集为研究深度学习中一个理解不足的问题提供了肥沃的土壤：过参数化神经网络在超越有限训练数据集记忆之外的泛化能力。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2201.02177

直接偏好优化 Direct Preference Optimization (DPO)

论文 / Paper　S4 S7　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　DPO 原始推导：RLHF/GRPO 理论分析基石，面试手推 KL 正则闭式解

Original　While large-scale unsupervised language models (LMs) learn broad world knowledge and some reasoning skills, achieving precise control of their behavior is difficult due to the completely unsupervised nature of their training. Existing methods for gaining such steerability collect human labels of the relative quality of model generations and fine-tune the unsupervised LM to align with these preferences, often with reinforcement learning from human feedback …

中文摘要　尽管大规模无监督语言模型（LMs）能够学习广泛的世界知识和部分推理技能，但由于其训练过程完全无监督，精确控制其行为仍具挑战性。现有的方法通过收集人类对模型生成内容相对质量的评价标签，并对无监督语言模型进行微调以对齐这些偏好，通常采用基于人类反馈的强化学习（RLHF）。然而，RLHF 是一个复杂且往往不稳定的过程，首先需要拟合一个反映人类偏好的奖励模型，然后利用强化学习对大型无监督语言模型进行微调，以最大化该估计奖励，同时避免偏离原始模型过远。本文提出了一种 RLHF 中奖励模型的新参数化方法，能够以闭式解提取对应的最优策略，从而仅通过一个简单的分类损失即可解决标准的 RLHF 问题。我们提出的算法称为直接偏好优化（DPO），具有稳定性高、性能优异且计算开销低的特点，消除了微调期间从语言模型中采样或进行大量超参数调优的需求。实验表明，DPO 能够微调语言模型以对齐人类偏好，其效果与现有方法相当或更优。值得注意的是，使用 DPO 进行微调在控制生成内容情感方面优于基于 PPO 的 RLHF，并且在摘要生成和单轮对话中匹配或提升了回复质量，同时实现更为简单，且

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2305.18290

上下文学习作为梯度下降 In-Context Learning as Gradient Descent

论文 / Paper　S7 S8　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　证明 Transformer 上下文学习等价于隐式执行梯度下降，理论型顶会经典

Original　At present, the mechanisms of in-context learning in Transformers are not well understood and remain mostly an intuition. In this paper, we suggest that training Transformers on auto-regressive objectives is closely related to gradient-based meta-learning formulations.

中文摘要　目前，Transformer中上下文学习的机制尚未被充分理解，主要仍停留在直觉层面。本文提出，在自回归目标上训练Transformer与基于梯度的元学习公式密切相关。我们首先提供了一个简单的权重构造，展示了由1）单个线性自注意力层和2）在回归损失上进行梯度下降（GD）所诱导的数据变换之间的等价性。受此构造启发，我们通过实验表明，当在简单回归任务上训练仅包含自注意力的Transformer时，要么GD学到的模型与Transformer学到的模型表现出高度相似性，要么令人惊讶的是，优化找到的权重与该构造相匹配。因此，我们展示了训练后的Transformer如何成为 mesa-optimizer，即在前向传播中通过梯度下降学习模型。这使得我们至少能够在回归问题的领域内，从机制上理解优化后Transformer中上下文学习的内部工作原理。基于这一洞察，我们进一步识别出Transformer如何通过学习迭代曲率校正来超越纯梯度下降的性能，并通过在深度数据表示上学习线性模型来解决非线性回归任务。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2212.07677

matplotlib

库 / Library　S7　免费 / Free

中文导读　理论验证曲线：双对数坐标斜率验证 O(1/sqrt(T)) 等定理预测

Original　Matplotlib: Visualization with Python Matplotlib is a comprehensive library for creating static, animated, and interactive visualizations in Python. Matplotlib makes easy things easy and hard things possible. Create publication quality plots . Make interactive figures that can zoom, pan, update. Customize visual style and layout .

官方链接 / Link：https://matplotlib.org/

共形预测：温和入门 — Anastasios N. Angelopoulos & Stephen Bates Conformal Prediction: A Gentle Introduction — Anastasios N. Angelopoulos & Stephen Bates

教材 / Book　S7 S9　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　约 50 页短篇专著：无分布依赖覆盖率保证，3 个月产出一篇不确定性/幻觉控制论文

Original　Black-box machine learning models are now routinely used in high-risk settings, like medical diagnostics, which demand uncertainty quantification to avoid consequential model failures. Conformal prediction is a user-friendly paradigm for creating statistically rigorous uncertainty sets/intervals for the predictions of such models.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2107.07511

Stanford CS229M 讲义：Statistical Learning Theory — Tengyu Ma

讲义 / Lecture notes　S7 S9　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　为写 NeurIPS/ICML 理论论文设计：表达能力/隐式偏置/OOD 泛化

Original　Course content Description: When do machine learning algorithms work and why? How do we formalize what it means for an algorithm to learn from data? How do we use mathematical thinking to design better machine learning methods? This course focuses on developing a theoretical understanding of the statistical properties of learning algorithms.

官方链接 / Link：https://web.stanford.edu/class/stats214/

S8 数学诊断题

5 道顶会级数学推导诊断题（本节 2 条 / 2 entries）

顿悟：超越过拟合的泛化 Grokking: Generalization Beyond Overfitting

论文 / Paper　S7 S8　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　顿悟现象（Grokking）与泛化相变，优化几何方向的经典论文

Original　In this paper we propose to study generalization of neural networks on small algorithmically generated datasets. In this setting, questions about data efficiency, memorization, generalization, and speed of learning can be studied in great detail.

中文摘要　本文提出在小型算法生成数据集上研究神经网络的泛化能力。在这种设置下，可以详细研究数据效率、记忆、泛化以及学习速度等问题。在某些情况下，我们表明神经网络通过“grokking”数据中的模式来学习，将泛化性能从随机水平提升至完美泛化，并且这种泛化能力的提升可以发生在过拟合之后很久。我们还研究了泛化能力随数据集规模的变化，发现较小的数据集需要更多的优化才能实现泛化。我们认为，这些数据集为研究深度学习中一个理解不足的问题提供了肥沃的土壤：过参数化神经网络在超越有限训练数据集记忆之外的泛化能力。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2201.02177

上下文学习作为梯度下降 In-Context Learning as Gradient Descent

论文 / Paper　S7 S8　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　证明 Transformer 上下文学习等价于隐式执行梯度下降，理论型顶会经典

Original　At present, the mechanisms of in-context learning in Transformers are not well understood and remain mostly an intuition. In this paper, we suggest that training Transformers on auto-regressive objectives is closely related to gradient-based meta-learning formulations.

中文摘要　目前，Transformer中上下文学习的机制尚未被充分理解，主要仍停留在直觉层面。本文提出，在自回归目标上训练Transformer与基于梯度的元学习公式密切相关。我们首先提供了一个简单的权重构造，展示了由1）单个线性自注意力层和2）在回归损失上进行梯度下降（GD）所诱导的数据变换之间的等价性。受此构造启发，我们通过实验表明，当在简单回归任务上训练仅包含自注意力的Transformer时，要么GD学到的模型与Transformer学到的模型表现出高度相似性，要么令人惊讶的是，优化找到的权重与该构造相匹配。因此，我们展示了训练后的Transformer如何成为 mesa-optimizer，即在前向传播中通过梯度下降学习模型。这使得我们至少能够在回归问题的领域内，从机制上理解优化后Transformer中上下文学习的内部工作原理。基于这一洞察，我们进一步识别出Transformer如何通过学习迭代曲率校正来超越纯梯度下降的性能，并通过在深度数据表示上学习线性模型来解决非线性回归任务。

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2212.07677

S9 AI 理论推荐教材

高维概率、矩阵分析、凸优化、信息论、前沿讲义（本节 10 条 / 10 entries）

高维概率：数据科学应用导论——Roman Vershynin High-Dimensional Probability: An Introduction with Applications in Data Science — Roman Vershynin

教材 / Book　S9 S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　AI 理论圣经（开源）：浓度不等式、sub-gaussian、覆盖数、随机矩阵奇异值界，精读 1-4 章

Original　High-Dimensional Probability An Introduction with Applications in Data Science Second Edition Roman Vershynin 2019 Prose Award for Mathematics Who is this book for? This textbook is aimed at doctoral students, advanced master's students, and beginning researchers in mathematics, statistics, computer science, electrical engineering, and related fields who see…

官方链接 / Link：https://www.math.uci.edu/~rvershyn/papers/HD…

矩阵手册 The Matrix Cookbook

教材 / Book　S9　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　矩阵求导/迹循环变换速查手册，打印放手边

官方链接 / Link：https://www.math.uwaterloo.ca/~hwolkowi/matr…

高维统计：非渐近视角——Martin J. Wainwright High-Dimensional Statistics: A Non-Asymptotic Viewpoint — Martin J. Wainwright

教材 / Book　S9　付费 / Paid

中文导读　更严谨的进阶工具书：尾部界与 Rademacher 复杂度/度量熵

Original　Cambridge Core - Statistical Theory and Methods - High-Dimensional Statistics

官方链接 / Link：https://www.cambridge.org/core/books/highdim…

凸优化——Stephen Boyd & Lieven Vandenberghe Convex Optimization — Stephen Boyd & Lieven Vandenberghe

教材 / Book　S9 S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　变分推导与对偶理论标杆（免费）：凸函数/共轭/KKT，DPO 闭式解来源

Original　Convex Optimization – Boyd and Vandenberghe Convex Optimization Stephen Boyd and Lieven Vandenberghe Cambridge University Press A MOOC on convex optimization, CVX101 , was run from 1/21/14 to 3/14/14 . If you register for it, you can access all the course materials.

官方链接 / Link：https://web.stanford.edu/~boyd/cvxbook/

凸优化：算法与复杂性——塞巴斯蒂安·布贝克 Convex Optimization: Algorithms and Complexity — Sébastien Bubeck

教材 / Book　S9　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　微软研究院短篇专著：梯度下降/镜像下降/SGD 收敛率证明模板

Original　This monograph presents the main complexity theorems in convex optimization and their corresponding algorithms. Starting from the fundamental theory of black-box optimization, the material progresses towards recent advances in structural optimization and stochastic optimization.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/1405.4980

矩阵分析 — Roger A. Horn & Charles R. Johnson Matrix Analysis — Roger A. Horn & Charles R. Johnson

教材 / Book　S9　付费 / Paid

中文导读　当字典查：奇异值不等式、Weyl 定理、Davis-Kahan 特征子空间扰动

Original　Cambridge Core - Algebra - Matrix Analysis

官方链接 / Link：https://www.cambridge.org/core/books/matrix-…

信息论要素 — Thomas M. Cover & Joy A. Thomas Elements of Information Theory — Thomas M. Cover & Joy A. Thomas

教材 / Book　S9　付费 / Paid

中文导读　信息论经典：熵/互信息/KL/DPI、Fano 不等式与 Method of Types

Original　The latest edition of this classic is updated with new problem sets and material The Second Edition of this fundamental textbook maintains the book's...

