



华南理工大学

South China University of Technology

# 专业学位硕士学位论文

面向垂直领域的检索增强

对话生成研究及应用

学位类别 电子信息硕士(软件工程)

所在学院 软件学院

论文提交日期 2024 年 3 月 15 日



# 摘 要

垂直领域对话生成技术是构建智能对话系统中重要的基础技术，该技术旨在为用户解决特定领域的问题、提供专业解答。目前该技术已经广泛应用在医疗保健、金融、法律、科技等领域的服务助手、答疑机器人等应用中，具有很高的研究价值。

目前主流的面向垂直领域的对话生成方法，都是基于检索增强的语言模型设计的。然而，现有面向垂直领域的检索增强对话生成存在以下难点：1) 内外部知识不一致问题，即现有方法多关注如何提升外部知识召回准确度，忽略了模型内部知识与之存在的分布差异，从而影响外部知识发挥作用；2) 人类偏好对齐问题，即人类用户意图与模型理解之间存在偏差，造成模型生成不符合用户预期的回答。针对以上存在的两个问题，本文采取的研究方案如下：

1) 针对内外部知识不一致的问题，提出了基于内外部知识对齐的检索增强对话生成方法。该方法利用一个语义切分模块提取知识文档的文档级信息和实体级信息，并将提取出来的信息分别用于构建外部知识库和监督训练数据集，最后使用知识对齐后的数据集微调对话模型，有效避免了模型在预训练阶段注入的内部知识与推理阶段的外部知识不一致的问题。本文将该方法应用于金融分析领域，在真实股票价格预测任务和金融问答任务上验证了该方法的有效性。

2) 针对人类偏好对齐的问题，提出了基于人类偏好对齐的检索增强对话生成方法。该方法通过采集人类对真实场景对话样本的偏好信息，并利用大型语言模型的推理与分析能力进行用户问题优化，构成优化问题三元组数据集，用以训练单独的用户问题优化器，而无需训练对话模型，实现了与模型无关的、可解释的、效果稳定的人类偏好对齐。本文分别在两个不同的金融领域基准测试集上与目前主流的语言模型对齐方法进行实验比较，证明了该方法能同时提升知识文档召回准确率和模型理解与用户意图的一致性。

**关键词：**对话系统；人类偏好对齐；检索增强生成；自回归语言模型

# Abstract

Vertical domain dialogue generation is an important basic technology in building intelligent dialogue system, which aims to solve problems in specific fields and provide professional answers for users. At present, the technology has been widely used in service assistants, question&answering robots and other applications for the fields of health care, finance, law, science, which has a high research value.

At present, the mainstream vertical domain oriented dialogue generation methods are all designed based on retrieval augmented language models. However, the existing vertical domain oriented retrieval augmented dialogue generation has the following difficulties: 1) internal and external knowledge inconsistency problem, that is, the existing methods mainly focus on how to improve the accuracy of external knowledge recall, ignoring the distribution difference between the model’s internal knowledge and it, thus affecting the role of external knowledge; 2) Human preference alignment problem, that is, there is a deviation between human user intent and model understanding, causing the model to generate answers that do not meet user expectations. In view of the above two problems, the research plan adopted in this paper is as follows:

1) Aiming at the problem of internal and external knowledge inconsistency, a retrieval augmented dialogue generation method based on internal and external knowledge alignment is proposed. In this method, a semantic segmentation module is used to extract document-level information and entity-level information from knowledge documents, and the extracted information is used to build external knowledge base and supervised training dataset respectively. Finally, the knowledge aligned dataset is used to fine-tune the dialogue model, which effectively avoids the inconsistency between the internal knowledge injected into the model in the pre-training stage and the external knowledge in the inference stage. In this paper, the method is applied to financial analysis domain, and the validity of the method is verified on real-world stock trend prediction task and financial question&answering task.

2) Aiming at the problem of human preference alignment, a retrieval augmented dialogue generation method based on human preference alignment is proposed. By collecting human preference information for real-world dialogue corpus, the method utilizes the reasoning and analysis capabilities of large language models to optimize user query, and constructs a triplet

dataset of optimized queries to train a single user query optimizer instead of training the dialogue model, which achieves model-agnostic, interpretable and stable human preference alignment. In this paper, we compare with the current mainstream language model alignment methods on two different financial benchmarks, and prove that the method can improve the accuracy of knowledge document recall and the consistency of model understanding and user intent.