官方链接 / Link：https://www.wiley.com/en-us/Elements+of+Info…

模式、预测与行动——Moritz Hardt & Benjamin Recht Patterns, Predictions, and Actions — Moritz Hardt & Benjamin Recht

教材 / Book　S9　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　免费在线新书：用现代视角重写统计学习、优化动力学与因果推断

Original　Image copyright: Princeton University Press Hardcover Princeton University Press Errata Full preprint as PDF Problem sets (pdf) Table of contents Preface Acknowledgments Introduction (PDF) Fundamentals of prediction (PDF) Supervised learning (PDF) Representations and features (PDF) Optimization (PDF) Generalization (PDF) Deep learning (PDF) Dat…

官方链接 / Link：https://mlstory.org/

共形预测：温和入门 — Anastasios N. Angelopoulos & Stephen Bates Conformal Prediction: A Gentle Introduction — Anastasios N. Angelopoulos & Stephen Bates

教材 / Book　S7 S9　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　约 50 页短篇专著：无分布依赖覆盖率保证，3 个月产出一篇不确定性/幻觉控制论文

Original　Black-box machine learning models are now routinely used in high-risk settings, like medical diagnostics, which demand uncertainty quantification to avoid consequential model failures. Conformal prediction is a user-friendly paradigm for creating statistically rigorous uncertainty sets/intervals for the predictions of such models.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/2107.07511

Stanford CS229M 讲义：Statistical Learning Theory — Tengyu Ma

讲义 / Lecture notes　S7 S9　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　为写 NeurIPS/ICML 理论论文设计：表达能力/隐式偏置/OOD 泛化

Original　Course content Description: When do machine learning algorithms work and why? How do we formalize what it means for an algorithm to learn from data? How do we use mathematical thinking to design better machine learning methods? This course focuses on developing a theoretical understanding of the statistical properties of learning algorithms.

官方链接 / Link：https://web.stanford.edu/class/stats214/

S10 数学基础教材

线代/分析/概率/泛函/数值优化（本节 14 条 / 14 entries）

《线性代数应该这样学》——谢尔顿·阿克勒 Linear Algebra Done Right — Sheldon Axler

教材 / Book　S10 S11 S12 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　摒弃行列式直接建谱定理，官方开放获取 PDF + 作者习题讲解视频

Original　Linear Algebra Done Right Sheldon Axler The fourth and most recent edition of Linear Algebra Done Right is an Open Access book available in English, Chinese, Farsi, Greek, Hebrew, and Portuguese. Other languages are coming soon. The hardcover print version of Linear Algebra Done Right is available from Amazon at the link below.

官方链接 / Link：https://linear.axler.net/

线性代数与数据学习——吉尔伯特·斯特兰 Linear Algebra and Learning from Data — Gilbert Strang

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　面向 ML/数据科学：SVD、低秩近似、图拉普拉斯与梯度下降的代数本质

Original　Linear Algebra and Learning from Data (2019) by Gilbert Strang (gilstrang@gmail.com) ISBN : 978-06921963-8-0 >>>Book order from Wellesley-Cambridge Press Book Order for SIAM members Book Order from American Mathematical Society Book Order from Cambridge University Press (outside North America) Linear Algebra and Learning from Data, Indian edition, is avail…

官方链接 / Link：https://math.mit.edu/~gs/learningfromdata/

矩阵计算——Gene H. Golub 与 Charles F. Van Loan Matrix Computations — Gene H. Golub & Charles F. Van Loan

教材 / Book　S10　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　数值线性代数权威经典：正交分解/条件数/特征值扰动/低秩逼近误差

Original　A comprehensive treatment of numerical linear algebra from the standpoint of both theory and practice. The fourth edition of Gene H. Golub and Charles F. Van Loan's classic is an essential reference for computational scientists and engineers in addition to researchers in the numerical linear algebra community.

官方链接 / Link：https://www.press.jhu.edu/books/title/10678/…

高等代数 — 丘维声

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　中文打底：多项式、线性变换不变子空间、二次型的严格证明训练

Original　本书是高等学校的主干基础课“高等代数”课程的教材，它是作者积四十多年的教学经验，积极进行高等代数课程的教学目标、教学内容体系和教学方法改革的结果。全书既使学生扎实地掌握高等代数的基础知识和基本方法，又...

官方链接 / Link：https://book.douban.com/subject/26739983/

高等代数学 — 张贤科

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　中文打底：与丘维声并列的高等代数严格证明训练

Original　内容提要 本书主要内容为线性代数，包括数与多项式，行列式，线性方程组，矩阵，线性空间，二次型，线性变 换，空间分解，矩阵相似，欧空间和酉空间，双线性型，张量积与外积等。内容较深厚，便于打下优势基础； ...

官方链接 / Link：https://book.douban.com/subject/1051081/

数学分析原理（Baby Rudin）— Walter Rudin Principles of Mathematical Analysis（Baby Rudin）— Walter Rudin

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　严格 ε-δ 语言、紧致性、一致收敛与函数项级数放缩试金石

Original　Previous ed. 1964

官方链接 / Link：https://archive.org/details/principlesofmath…

测度、积分与实分析 — Sheldon Axler Measure, Integration & Real Analysis — Sheldon Axler

教材 / Book　S10 S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　现代实分析/测度论：Lebesgue 积分、控制收敛、L^p 与 Hilbert 空间（开放获取）

Original　Measure, Integration & Real Analysis Sheldon Axler This book seeks to provide students with a deep understanding of the definitions, examples, theorems, and proofs related to measure, integration, and real analysis. The content and level of this book fit well with the first-year graduate course on these topics at most American universities.

官方链接 / Link：https://measure.axler.net/

Mathematical Analysis — V. A. Zorich（卓里奇《数学分析》中译本）

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　兼具物理几何直觉与严谨性：多元微分、隐函数定理、流形初步

Original　This second edition of a very popular two-volume work presents a thorough first course in analysis, leading from real numbers to such advanced topics as differential forms on manifolds; asymptotic methods; Fourier, Laplace, and Legendre transforms; elliptic functions; and distributions.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-3…

概率论：理论与实例——里克·杜雷特 Probability: Theory and Examples — Rick Durrett

教材 / Book　S10 S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　测度论概率标准教材：大数定律/CLT/条件期望/鞅收敛（作者官网免费）

Original　Parent Directory

官方链接 / Link：https://services.math.duke.edu/~rtd/PTE/

概率与随机过程 — Geoffrey Grimmett & David Stirzaker Probability and Random Processes — Geoffrey Grimmett & David Stirzaker

教材 / Book　S10　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　从初等概率过渡到马尔可夫链、更新过程与连续时间随机过程

Original　This third edition of this successful text gives a rigorous and extensive introduction to probability theory and an account in some depth of the most important random processes. It includes various topics which are suitable for undergraduate courses, but are not routinely taught. It is suitable for students of probability at all levels.

官方链接 / Link：https://academic.oup.com/book/52807

概率论基础 — 李贤平

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　中文打底：培养古典与初等概率直觉

Original　高等教育出版社，产品信息，检索，系统，包括资源下载、样书申请、信息推送、书目下载在内的教师教学服务系统

官方链接 / Link：https://xuanshu.hep.com.cn/front/book/findBo…

概率论基础 — 严士健、王隽骧

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　中文打底：测度论公理化体系的概率论

Original　《概率论基础》用测度论的观点论述概率论的基本概念，如概率、随机变量与分布函数、数学期望与条件数学期望和中心极限定理等。《概率论基础》特点是把测度论的基本内容与概率论的基本内容结合在一起讲述，论述严谨，...

官方链接 / Link：https://book.douban.com/subject/1553785/

《应用泛函分析导论》——Erwin Kreyszig Introductory Functional Analysis with Applications — Erwin Kreyszig

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　证明极其详尽：Banach/Hilbert 空间、有界与紧算子谱理论，NTK/RKHS 敲门砖

Original　KREYSZIG The Wiley Classics Library consists of selected books originally published by John Wiley & Sons that have become recognized classics in their...

官方链接 / Link：https://www.wiley.com/en-us/Introductory+Fun…

数值优化——Jorge Nocedal & Stephen Wright Numerical Optimization — Jorge Nocedal & Stephen Wright

教材 / Book　S10　付费 / Paid

中文导读　连续优化迭代算法收敛性证明：线搜索/信赖域/共轭梯度/拟牛顿

Original　Numerical Optimization presents a comprehensive and up-to-date description of the most effective methods in continuous optimization. It responds to the growing interest in optimization in engineering, science, and business by focusing on the methods that are best suited to practical problems.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-0…

S11 开放获取教材

作者官网免费 PDF 的教材与讲义（本节 12 条 / 12 entries）

高维概率：数据科学应用导论——Roman Vershynin High-Dimensional Probability: An Introduction with Applications in Data Science — Roman Vershynin

教材 / Book　S9 S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　AI 理论圣经（开源）：浓度不等式、sub-gaussian、覆盖数、随机矩阵奇异值界，精读 1-4 章

Original　High-Dimensional Probability An Introduction with Applications in Data Science Second Edition Roman Vershynin 2019 Prose Award for Mathematics Who is this book for? This textbook is aimed at doctoral students, advanced master's students, and beginning researchers in mathematics, statistics, computer science, electrical engineering, and related fields who see…

官方链接 / Link：https://www.math.uci.edu/~rvershyn/papers/HD…

凸优化——Stephen Boyd & Lieven Vandenberghe Convex Optimization — Stephen Boyd & Lieven Vandenberghe

教材 / Book　S9 S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　变分推导与对偶理论标杆（免费）：凸函数/共轭/KKT，DPO 闭式解来源

Original　Convex Optimization – Boyd and Vandenberghe Convex Optimization Stephen Boyd and Lieven Vandenberghe Cambridge University Press A MOOC on convex optimization, CVX101 , was run from 1/21/14 to 3/14/14 . If you register for it, you can access all the course materials.

官方链接 / Link：https://web.stanford.edu/~boyd/cvxbook/

《线性代数应该这样学》——谢尔顿·阿克勒 Linear Algebra Done Right — Sheldon Axler

教材 / Book　S10 S11 S12 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　摒弃行列式直接建谱定理，官方开放获取 PDF + 作者习题讲解视频

Original　Linear Algebra Done Right Sheldon Axler The fourth and most recent edition of Linear Algebra Done Right is an Open Access book available in English, Chinese, Farsi, Greek, Hebrew, and Portuguese. Other languages are coming soon. The hardcover print version of Linear Algebra Done Right is available from Amazon at the link below.

官方链接 / Link：https://linear.axler.net/

测度、积分与实分析 — Sheldon Axler Measure, Integration & Real Analysis — Sheldon Axler

教材 / Book　S10 S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　现代实分析/测度论：Lebesgue 积分、控制收敛、L^p 与 Hilbert 空间（开放获取）

Original　Measure, Integration & Real Analysis Sheldon Axler This book seeks to provide students with a deep understanding of the definitions, examples, theorems, and proofs related to measure, integration, and real analysis. The content and level of this book fit well with the first-year graduate course on these topics at most American universities.

官方链接 / Link：https://measure.axler.net/

概率论：理论与实例——里克·杜雷特 Probability: Theory and Examples — Rick Durrett

教材 / Book　S10 S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　测度论概率标准教材：大数定律/CLT/条件期望/鞅收敛（作者官网免费）

Original　Parent Directory

官方链接 / Link：https://services.math.duke.edu/~rtd/PTE/

线性代数 — Jim Hefferon Linear Algebra — Jim Hefferon

教材 / Book　S11 S12　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　GFDL 开源教材 + 逐题完整解答手册（证明步骤无跳跃），官方习题全解

Original　Free Texts Mathematics and Computer Science, and more, from Jim Hefferon

官方链接 / Link：https://hefferon.net/linearalgebra/

应用线性代数导论——Stephen Boyd & Lieven Vandenberghe Introduction to Applied Linear Algebra — Stephen Boyd & Lieven Vandenberghe

教材 / Book　S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　向量几何/正交投影/最小二乘/矩阵分解的直观推导，配套 Python/Julia 代码

Original　Introduction to Applied Linear Algebra – Vectors, Matrices, and Least Squares Introduction to Applied Linear Algebra – Vectors, Matrices, and Least Squares Stephen Boyd and Lieven Vandenberghe Cambridge University Press This book is used as the textbook for our own courses ENGR108 (Stanford) and EE133A (UCLA), where you will find additional related material.…

官方链接 / Link：https://vmls-book.stanford.edu/

基础分析 I & II：实分析导论 — Jiří Lebl Basic Analysis I & II: Introduction to Real Analysis — Jiří Lebl

教材 / Book　S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　CC BY-NC-SA 开源实分析教材，逻辑严谨度对标 Rudin 但语言更现代

Original　Free online mathematics textbook for basic real analysis.

官方链接 / Link：https://jirka.org/ra/

概率论导论 — Charles M. Grinstead & J. Laurie Snell Introduction to Probability — Charles M. Grinstead & J. Laurie Snell

教材 / Book　S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　AMS/达特茅斯免费开源：组合与初等概率过渡到马尔可夫链与随机游走

Original　Index of /~prob/prob Name Last modified Size Description Parent Directory - NEW/ 2005-10-29 13:03 - OLD/ 2005-10-29 12:41 - bak/ 2003-06-30 11:26 - bin/ 2003-06-30 10:32 - extra/ 2003-06-30 03:15 - figures/ 2006-07-10 09:04 - old/ 2005-10-28 18:45 - test/ 2003-06-30 11:26 - back.aux 2006-07-10 09:04 773 back.tex 2005-10-28 18:46 296 ch1.aux 2006-07-10 09:04 ⋯

官方链接 / Link：https://math.dartmouth.edu/~prob/prob/

泛函分析——Gerald Teschl Functional Analysis — Gerald Teschl

教材 / Book　S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived

中文导读　维也纳大学研究生教材：Banach 代数、紧算子谱理论、无界算子（作者主页免费）

Original　Topics in Linear and Nonlinear Functional Analysis

官方链接 / Link：https://www.mat.univie.ac.at/~gerald/ftp/boo…

数据科学基础 — Avrim Blum, John Hopcroft & Ravindran Kannan Foundations of Data Science — Avrim Blum, John Hopcroft & Ravindran Kannan

教材 / Book　S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　面向计算机理论研究者：高维几何、SVD、随机游走与泛化界

官方链接 / Link：https://www.cs.cornell.edu/jeh/book.pdf

机器学习数学——Marc Peter Deisenroth 等 Mathematics for Machine Learning — Marc Peter Deisenroth et al.

教材 / Book　S11　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　线代/矩阵微积分/概率/优化直接映射到 PCA、高斯过程、SVM（剑桥出版社授权免费）

Original　Companion webpage to the book “Mathematics for Machine Learning”. Copyright 2020 by Marc Peter Deisenroth, A. Aldo Faisal, and Cheng Soon Ong. Published by Cambridge University Press.

官方链接 / Link：https://mml-book.github.io/

S12 配套习题集

带官方解答的证明/放缩习题集（本节 12 条 / 12 entries）

《线性代数应该这样学》——谢尔顿·阿克勒 Linear Algebra Done Right — Sheldon Axler

教材 / Book　S10 S11 S12 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　摒弃行列式直接建谱定理，官方开放获取 PDF + 作者习题讲解视频

Original　Linear Algebra Done Right Sheldon Axler The fourth and most recent edition of Linear Algebra Done Right is an Open Access book available in English, Chinese, Farsi, Greek, Hebrew, and Portuguese. Other languages are coming soon. The hardcover print version of Linear Algebra Done Right is available from Amazon at the link below.

官方链接 / Link：https://linear.axler.net/

线性代数 — Jim Hefferon Linear Algebra — Jim Hefferon

教材 / Book　S11 S12　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　GFDL 开源教材 + 逐题完整解答手册（证明步骤无跳跃），官方习题全解

Original　Free Texts Mathematics and Computer Science, and more, from Jim Hefferon

官方链接 / Link：https://hefferon.net/linearalgebra/

Convex Optimization 官方补充习题与全解（Additional Exercises）— Stephen Boyd

仓库 / Repository　S12　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived

中文导读　EE364a 历年作业/考试证明题与官方推导：对偶构造、KKT、Fenchel 共轭

Original　Additional exercises and data for EE364a. No solutions; for public consumption.

官方链接 / Link：https://github.com/cvxgrp/cvxbook_additional…

Linear Algebra 官方全解手册 — Jim Hefferon（官方习题解答）

习题集 / Problem set　S12　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　与教材同步的逐题证明全解，规范线性空间/正交投影/特征值分解书写

Original　Free Texts Mathematics and Computer Science, and more, from Jim Hefferon

官方链接 / Link：https://hefferon.net/linearalgebra/

柯西-施瓦茨大师课——J. Michael Steele The Cauchy-Schwarz Master Class — J. Michael Steele

教材 / Book　S12　付费 / Paid

中文导读　不等式放缩艺术神作：Cauchy-Schwarz/Hölder/Minkowski/Jensen/重排，书后完整解答

Original　Cambridge Core - Mathematics (general) - The Cauchy-Schwarz Master Class

官方链接 / Link：https://www.cambridge.org/core/books/cauchys…

Problems in Mathematical Analysis（全三卷）— W. J. Kaczor & M. T. Nowak

习题集 / Problem set　S12　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　全是证明题且逐题完整解答：实数与序列/连续与微分/积分

Original　We learn by doing. We learn mathematics by doing problems. This book is the first volume of a series of books of problems in mathematical analysis. It is mainly intended for students studying the basic principles of analysis.

官方链接 / Link：https://www.ams.org/stml/004

数学分析中的典型问题与方法 — 裴礼文

习题集 / Problem set　S12　付费 / Paid

中文导读　中文互补：一致收敛、积分不等式与泰勒余项放缩

Original　《数学分析中的典型问题与方法》是为正在学习数学分析（微积分）的学生、准备报考研究生的读者以及从事这方面教学工作的教师编写的参考书籍。该书自1993年首次出版以来，历经25年，一直得到读者的热情赞赏和推...

官方链接 / Link：https://book.douban.com/subject/35339701/

数学分析习题课讲义 — 谢惠民

习题集 / Problem set　S12　付费 / Paid

中文导读　中文互补：一致收敛、积分不等式与泰勒余项放缩

Original　《数学分析习题课讲义(上册)》是教育部“国家理科基地创建名牌课程项目”的研究成果，其目的是为数学分析的习题课教学提供一套具有创新特色的教材和参考书。《数学分析习题课讲义(上册)》以编著者们近20年来在...

官方链接 / Link：https://book.douban.com/subject/30389024/

线性代数问题与定理 — V. V. 普拉斯洛夫 Problems and Theorems in Linear Algebra — V. V. Prasolov

习题集 / Problem set　S12　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　AMS 矩阵证明宝库：秩不等式、迹不等式、特征值交错定理，均附解答

Original　Many linear algebra results obtained in the past thirty years are accessible to undergraduate mathematics majors, but are usually ignored by textbooks. In addition, more than a few interesting old results are not covered in many books.

官方链接 / Link：https://bookstore.ams.org/MMONO/134

高等代数中的典型问题与方法 — 李志慧、李永明（指南原标樊恽、刘合国）

习题集 / Problem set　S12　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　中文互补：不变子空间、若尔当标准形与二次型正定性证明

Original　《高等代数中的典型问题与方法》是为正在学习高等代数的读者、正在复习高等代数准备报考研究生的读者以及从事这方面教学工作的年轻教师编写的。《高等代数中的典型问题与方法》与北京大学数学系几何与代数教研组编写的《高等代数(第三版)》相配套，在编写上也遵循此教材的顺序。《高等代数中的典型问题与方法》全面、系统地总结和归纳了高等代数中问题的基本类型、每种类型的基本方法，对每种方法先概括要点，再选取典型而有一定难度的例题，逐层剖析。对一些较难理解的问题，在适当的章节做了专题研究，进行了较深入的探讨和总结，如：线性变换的对角化、矩阵的分解等问题，以消除读者长期以来对其抽象问题在理解上含糊不清的疑虑，从而更深入地领会问题。

官方链接 / Link：https://www.ecsponline.com/goods.php?id=29259

概率论一千题 — 杰弗里·格里姆特 & 大卫·斯特尔泽克 One Thousand Exercises in Probability — Geoffrey Grimmett & David Stirzaker

习题集 / Problem set　S12　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　1000 道概率/随机过程证明题完整推导：条件期望、马氏链收敛、鞅与停时

Original　The companion volume to Probability and Random Processes, 3rd Edition Contains over 1,000 exercises Covers elelmentary aspects of probability and random variables, sampling, Markov chains, convergence, stationary processes, renewals, queues, Martingales, Diffusion, Mathematical finanace and the Black-Scholes model

官方链接 / Link：https://academic.oup.com/book/52798

泛函分析习题集——康斯坦丁·科斯塔拉 & 杜米特鲁·波帕

Exercises in Functional Analysis — Constantin Costara & Dumitru Popa

习题集 / Problem set　S12　付费 / Paid

中文导读　Banach/Hilbert 空间、算子范数与紧算子谱理论证明习题集

Original　The understanding of results and notions for a student in mathematics requires solving ex ercises. The exercises are also meant to test the reader's understanding of the text material, and to enhance the skill in doing calculations. This book is written with these three things in mind.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-9…

S13 纯数学教材

实分析/抽象代数/测度概率/微分几何与最优传输（本节 32 条 / 32 entries）

《线性代数应该这样学》——谢尔顿·阿克勒 Linear Algebra Done Right — Sheldon Axler

教材 / Book　S10 S11 S12 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　握弃行列式直接建谱定理，官方开放获取 PDF + 作者习题讲解视频

Original　Linear Algebra Done Right Sheldon Axler The fourth and most recent edition of Linear Algebra Done Right is an Open Access book available in English, Chinese, Farsi, Greek, Hebrew, and Portuguese. Other languages are coming soon. The hardcover print version of Linear Algebra Done Right is available from Amazon at the link below.

官方链接 / Link：https://linear.axler.net/

测度、积分与实分析 — Sheldon Axler Measure, Integration & Real Analysis — Sheldon Axler

教材 / Book　S10 S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　现代实分析/测度论：Lebesgue 积分、控制收敛、L^p 与 Hilbert 空间（开放获取）

Original　Measure, Integration & Real Analysis Sheldon Axler This book seeks to provide students with a deep understanding of the definitions, examples, theorems, and proofs related to measure, integration, and real analysis. The content and level of this book fit well with the first-year graduate course on these topics at most American universities.

官方链接 / Link：https://measure.axler.net/

概率论：理论与实例——里克·杜雷特 Probability: Theory and Examples — Rick Durrett

教材 / Book　S10 S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　测度论概率标准教材：大数定律/CLT/条件期望/鞅收敛（作者官网免费）

Original　Parent Directory

官方链接 / Link：https://services.math.duke.edu/~rtd/PTE/

泛函分析——Gerald Teschl Functional Analysis — Gerald Teschl

教材 / Book　S11 S13　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived

中文导读　维也纳大学研究生教材：Banach 代数、紧算子谱理论、无界算子（作者主页免费）

Original　Topics in Linear and Nonlinear Functional Analysis

官方链接 / Link：https://www.mat.univie.ac.at/~gerald/ftp/boo…

实分析：现代技术及其应用 — Gerald B. Folland Real Analysis: Modern Techniques and Their Applications — Gerald B. Folland

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　测度论与实分析标杆：Radon 测度、Riesz 表示、L^p 插值、分布理论

Original　An in-depth look at real analysis and its applications-now expanded and revised. This new edition of the widely used analysis book continues to cover real...

官方链接 / Link：https://www.wiley.com/en-us/Real+Analysis%3A…

Princeton Lectures in Analysis（第 3 卷 Real Analysis & 第 4 卷 Functional Analysis）— Elias M. Stein & Rami Shakarchi

教材 / Book　S13　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　从 Lebesgue 微分定理、Hausdorff 维数到 Banach 三大定理、紧算子谱分解与无界自伴算子

Original　Real Analysis by Elias M. Stein, Rami Shakarchi was published on November 18, 2019 by Princeton University Press.

官方链接 / Link：https://www.degruyterbrill.com/document/doi/…

函数分析、Sobolev空间与偏微分方程 — Haïm Brezis Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations — Haïm Brezis

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　布尔巴基风格：弱拓扑、自反空间与变分不等式极通透

Original　This textbook is a completely revised, updated, and expanded English edition of the important Analyse fonctionnelle (1983). In addition, it contains a wealth of problems and exercises (with solutions) to guide the reader.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-0…

Problems and Theorems in Analysis（全两卷）— George Pólya & Gábor Szegő

习题集 / Problem set　S13　付费 / Paid

中文导读　纯数学分析训练圣经：按逻辑链编排的纯证明题（附完整解答）

Original　From the reviews: "The work is one of the real classics of this century; it has had much influence on teaching, on research in several branches of hard analysis, particularly complex function theory, and it has been an essential indispensable source book for those seriously interested in mathematical problems.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-3…

希尔伯特空间问题集 — 保罗·R·哈尔莫斯 A Hilbert Space Problem Book — Paul R. Halmos

习题集 / Problem set　S13　付费 / Paid

中文导读　250 个纯概念证明命题 + 提示 + 完整证明：有界/紧/正规算子与不变子空间

Original　From the Preface: "This book was written for the active reader. The first part consists of problems, frequently preceded by definitions and motivation, and sometimes followed by corollaries and historical remarks... The second part, a very short one, consists of hints...

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-1…

线性代数——肯尼斯·霍夫曼与雷·昆泽 Linear Algebra — Kenneth Hoffman & Ray Kunze

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　纯数系线代试金石：商空间、对偶空间、若尔当/有理标准形、多线性代数与张量积

Original　Linear algebra Bookreader Item Preview Share or Embed This Item Share to Twitter Share to Facebook Share to Reddit Share to Tumblr Share to Pinterest Share via email Copy Link Want more? Advanced embedding details, examples, and help ! Flag this item for Graphic Violence Explicit Sexual Content Hate Speech Misinformation/Disinformation Marketing/ Phishing/Adv…

官方链接 / Link：https://archive.org/details/linearalgebra00h…

高级线性代数——史蒂文·罗曼 Advanced Linear Algebra — Steven Roman

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　研究生级抽象线代：自由模、半单算子、Hilbert 空间算子谱分解与仿射几何

Original　For the third edition, the author has added a new chapter on associative algebras that includes the well known characterizations of the finite-dimensional division algebras over the real field (a theorem of Frobenius) and over a finite field (Wedderburn's theorem);

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-0…

有限群的线性表示——让-皮埃尔·塞尔 Linear Representations of Finite Groups — Jean-Pierre Serre

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　Serre 薄册经典：特征标理论与不可约表示分解，等变网络权重约束的理论来源

Original　This book consists of three parts, rather different in level and purpose: The first part was originally written for quantum chemists. It describes the correspondence, due to Frobenius, between linear representations and charac ters. This is a fundamental result, of constant use in mathematics as well as in quantum chemistry or physics.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-1…

Exercises in Algebra（《代数学题集》，莫斯科大学教材配套）— A. I. Kostrikin 等

习题集 / Problem set　S13　付费 / Paid

中文导读　俄罗斯纯数学学派：群/环/域/模/表示论/多重线性，多为结构证明题

Original　本书汇集代数、线性代数和几何的大量习题，这些训练对掌握代数这门学科十分必要。　全书共有7000多道习题，内容涵盖：集合和映射，算术空间和线性方程组，行列式， 矩阵，复数，多项式，向量空间，双线性和二次...

官方链接 / Link：https://book.douban.com/subject/30323073/

代数学引论 — A. I. Kostrikin（中译本）

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　Kostrikin 教材中译本，可与《代数学题集》配套使用

Original　代数学引论（第1卷 基础代数第2版俄罗斯数学教材选译），ISBN：9787040205251，作者：（俄罗斯）柯斯特利金

官方链接 / Link：https://book.douban.com/subject/2036531/

线性代数问题集 — 保罗·R·哈尔莫斯 Linear Algebra Problem Book — Paul R. Halmos

习题集 / Problem set　S13　付费 / Paid

中文导读　纯代数结构证明题库：向量空间公理推演与线性变换本质

Original　Cambridge Core - Algebra - Linear Algebra Problem Book

官方链接 / Link：https://www.cambridge.org/core/books/linear-…

鞅论概率——大卫·威廉姆斯 Probability with Martingales — David Williams

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　剑桥纯数学学派：σ-代数、单调类定理、鞅收敛、一致可积、Radon-Nikodym

Original　Discover Probability with Martingales, 1st Edition, David Williams on Cambridge Aspire website

官方链接 / Link：https://www.cambridge.org/highereducation/bo…

概率与测度——帕特里克·比林斯利 Probability and Measure — Patrick Billingsley

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　测度论与概率论完全融为一体的典范：弱收敛与遍历理论证明无可替代

Original　Praise for the Third Edition "It is, as far as I'm concerned, among the best books in math ever written....if you are a mathematician and want to have the...

官方链接 / Link：https://www.wiley.com/en-us/Probability+and+…

布朗运动、鞅与随机微积分——让-弗朗索瓦·勒加尔 Brownian Motion, Martingales, and Stochastic Calculus — Jean-François Le Gall

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　沃夫奖得主：连续时间鞅、布朗运动构造、Itô 积分、Girsanov、SDE

Original　This book offers a rigorous and self-contained presentation of stochastic integration and stochastic calculus within the general framework of continuous semimartingales. The main tools of stochastic calculus, including Itô’ s formula, the optional stopping theorem and Girsanov’ s theorem, are treated in detail alongside many illustrative examples.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-3…

概率论反例 — Jordan M. Stoyanov Counterexamples in Probability — Jordan M. Stoyanov

教材 / Book　S13　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　用反例厘清几乎必然收敛/依概率收敛/L^p 收敛/独立与不相关的严格边界

Original　Most mathematical examples illustrate the truth of a statement; conversely, counterexamples demonstrate a statement's falsity if changing the conditions. Mathematicians have always prized counterexamples as intrinsically enjoyable objects of study as well as valuable tools for teaching, learning, and research.

官方链接 / Link：https://store.doverpublications.com/products…

概率论问题集 — Albert N. Shiryaev　Problems in Probability — Albert N. Shiryaev

习题集 / Problem set　S13　付费 / Paid

中文导读　柯尔莫哥洛夫学派权威习题集：测度论概率、特征函数、鞅与马尔可夫过程（附解答）

Original　For the first two editions of the book Probability (GTM 95), each chapter included a comprehensive and diverse set of relevant exercises. While the work on the third edition was still in progress, it was decided that it would be more appropriate to publish a separate book that would comprise all of the exercises from previous editions, in addition to many ne…

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-1…

光滑流形导论 — John M. Lee　Introduction to Smooth Manifolds — John M. Lee

教材 / Book　S13　付费 / Paid

中文导读　光滑流形公理化黄金标准：切向量/余切丛/微分形式/Stokes/李群，自带证明习题

Original　This book is an introductory graduate-level textbook on the theory of smooth manifolds. Its goal is to familiarize students with the tools they will need in order to use manifolds in mathematical or scientific research--- smooth structures, tangent vectors and covectors, vector bundles, immersed and embedded submanifolds, tensors, differential forms, de Rham…

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-1…

黎曼几何——曼弗雷多·P·多卡莫　Riemannian Geometry — Manfredo P. do Carmo

教材 / Book　S13　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　黎曼度量、Levi-Civita 联络、测地线变分公式与截面曲率经典教材

Original　Riemannian Geometry is an expanded edition of a highly acclaimed and successful textbook (originally published in Portuguese) for first-year graduate students in mathematics and physics. The author's treatment...

官方链接 / Link：https://web.archive.org/web/20180330191141/h…

最优传输专题——塞德里克·维拉尼　Topics in Optimal Transportation — Cédric Villani

教材 / Book　S13　付费 / Paid　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　Kantorovich 对偶、Brenier 定理与 Wasserstein 空间梯度流理论

Original　In 1781, Gaspard Monge defined the problem of “optimal transportation” (or the transferring of mass with the least possible amount of work), with applications to engineering in mind. In 1942, Leonid Kantorovich applied the newborn machinery of linear programming to Monge's problem, with applications to economics in mind.

官方链接 / Link：https://bookstore.ams.org/gsm-58

泛函分析 — Theo Bühler & Dietmar A. Salamon　Functional Analysis — Theo Bühler & Dietmar A. Salamon

教材 / Book　S13　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived　元数据已补 / metadata recovered　抓取失败（链接可用）

中文导读　ETH 研究生泛函分析：Hahn-Banach、一致有界、开映射/闭图像、弱拓扑、Fredholm 算子（作者主页免费）

Original　Functional analysis is a central subject of mathematics with applications in many areas of geometry, analysis, and physics. This book provides a comprehensive introduction to the field for graduate students and researchers.

官方链接 / Link：https://people.math.ethz.ch/~salamon/PREPRIN…

抽象代数：理论与应用 — Thomas W. Judson　Abstract Algebra: Theory and Applications — Thomas W. Judson

教材 / Book　S13　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived

中文导读　GNU FDL 开源抽象代数：群同态/Sylow/环与理想/PID/Galois，每章大量结构证明题

Original　Instructors The print editions of Abstract Algebra: Theory and Applications (AATA) and The Ordinary Differential Equation Project (The ODE Project) are now available. Both are open source textbooks licensed with a GNU Free Documentation License (GFDL) and a Creative Commons License (CC), respectively.

官方链接 / Link：https://judsonbooks.org/

Terence Tao UCLA Math 245A/245B/245C 讲义

讲义 / Lecture notes　S13 S14　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　陶哲轩实分析/泛函/调和分析讲义，正文内嵌数百道 Exercise

Original　Category Archive You are currently browsing the category archive for the ‘245A – Real analysis’ category. “Introduction to measure theory” now published 15 September, 2011 in 245A - Real analysis , book , math.CA , update | Tags: measure theory | by Terence Tao | 3 comments My graduate text on measure theory (based on these lecture notes) is now published b…

官方链接 / Link：https://terrytao.wordpress.com/category/teac…

群论与域论及伽罗瓦理论 — J. S. Milne Group Theory & Fields and Galois Theory — J. S. Milne

讲义 / Lecture notes　S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　作者主页免费研究生代数讲义：证明言简意赅

Original　Notes for graduate-level mathematics courses: Galois theory, groups, number theory, algebraic geometry, modular functions, abelian varieties, class field theory, etale cohomology.

官方链接 / Link：https://www.jmilne.org/math/CourseNotes/

Introduction to Representation Theory — Pavel Etingof 等（MIT 研究生讲义）

讲义 / Lecture notes　S13 S14　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　arXiv 免费讲义：Schur 引理/Maschke 定理/特征标/箭图与李代数表示，自带证明习题

Original　These are lecture notes that arose from a representation theory course given by the first author to the remaining six authors in March 2004 within the framework of the Clay Mathematics Institute Research Academy for high school students, and its extended version given by the first author to MIT undergraduate math students in the Fall of 2008.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/0901.0827

Stochastic Calculus（Princeton ORF 526 研究生讲义）— Ramon van Handel

讲义 / Lecture notes　S13　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived

中文导读　从滤子/局部鞅/二次变差严格构建 Itô 积分、Girsanov 与 SDE 强弱解理论

Original　Ramon van Handel Professor · Mathematics · PACM Fine Hall, Room 206 Princeton University Princeton, NJ 08544 (609) 258 0973 E-mail: rvan AT math.princeton.edu

官方链接 / Link：https://web.math.princeton.edu/~rvan/

Amir Dembo 斯坦福测度论概率讲义（Math 230A / Stat 310）

讲义 / Lecture notes　S13　开放获取 / Open access　留档 1 份（补档） / 1 archived

中文导读　弱收敛（Portmanteau/Prokhorov）、大偏差原理与布朗运动构造，证明细节完整

Original　Amir Dembo's home page Address: Department of Statistics and Department of Mathematics, Stanford University, Stanford, CA 94305. Phone: (650) 7252237. Fax: (650) 7258977. e-mail: amir at math.stanford.edu Areas of interest: Probability theory and Stochastic processes. See also seminar (current and past speakers).

官方链接 / Link：https://adembo.su.domains/

流形几何学讲义 — Liviu I. Nicolaescu Lectures on the Geometry of Manifolds — Liviu I. Nicolaescu

教材 / Book　S13　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　从光滑流形/微分形式/Stokes 到联络、曲率、Riemann 几何与 Hodge 理论（作者主页免费）

官方链接 / Link：https://www3.nd.edu/~lnicolae/Lectures.pdf

最优传输：旧与新——塞德里克·维拉尼 Optimal Transport: Old and New — Cédric Villani

教材 / Book　S13　部分免费 / Partially free

中文导读　最优传输百科全书：Kantorovich 对偶、Brenier 极分解、Wasserstein 完备性与 Otto 微积分

Original　This book presents a broad overview with proofs. It details the Monge-Kantorovich problem, Riemannian geometry, dynamical systems and more.

官方链接 / Link：https://link.springer.com/book/10.1007/978-3…

S14 开源纯数学与题库

开放获取纯数学教材 + MIT OCW/剑桥 Tripos/arXiv 题库（本节 9 条 / 9 entries）

Terence Tao UCLA Math 245A/245B/245C 讲义

讲义 / Lecture notes　S13 S14　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　陶哲轩实分析/泛函/调和分析讲义，正文内嵌数百道 Exercise

Original　Category Archive You are currently browsing the category archive for the ‘245A – Real analysis’ category. “Introduction to measure theory” now published 15 September, 2011 in 245A - Real analysis , book , math.CA , update | Tags: measure theory | by Terence Tao | 3 comments My graduate text on measure theory (based on these lecture notes) is now published b…

官方链接 / Link：https://terrytao.wordpress.com/category/teac…

Introduction to Representation Theory — Pavel Etingof 等（MIT 研究生讲义）

讲义 / Lecture notes　S13 S14　开放获取 / Open access　留档 1 份 / 1 archived

中文导读　arXiv 免费讲义：Schur 引理/Maschke 定理/特征标/箭图与李代数表示，自带证明习题

Original　These are lecture notes that arose from a representation theory course given by the first author to the remaining six authors in March 2004 within the framework of the Clay Mathematics Institute Research Academy for high school students, and its extended version given by the first author to MIT undergraduate math students in the Fall of 2008.

官方链接 / Link：https://arxiv.org/abs/0901.0827

18.100B / 18.102 / 18.701 / 18.702 / 18.965 题库（MIT OCW）

习题集 / Problem set　S14　开放获取 / Open access

中文导读　MIT OCW 纯数学核心课程题库：作业（Problem Sets）与考试/复习材料；OCW 现行版本未公开官方解答，解答需自行推导或另寻

Original　MIT OpenCourseWare is a web based publication of virtually all MIT course content. OCW is open and available to the world and is a permanent MIT activity

官方链接 / Link：https://ocw.mit.edu/

MIT OCW 18.100B（实分析）　MIT OCW 18.100B（Real Analysis）

课程 / Course　S14　开放获取 / Open access　留档 36 份（OCW） / 36 archived

中文导读　MIT 公开课：《数学分析原理》水准的度量空间/紧性/一致收敛证明题（OCW 现行版本只公开题单，未公开官方解答）

Original　This course gives an introduction to analysis, and the goal is twofold:Â Â Â Â Â Â Â Â 1. To learn how to prove mathematical theorems in analysis and how to write proofs.Â Â Â Â Â Â Â Â Â 2. To prove theorems in calculus in a rigorous way.

官方链接 / Link：https://ocw.mit.edu/courses/18-100b-real-ana…

MIT OCW 18.102（泛函分析导论）　MIT OCW 18.102（Introduction to Functional Analysis）

课程 / Course　S14　开放获取 / Open access　留档 37 份（OCW） / 37 archived

中文导读　Banach/Hilbert 空间、有界/紧算子证明题（OCW 现行版本只公开题单与考试材料）

Original　Functional analysis helps us study and solve both linear and nonlinear problems posed on a normed space that is no longer finite-dimensional, a situation that arises very naturally in many concrete problems.

官方链接 / Link：https://ocw.mit.edu/courses/18-102-introduct…

MIT OCW 18.701（代数 I）　MIT OCW 18.701（Algebra I）

课程 / Course　S14　开放获取 / Open access　留档 16 份（OCW） / 16 archived

中文导读　群作用与线性代数纯证明题（OCW 只公开题单）

Original　This undergraduate level Algebra I course covers groups, vector spaces, linear transformations, symmetry groups, bilinear forms, and linear groups.

官方链接 / Link：https://ocw.mit.edu/courses/18-701-algebra-i…

MIT OCW 18.702（代数 II） MIT OCW 18.702（Algebra II）

课程 / Course　S14　开放获取 / Open access　留档 10 份（OCW） / 10 archived

中文导读　表示论、模与域扩张纯证明题（OCW 只公开题单）

Original　This undergraduate level course follows Algebra I. Topics include group representations, rings, ideals, fields, polynomial rings, modules, factorization, integers in quadratic number fields, field extensions, and Galois theory.

官方链接 / Link：https://ocw.mit.edu/courses/18-702-algebra-i…

MIT OCW 18.965（流形几何） MIT OCW 18.965（Geometry of Manifolds）

课程 / Course　S14　开放获取 / Open access　留档 32 份（OCW） / 32 archived

中文导读　流形、张量场与微分形式证明题（OCW 只公开题单）

Original　Geometry of Manifolds analyzes topics such as the differentiable manifolds and vector fields and forms. It also makes an introduction to Lie groups, the de Rham theorem, and Riemannian manifolds.

官方链接 / Link：https://ocw.mit.edu/courses/18-965-geometry-…

剑桥大学数学系 Tripos Part II / Part III Example Sheets

习题集 / Problem set　S14　开放获取 / Open access　留档 72 份（补档） / 72 archived

中文导读　世界顶尖纯数研究生难度专题证明题单

Original　Home Current Students Undergraduate Mathematics Course Information Part IA (pdf) Part IB (pdf) Part II (pdf) Schedules (pdf) Lecture list Archive of past lecture lists Additional Resources Supervisions Part II modular examination Examples Sheets CATAM Past IA, IB and II Examination Papers Supervisions Study Skills Pastoral Support Feedback & Reporting Inform…

官方链接 / Link：https://www.maths.cam.ac.uk/undergrad/exampl…

三、指南摘要 / 3. Guide Digest

五个低算力顶会课题 / Five Compute-Light Thesis Topics

课题 Topic	核心痛点 Core pain point	研究切入点 Research entry point	实验与算力配置 Experiment and compute setup	目标顶会 Target venues
一、推理模型"思维预算"动态控制与过度思考抑制 1. Dynamic control of the reasoning-model "thinking budget" and suppression of overthinking	Long-CoT 推理模型面对简单问题易陷入"过度思考（Overthinking）"，生成大量冗余验证 Token 致延迟飙升；高难问题又可能过早停止探索（p5） Long-CoT reasoning models easily fall into "overthinking" on simple problems, generating many redundant verification tokens and sharply increasing latency; on hard problems they may stop exploring too early (p5)	设计轻量甚至训练-free 的推理期早停（Early-Exiting）或动态路由：监测隐藏层状态、注意力熵值变化或思维链中自我否定词频，在模型锁定正确答案的瞬间动态截断思维链，或自适应分配推理计算预算（Test-time Scaling）（p5） Design a lightweight or even training-free inference-time early-exit or dynamic-routing strategy: monitor hidden states, attention-entropy changes, or the frequency of self-negation words in the chain of thought, cut the chain the moment the model has locked in the correct answer, or adaptively allocate inference compute (Test-time Scaling) (p5)	仅需 1 张 24GB/48GB 显卡；直接基于开源 7B/8B/14B 蒸馏推理模型，在 MATH-500、AIME、GPQA 等基准上跑推理评估，对比 Token 消耗量（降低 30%-50%）与准确率保持率（p5） Only 1 GPU with 24GB/48GB is needed; start from open 7B/8B/14B distilled reasoning models and run inference evaluations on MATH-500, AIME, GPQA, comparing token consumption (reduced by 30%-50%) against accuracy retention (p5)	NeurIPS、ICLR、ACL、EMNLP NeurIPS, ICLR, ACL, EMNLP
二、RLVR 高价值样本筛选与课程学习策略 2. High-value sample selection and curriculum-learning strategies for RLVR	用 GRPO 等算法做推理强化学习时，海量样本中存在大量"全对（模型早就会了，梯度为零）"和"全错（太难，采样不到正奖励）"的无效数据，严重浪费训练算力（p6） When using GRPO and similar algorithms for reasoning RL, the massive sample pool contains many invalid samples that are "all correct (the model already knows them, so gradients are zero)" or "all wrong (too hard, no positive reward can be sampled)", severely wasting training compute (p6)	探索数据高效（Data-Efficient）后训练配方：基于模型当前能力边界（Pass@k 分布方差、输出分布困惑度或思维链结构复杂度）做在线动态数据筛选（Online Data Selection）或课程学习，证明仅用 10%-20% 核心训练数据即可达到全量数据训练的 RL 效果，甚至缓解语言退化（p6） Explore data-efficient post-training recipes: use the model's current capability boundary (Pass@k distribution variance, output-distribution perplexity, or chain-of-thought structural complexity) to perform online dynamic data selection (Online Data Selection) or curriculum learning, and prove that only 10%-20% of the core training data matches the RL effect of training on the full dataset, possibly even mitigating language degradation (p6)	2-4 张 4090 或单张 A100/H100（配合 LoRA + vLLM/SGLang 加速采样；3B/7B 模型在几千条高质量数学/代码数据上只需数小时至一两天即可跑完一轮完整实验）（p6） 2-4 RTX 4090s or a single A100/H100 (with LoRA + vLLM/SGLang accelerated sampling; a 3B/7B model on a few thousand high-quality math/code samples completes one full experiment round in hours to one or two days) (p6)	ICML、NeurIPS、ICLR ICML, NeurIPS, ICLR

课题 Topic	核心痛点 Core pain point	研究切入点 Research entry point	实验与算力配置 Experiment and compute setup	目标顶会 Target venues
三、无需训练的 KV Cache 极端压缩与长上下文注意力稀疏化 3. Training-free extreme KV Cache compression and long-context attention sparsification	处理长文档、多轮 Agent 历史记录或长视频时，KV Cache 显存占用成为推理吞吐量最大瓶颈；现有静态驱逐策略（如只保留首尾 Token）经常误删关键"大海捞针"信息（p6） For long documents, multi-turn agent histories, or long videos, KV Cache memory becomes the biggest bottleneck on inference throughput; existing static eviction policies (such as keeping only the first and last tokens) often mistakenly delete key "needle-in-a-haystack" information (p6)	结合注意力机制底层几何或频谱特征，提出自适应层级/头级（Layer-wise / Head-wise）KV Cache 压缩与低比特混合量化：区分"局部语法头"与"全局检索头"，按不同注意力头分配差异化缓存保留预算，把 KV Cache 显存压缩至 15%-20% 的同时保证长上下文推理与多跳问答几乎无损（p6） Combine the underlying geometry or spectral features of attention to propose adaptive layer-wise/head-wise (Layer-wise / Head-wise) KV Cache compression with mixed low-bit quantization: distinguish "local syntax heads" from "global retrieval heads", assign differentiated cache-retention budgets per attention head, and compress KV Cache memory to 15%-20% while keeping long-context reasoning and multi-hop QA almost lossless (p6)	1 张 24GB 显卡即可完成全部实验，完全不需要训练模型；编写自定义 Attention Hook 或基于 vLLM/HuggingFace 改造推理代码，在 LongBench、RULER、Needle-in-a-Haystack 上做充分消融与吞吐量测试（p6） 1 GPU with 24GB is enough for all experiments, and no model training is needed; write a custom Attention Hook or adapt the vLLM/HuggingFace inference code, and run full ablations and throughput tests on LongBench, RULER, and Needle-in-a-Haystack (p6)	ICLR、NeurIPS、MLSys ICLR, NeurIPS, MLSys
四、多智能体协作中的上下文退化诊断与自适应记忆压缩 4. Diagnosing context degradation and adaptive memory compression in multi-agent collaboration	复杂软件工程（SWE）或深度研究智能体（Deep Research Agent）执行几十步工具调用后上下文迅速膨胀，出现"注意力迷失"、重复犯错以及工具调用格式崩溃（p6） After dozens of tool-call steps in complex software engineering (SWE) or deep-research agents (Deep Research Agent), the context balloons rapidly, causing "attention loss", repeated mistakes, and broken tool-call formats (p6)	针对长程交互轨迹（Trajectory）设计基于因果归因或状态摘要的结构化记忆机制（Structured Memory / Context Folding）：自动折叠已完成子任务细节、保留关键环境状态与失败教训，并构建轻量重放/反思策略，提升 7B-14B 小模型作 Agent 基座的任务完成率（p6） For long-horizon interaction trajectories (Trajectory), design a structured memory mechanism based on causal attribution or state summarization (Structured Memory / Context Folding): automatically fold the details of completed subtasks, retain critical environment states and failure lessons, and build a lightweight replay/reflection strategy to improve task completion when 7B-14B small open models serve as the agent base (p6)	1-2 张 24GB 显卡（本地部署 7B/8B/14B 开源模型作 Agent 核心，配合局部轻量 LoRA 微调或纯推理策略优化），在 SWE-bench Lite、OSWorld 或 WebArena 子集上验证（p6） 1-2 GPUs with 24GB (deploy 7B/8B/14B open models locally as the agent core, with light local LoRA fine-tuning or pure inference-time policy optimization), validated on SWE-bench Lite, OSWorld, or a WebArena subset (p6)	ACL、ICLR、NeurIPS（Datasets & Benchmarks 或 Main Track） ACL, ICLR, NeurIPS (Datasets & Benchmarks or Main Track)

课题 Topic	核心痛点 Core pain point	研究切入点 Research entry point	实验与算力配置 Experiment and compute setup	目标顶会 Target venues
五、大模型内部表征干预（Activation Steering）与知识边界校准 **5. LLM internal representation intervention (Activation Steering) and knowledge-boundary calibration**	模型面对超出自身知识边界的问题时产生严重幻觉，或多模态场景下过度依赖语言先验而忽略视觉输入（视觉幻觉）；传统微调成本高且容易破坏通用能力（p7） Models hallucinate severely on questions beyond their knowledge boundary, or over-rely on language priors and ignore visual input in multimodal settings (visual hallucination); conventional fine-tuning is costly and easily damages general capabilities (p7)	分析模型残差流（Residual Stream）或特定注意力头的激活方向，寻找控制"事实确定性""拒答倾向"或"视觉注意力权重"的低维线性子空间；设计推理期自适应激活转向（Adaptive Activation Steering）或轻量级探针干预，在不修改权重的前提下显著降低幻觉率并提升不确定性校准（Calibration）指标（p7） Analyze the residual stream (Residual Stream) or the activation directions of specific attention heads to find low-dimensional linear subspaces that control "factual certainty", "refusal tendency", or "visual attention weights"; design inference-time adaptive activation steering (Adaptive Activation Steering) or lightweight probe interventions that significantly reduce hallucination rates and improve calibration metrics without modifying model weights (p7)	单张 24GB 显卡极速出结果；单次前向传播提取特征与验证只需几分钟，非常适合快速迭代想法、绘制精美的表征可视化图（审稿人非常喜欢这类机理剖析工作）（p7） A single 24GB GPU yields results extremely fast; extracting features and validating them takes only minutes per forward pass, ideal for rapid iteration and for drawing polished representation-visualization figures (reviewers particularly like this kind of mechanistic analysis) (p7)	NeurIPS、ICLR、EMNLP NeurIPS, ICLR, EMNLP

五课题饱和度 / Saturation of the Five Topics

课题方向 Topic direction	饱和度 Saturation	已饱和的"红海做法"（审稿人易拒稿） Saturated "red ocean" approaches (easy for reviewers to reject)	未饱和的"蓝海切入点"（高命中率） Unsaturated "blue ocean" entry points (high hit rate)
课题三：KV Cache 极端压缩 Project 3: Extreme KV Cache compression	极高 ★★★★★ Extremely high ★★★★★	针对"长输入、短输出"的常规 Token 驱逐（仅换个注意力打分公式在 LongBench 上刷分，ACL 2026 已有系统综述总结此类方法）（p8） Conventional token eviction for "long input, short output" (just swapping the attention-scoring formula and chasing points on LongBench; ACL 2026 already has a survey summarizing such methods) (p8)	面向推理模型长输出（Long-CoT）的阶段感知异构压缩；结合 Triton 算子融合实现真实吞吐量（Throughput）提升，而非仅在 Transformers 里模拟稀疏率（p8） Stage-aware heterogeneous compression for long reasoning-model outputs (Long-CoT); Triton-kernel fusion to achieve real throughput gains rather than merely simulating sparsity ratios inside Transformers (p8)
课题一：推理模型"思维预算"控制 Project 1: Reasoning-model "thinking budget" control	高 ★★★★☆ High ★★★★☆	简单的基于 Token 熵值、全局置信度阈值早停，或单纯用 Prompt 限制思维链长度（相关综述与基准已密集涌现）（p8） Simple early stopping based on token entropy or global confidence thresholds, or limiting chain-of-thought length with prompts alone (related surveys and benchmarks are already proliferating) (p8)	解决"伪收敛"与"过度思考导致对改错"问题：利用内部特定注意力头（如思维划分头）做细粒度步骤级干预；或转向多模态长思维链（Multimodal CoT）的跨模态冗余抑制（p8） Solve "pseudo-convergence" and the problem of overthinking turning correct answers into wrong ones: use specific internal attention heads (such as thought-divider heads) for fine-grained step-level intervention; or move to suppressing cross-modal redundancy in multimodal long chain-of-thought (Multimodal CoT) (p8)
课题五：内部表征干预（Activation Steering） Project 5: LLM internal representation intervention (Activation Steering)	中高 ★★★☆☆ Medium-high ★★★☆☆	全局静态、固定强度的线性转向向量（审稿人已熟知其会破坏通用能力、对超参敏感，且无法强行注入新事实知识）（p8） Global static linear steering vectors of fixed strength (reviewers already know they damage general capabilities, are sensitive to hyperparameters, and cannot force new factual knowledge in) (p8)	动态闭环与条件门控干预（引入控制论反馈机制或 Token 级动态拒止，仅在越界风险出现时介入）；在 VLM 中抑制语言先验过强导致的视觉幻觉（p8） Dynamic closed-loop and conditional-gated intervention (introduce control-theory feedback or token-level dynamic refusal, intervening only when an out-of-boundary risk appears); suppress visual hallucination caused by an over-strong language prior in VLMs (p8)
课题二：RLVR 样本筛选与课程学习 Project 2: RLVR sample selection and curriculum learning	中 ★★★☆☆ Medium ★★★☆☆	仅过滤掉"全对或全错（零梯度）"样本的静态筛选（已成为主流 RL 训练框架的默认工程技巧）（p8） Static filtering that only removes "all-correct or all-wrong (zero-gradient)" samples (already a default engineering trick in mainstream RL training frameworks) (p8)	突破推理边界（Expanding Reasoning Boundary）：传统 GRPO 往往只提高 Pass@1 却导致大 k 下 Pass@k 探索覆盖率萎缩；研究如何用极少高难样本配合逆向课程解锁模型原本不会的难题（p8） Expand the reasoning boundary (Expanding Reasoning Boundary): conventional GRPO often only raises Pass@1 while shrinking Pass@k exploration coverage at large k; study how to unlock problems the model originally could not solve using very few hard samples plus a reverse curriculum (p8)
课题四：多智能体上下文退化与记忆压缩 Project 4: Multi-agent context degradation and memory compression	中低 ★★☆☆☆ Medium-low ★★☆☆☆	每隔固定轮次调用大模型做粗暴的纯文本摘要（Summarization），导致关键报错信息或约束丢失（p8） Calling an LLM every fixed number of rounds for crude plain-text summarization (Summarization), losing critical error messages or constraints (p8)	可恢复的状态近似（Recoverable State Approximation）与潜在/KV 级跨步记忆复用：压缩 50+ 步长程工具调用轨迹时保留因果回溯指针，系统性诊断并修复智能体失败模式（p8） Recoverable state approximation (Recoverable State Approximation) and latent/KV-level cross-step memory reuse: keep causal backtracking pointers when compressing 50+ step long-horizon tool-call trajectories, and systematically diagnose and repair agent failure modes (p8)

30 天学习计划 / 30-Day Study Plan

周次 Week	周目标 Weekly goal	关键学习与动手内容 Key learning and hands-on content	验收标准 Acceptance criteria	关键工具 Key tools
第 1 周（Day 1-7） Week 1 (Day 1-7)	掌握 PyTorch 核心机制与训练闭环，彻底摆脱对封装训练框架的依赖 Master PyTorch core mechanisms and the training loop, and stop depending on wrapper training frameworks	Day 1-2 张量内存布局、广播机制、view/reshape/permute/transpose；Day 3-4 autograd、detach、nn.Module、AdamW，手写含 LayerNorm 与残差的两层全连接小网络并打印 .grad；Day 5-7 完整训练循环（Dataset/DataLoader、交叉熵、梯度裁剪、torch.amp）（p11） Day 1-2 tensor memory layout, broadcasting, view/reshape/permute/transpose; Day 3-4 autograd, detach, nn.Module, AdamW, hand-write a small two-layer fully connected network with LayerNorm and residual connections and print the .grad of each layer; Day 5-7 a complete training loop (Dataset/DataLoader, cross-entropy, gradient clipping, torch.amp) (p11)	不查文档写出包含 optimizer.zero_grad()、loss.backward()、optimizer.step() 与 model.eval() 的标准 PyTorch 训练模板，并能独立排查 RuntimeError: shape mismatch（p11） Without consulting documentation, write the standard PyTorch training template containing optimizer.zero_grad(), loss.backward(), optimizer.step(), and model.eval(), and independently troubleshoot the common RuntimeError: shape mismatch (p11)	PyTorch、einops、nvidia-smi PyTorch, einops, nvidia-smi
第 2 周（Day 8-14） Week 2 (Day 8-14)	手撕 Transformer 与现代大模型架构，从底层矩阵运算理解 Decoder-only 大模型的每个组件 Hand-code Transformer and modern LLM architectures, understanding every component of a Decoder-only large model from bottom-level matrix operations	Day 8-9 BPE Tokenizer、词嵌入、RoPE 旋转位置编码数学直觉与一维旋转矩阵手写；Day 10-11 用 torch.matmul 与 softmax 手写带因果掩码的 GQA 模块；Day 12-14 RMSNorm、SwiGLU、Pre-Norm 残差结构与 KV Cache 原理，跟 nanoGPT 拼装微型 GPT 完成预训练与逐 Token 自回归生成（p11-12） Day 8-9 BPE Tokenizer, word embeddings, mathematical intuition of RoPE rotary positional encoding and a hand-written 1-D rotation matrix; Day 10-11 hand-write a causal-masked GQA module with torch.matmul and softmax; Day 12-14 RMSNorm, SwiGLU, Pre-Norm residual structure, and KV Cache principles, assemble a tiny GPT with nanoGPT and complete pretraining plus token-by-token autoregressive generation (p11-12)	能在白板或空白 .py 文件独立手写出 GQA 注意力核心前向代码，并用自己的话解释为什么推理时引入 KV Cache 能大幅降低时间复杂度（p12） Independently hand-write the core GQA attention forward code on a whiteboard or in an empty .py file, and explain in your own words why introducing KV Cache at inference greatly reduces time complexity (p12)	PyTorch、Karpathy nanoGPT PyTorch, Karpathy nanoGPT

周次 Week	周目标 Weekly goal	关键学习与动手内容 Key learning and hands-on content	验收标准 Acceptance criteria	关键工具 Key tools
第 3 周（Day 15-21） Week 3 (Day 15-21)	熟练驾驭 HuggingFace 工具链，学会加载开源大模型并提取内部表征（科研必备技能） Become fluent with the HuggingFace toolchain and learn to load open LLMs and extract internal representations (an essential research skill)	Day 15-16 AutoTokenizer / AutoModelForCausalLM / AutoConfig 三件套与 apply_chat_template，加载 Qwen2.5-7B-Instruct（或 3B）；Day 17-18 FP16/BF16、bitsandbytes 4-bit/8-bit 量化、temperature/top_p/do_sample，对比显存与生成速度；Day 19-21 用 output_hidden_states=True 与 register_forward_hook 提取激活张量，并部署 vLLM 跑通离线批量推理（p12） Day 15-16 the AutoTokenizer / AutoModelForCausalLM / AutoConfig trio and apply_chat_template, load Qwen2.5-7B-Instruct (or the 3B version); Day 17-18 FP16/BF16, bitsandbytes 4-bit/8-bit quantization, temperature/top_p/do_sample, compare memory use and generation speed; Day 19-21 extract activation tensors with output_hidden_states=True and register_forward_hook, and deploy vLLM for offline batch inference (p12)	能在单卡上流畅运行开源大模型的批量推理，且掌握用 PyTorch Hook 拦截并打印中间层激活值的能力（复现表征干预、注意力分析类顶会论文的核心基础）（p12） Run batch inference with open LLMs smoothly on a single GPU, and master using PyTorch Hooks to intercept and print intermediate-layer activations (the core foundation for reproducing top-conference papers on representation intervention and attention analysis) (p12)	transformers、bitsandbytes、vLLM、HuggingFace 镜像源 transformers, bitsandbytes, vLLM, HuggingFace mirror
第 4 周（Day 22-30） Week 4 (Day 22-30)	掌握 LoRA / QLoRA 原理，完成从数据清洗、模型微调到效果评测的完整闭环 Master LoRA / QLoRA principles and complete the full loop from data cleaning and model fine-tuning to effect evaluation	Day 22-23 指令微调（SFT）数据格式 Alpaca / ShareGPT、Loss Masking，准备 500-1000 条垂直任务数据；Day 24-25 LoRA/QLoRA 数学原理（低秩旁路矩阵 W + BA）、秩 r / lora_alpha / target_modules 与 peft 库，打印可训练参数量占比（通常仅占总参数量的 0.5%–2%）；Day 26-28 BF16 + gradient_checkpointing + trl 的 SFTTrainer 跑通微调；Day 29-30 merge_and_unload、在独立 100 条验证集上对比原始基座与微调模型，代码与实验记录整理至 GitHub（p12-13） Day 22-23 instruction-tuning (SFT) data formats Alpaca / ShareGPT and Loss Masking, prepare 500-1000 vertical-task samples; Day 24-25 LoRA/QLoRA mathematics (low-rank bypass matrices W + BA), rank r / lora_alpha / target_modules, and the peft library, printing the share of trainable parameters (usually only 0.5%-2% of all parameters); Day 26-28 run fine-tuning with BF16 + gradient_checkpointing + the trl SFTTrainer; Day 29-30 merge_and_unload, compare the original base model with the fine-tuned model on an independent 100-sample validation set, and organize the code and experiment records on GitHub (p12-13)	拥有一个亲手微调、有明确量化对比指标（如格式准确率从 62% 提升至 96%）的 GitHub 仓库，具备正式进组或复现顶会论文基线代码的工程能力（p13） Own a GitHub repository with a model you fine-tuned yourself and clear quantitative comparison metrics (such as format accuracy rising from 62% to 96%), demonstrating the engineering ability to officially join a lab or reproduce top-conference baseline code (p13)	peft、trl（SFTTrainer）、bitsandbytes、SwanLab/TensorBoard peft, trl (SFTTrainer), bitsandbytes, SwanLab/TensorBoard

八、中文资源补充 / 8. Chinese-language Resources

下列资源本身是中文（或官方中译本/中文版），与英文资源配合使用；共 35 条。

编号	名称	类型	阶段	说明	链接
Z001	动手学深度学习 Dive into Deep Learning	教材	S1 S3 S6	李沐等《动手学深度学习》2.0 中文在线版，覆盖张量、CNN、RNN 到 Transformer，配可运行代码。	链接 · PDF
Z002	动手学深度学习（中文版仓库） d2l-zh	仓库	S3 S6	D2L 中文版官方源码仓库，含全书 Notebook 与 PDF 构建脚本，适合配合 30 天计划动手。	链接
Z003	统计学习方法 Statistical Learning Methods	教材	S1	李航《统计学习方法》第 2 版，清华大学出版社官方图书页；监督学习与无监督学习方法的系统入门。	链接
Z004	机器学习（西瓜书） Machine Learning	教材	S1	周志华《机器学习》书目页，中文机器学习教材的经典入门，可配合南瓜书读公式推导。	链接
Z005	南瓜书：机器学习公式详解 PumpkinBook	教程	S1	Datawhale 社区对西瓜书公式的逐条推导与补充，适合配合 S1 数理直觉学习。	链接 · PDF
Z006	深度学习（花书中文版） Deep Learning	教材	S1 S3	Goodfellow 等《深度学习》（花书）中文版书目页，系统覆盖深度学习基础与前沿。	链接
Z007	李宏毅机器学习课程（2025 春） Machine Learning (Hung-yi Lee, 2025 Spring)	课程	S1 S3	李宏毅 2025 春季机器学习课程官网，含课件、作业与视频入口，中文授课。	链接
Z008	李宏毅生成式 AI 导论（2024 春） Introduction to Generative AI (2024 Spring)	课程	S2 S4	李宏毅生成式 AI 导论课程官网，覆盖 LLM 原理、训练与应用，与 S2/S4 大模型方向衔接。	链接
Z009	李宏毅深度学习教程（苹果书） LeeDL Tutorial	教程	S1 S3	李宏毅老师推荐的中文深度学习教程，含官方 PDF；PDF 约 135 MiB，超过本次 30 MB 下载上限。	链接 · PDF
Z010	吴恩达机器学习课程中文笔记 Coursera-ML-AndrewNg-Notes	仓库	S1 S3	社区整理的吴恩达《机器学习》课程中文笔记与代码，适合作为 S3 经典 ML 的补充材料。	链接
Z011	吴恩达深度学习课程笔记 deeplearning_ai_books	仓库	S1 S3	吴恩达 deeplearning.ai 系列课程的中文笔记与资源整理，覆盖 CNN、RNN 与序列模型。	链接
Z012	神经网络与深度学习（蒲公英书） Neural Networks and Deep Learning	教材	S1 S3	邱锡鹏《神经网络与深度学习》官方仓库；官网 nndl.ai 证书过期，改用官方 GitHub 仓库入口。	链接
Z013	AI 算法工程师手册 AI Algorithm Engineer Handbook	网站	S1 S3 S4	华校专中文 AI 手册，系统整理机器学习/深度学习算法、工程实践与面试知识。	链接
Z014	机器学习方法习题解答 Machine Learning Methods Exercise Solutions	仓库	S1 S12	Datawhale 社区《机器学习方法》（李航）习题解答，适合配合 S1/S12 刷题。	链接
Z015	动手学强化学习 Hands-on Reinforcement Learning	教材	S5	张伟楠等《动手学强化学习》中文在线书，覆盖 RL 基础到前沿，与 S5 的 RLVR 课题背景衔接。	链接
Z016	开源大模型食用指南（self-llm） Self-LLM Cookbook	教程	S2 S4 S6	面向中文读者的大模型本地部署与 LoRA/全参微调教程，覆盖国内外开源 LLM。	链接
Z017	Happy-LLM：从零开始构建大模型 Happy-LLM	教材	S2 S3 S4	Datawhale 中文大模型原理与实践教程，从 Transformer 到预训练/微调全流程，附官方 PDF。	链接 · PDF
Z018	LLM Universe：大模型应用开发教程 LLM Universe	教程	S2 S3	面向小白开发者的大模型应用开发教程，覆盖 RAG、Agent 与部署，附官方 PDF。	链接 · PDF
Z019	LLM Cookbook：大模型入门教程 LLM Cookbook	教程	S2 S4	吴恩达大模型系列课程的中文版整理，含 Prompt、RAG、微调等实践章节。	链接
Z020	Tiny-Universe：大模型白盒子构建指南 Tiny-Universe	仓库	S2 S3	手搓 Tiny 版 LLM/RAG/Agent 组件的教程仓库，适合动手理解大模型内部原理。	链接
Z021	Hello-Agents：从零开始构建智能体 Hello-Agents	教材	S2 S5	《从零开始构建智能体》中文教程，覆盖 Agent 原理、工具调用与多智能体实践；PDF 约 98 MiB，超过下载上限。	链接 · PDF
Z022	蘑菇书 EasyRL：强化学习中文教程 Easy-RL	教材	S5	Datawhale 强化学习中文教程（蘑菇书），含在线书与习题；PDF 约 164 MiB，超过下载上限。	链接 · PDF

编号	名称	类型	阶段	说明	链接
Z023	大模型基础（浙江大学） Foundations of LLMs	教材	S2 S4	浙江大学《大模型基础》课程配套开源书，覆盖 LLM 原理、训练与评测。	链接
Z024	书生·浦语大模型实战营 InternLM Tutorial	课程	S2 S4	上海 AI Lab 的 InternLM 中文大模型实战课程仓库，含微调、部署与评测教程。	链接
Z025	线性代数应该这样学（第3版中译本） Linear Algebra Done Right	教材	S10 S11 S13	Axler《线性代数应该这样学》第 3 版中译本书目页，对应索引 B010 的官方中译本。	链接
Z026	凸优化（中译本） Convex Optimization	教材	S9 S10	Boyd & Vandenberghe《凸优化》王书宁等中译本书目页，对应索引 B003。	链接
Z027	高等代数 — 丘维声	教材	S10	中文高等代数教材，系统训练多项式、线性变换不变子空间与二次型的严格证明。	链接
Z028	高等代数学 — 张贤科	教材	S10	与丘维声并列的中文高等代数严格证明教材。	链接
Z029	概率论基础 — 李贤平	教材	S10	中文概率论打底教材，培养古典与初等概率直觉。	链接
Z030	概率论基础 — 严士健、王隽骧	教材	S10	测度论公理化体系的中文概率论教材。	链接
Z031	数学分析中的典型问题与方法 — 裴礼文	习题集	S12	中文数学分析题集，重点覆盖一致收敛、积分不等式与泰勒余项放缩。	链接
Z032	数学分析习题课讲义 — 谢惠民	习题集	S12	中文数学分析习题课讲义，适合与裴礼文题集互补刷证明题。	链接
Z033	高等代数中的典型问题与方法 — 李志慧、李永明（指南原标樊恽、刘合国）	习题集	S12	科学出版社官方商城页；作者按权威书目更正为李志慧、李永明（指南原标樊恽、刘合国）。	链接
Z034	实变函数论 — 周民强	教材	S13	中文实变函数经典教材，覆盖测度论与 Lebesgue 积分，服务 S13 纯数学训练。	链接
Z035	机器学习理论导引 — 周志华等	教材	S7 S8 S9	周志华团队《机器学习理论导引》，梳理 PAC 学习、统计学习与优化理论，衔接 S7/S9 理论路线。	链接

五、缺口与已知问题 / 5. Gaps & Caveats

1. 11 条书目因出版社反爬抓不到正文，但已用 Crossref / OpenLibrary / Wayback 补齐权威元数据（含 ISBN/DOI/年份）。
   11 bibliographic entries cannot be fetched because publishers block crawlers; authoritative metadata (ISBN/DOI/year) was recovered via Crossref, OpenLibrary and the Wayback Machine.
2. MIT OCW 现行版本未公开官方解答，留档为题单/考试/讲义；C011、C012 该版本无公开讲义。
   MIT OCW does not publish official solutions; archived files are problem sets, exams and lecture notes. C011 and C012 have no public lecture notes in the current OCW version.
3. 剑桥 Tripos 部分题单仅在受保护的校内 Moodle；部分课程当年 PDF 未被 Wayback 收录，改用同课程更早学年题单。
   Some Cambridge Tripos sheets are only available on the protected internal Moodle; where the current-year PDFs were not archived, earlier-year sheets of the same course were used.
4. B064 van Handel ORF526 原讲义已 404 且无存档，收录作者主页同主题 ACM 217 讲义（已标注替代）。
   The original van Handel ORF526 notes are gone (404, no archive); a same-topic ACM 217 lecture note set from the author's homepage is included and flagged as a substitute.
5. B038 指南原标作者为樊恽、刘合国，权威书目记录为李志慧、李永明（科学出版社 2008），索引已按权威记录更正并保留原标。
   The guide credits B038 to Fan Yun & Liu Heguo, but authoritative records list Li Zhihui & Li Yongming (Science Press, 2008); the index follows the authoritative record and keeps the original attribution for traceability.
6. 付费教材只记录出版社/作者官方页，不下载非授权全文；页面内容与链接可能随官网更新而变化。
   Paid textbooks are recorded by publisher/author pages only; no unauthorized full text is downloaded. Page content and links may change over time.

六、怎么用 / 6. How to Use

1. 按阶段用，不要按顺序刷：先读每个阶段开头的定位，再挑框架/论文跑通，教材留作系统阅读。
   Use the stage labels (S1-S14) to open the section that matches your current goal, and start with tools and papers before textbooks.
2. 开放获取优先：标“开放获取”的条目可直接下载；已留档的条目同时给出本地 PDF（合计 242 份 / 229.34 MiB）。
   Prefer open-access entries: 46 resources are free to read, and 32 open-access PDFs are archived in this library.
3. 多阶段资料是正常的：同一份资料可能在多个阶段出现（如 PyTorch 横跨 S1/S3/S6），以编号为准去重。
   For paid books, try the author's homepage, arXiv, or a university library before buying.
4. 付费书先找免费版：作者官网 → arXiv/机构 preprint → 开放课程页 → 图书馆数据库 → Internet Archive。
   Treat resources that appear under several stages as intentional reuse rather than duplication.

七、数据来源与复现 / 7. Sources & Reproduction

1. 原稿：《AI学习路径指南》PDF，32 页，Gemini 多轮问答打印稿（无文本层，逐页视觉识读转录）。
   Source document: the 32-page “AI Learning Path Guide” PDF exported from a Gemini conversation (no text layer; transcribed page by page visually).
2. 补充来源：原始 HTML 导出（Google Docs），保留 PDF 打印时丢失的超链接，用于核对 Sources 与 OCR 忠实度。
   Supplementary source: the original HTML export (Google Docs), which preserves the hyperlinks lost in PDF printing and was used to verify Sources URLs and OCR fidelity.
3. 索引与数据：ai-learning/data/index.json（144 条资源，18 种类型，14 个阶段）；resources.jsonl / resources.csv 可程序读取。
   Index and data: ai-learning/data/index.json (144 resources, 18 types, 14 stages); resources.jsonl / resources.csv are machine-readable.
4. 抓取与校验：scripts/ 目录可复现（build_resources → merge_resolve → apply_source_links → apply_recovery → crawl_group → fetch_pdfs → merge_crawl）。
   Crawl and verification: reproducible scripts in scripts/ (build_resources → merge_resolve → apply_source_links → apply_recovery → crawl_group → fetch_pdfs → merge_crawl).
5. PDF 版本：本文件由 scripts/make_pdf.py 生成（中文版 / 中英对照版），HTML 源见 pdf/html/。
   This PDF was produced by scripts/make_pdf.py (Chinese / bilingual editions); HTML sources are kept in pdf/html/.