**Keywords:** Dialogue System; Human Preference Alignment; Retrieval Augmented Generation; Regressive Language Model

# 目 录

摘 要 .....	I
Abstract .....	II
插图目录 .....	VII
表格目录 .....	VIII
第一章 绪论 .....	1
1.1 研究背景和意义 .....	1
1.2 本文主要研究内容 .....	2
1.3 本文组织结构 .....	3
第二章 对话生成研究现状 .....	5
2.1 对话系统 .....	5
2.1.1 管道式对话系统 .....	5
2.1.2 端到端式对话系统 .....	7
2.2 面向垂直领域的对话生成 .....	8
2.2.1 基于外部知识的垂直领域对话生成 .....	8
2.2.2 基于知识注入的垂直领域对话生成 .....	9
2.3 基于大型语言模型的对话生成 .....	10
2.3.1 基于提示工程的对话生成 .....	10
2.3.2 基于检索增强的对话生成 .....	11
2.3.3 基于模型微调的对话生成 .....	11
2.4 本章小结 .....	13
第三章 基于内外部知识对齐的检索增强对话生成 .....	14
3.1 问题描述 .....	14
3.2 本章方法 .....	15
3.2.1 算法总体框架 .....	15
3.2.2 多粒度语义切分模块 .....	15
3.2.3 AlphaFin 数据集构建 .....	17
3.2.4 多级混合检索模块 .....	19
3.2.5 回答生成与后处理 .....	21

3.3	实验结果	22
3.3.1	数据集介绍	22
3.3.2	基准方法	23
3.3.3	评价指标	25
3.3.4	实验细节	26
3.3.5	与现有方法的性能比较	27
3.3.6	多级检索模块的有效性	29
3.3.7	AlphaFin 数据集对性能的影响	29
3.4	本章小结	33
第四章	基于人类偏好对齐的检索增强对话生成	34
4.1	问题描述	34
4.2	本章方法	35
4.3	算法总体方案	35
4.3.1	人类偏好数据采集阶段	36
4.3.2	优化问题构建阶段	36
4.3.3	问题有效性验证阶段	36
4.3.4	问题优化器训练阶段	36
4.4	实验结果	38
4.4.1	数据集介绍	38
4.4.2	评价指标	39
4.4.3	基座模型	39
4.4.4	基准方法	40
4.4.5	实现细节	40
4.4.6	与现有方法的性能比较	40
4.4.7	问题有效性验证模块的有效性	44
4.4.8	迭代优化对算法性能的影响	45
4.4.9	人类反馈对算法性能的影响	47
4.5	本章小结	47
总结与展望		48
4.6	全文总结	48

4.7 未来展望 .....	48
参考文献 .....	50
攻读博士/硕士学位期间取得的研究成果 .....	63



## 插图目录

1-1	本文的研究思路与研究内容。 . . . . .	2
2-1	管道式对话系统结构示意图 <sup>[10]</sup> 。 . . . . .	5
3-1	本章所提出的检索增强对话生成框架示意图。 . . . . .	16
3-2	对话框架中的多粒度语义切分模块示意图。 . . . . .	16
3-3	数据集预处理过程示意图。 . . . . .	17
3-4	对话框架中的多级混合检索模块示意图。 . . . . .	20
3-5	不同方法在进行股票趋势预测的累计收益情况。 . . . . .	27
4-1	垂直领域对话场景下的模型理解偏差问题示例。 . . . . .	34
4-2	基于人类偏好对齐的检索增强对话生成框架图。 . . . . .	35
4-3	不同迭代优化次数对可信度的影响。 . . . . .	45
4-4	不同迭代优化次数对上下文准确率的影响。 . . . . .	45

## 表格目录

3-1	实体级对话生成所使用的提示词。 . . . . .	15
3-2	金融研报数据集样本格式。 . . . . .	18
3-3	AlphaFin 数据集统计信息。 . . . . .	19
3-4	环境配置参数 . . . . .	26
3-5	不同方法在股票趋势预测任务上的中间观察指标。 . . . . .	28
3-6	人工对模型回复的偏好评价结果。 . . . . .	28
3-7	GPT-4 模型对模型回复的偏好评价结果。 . . . . .	29
3-8	基线方法回复示例。 . . . . .	30
3-9	本章方法回复示例。 . . . . .	31
3-10	探究多级检索模块在 Ragas 评估指标上对性能的影响。 . . . . .	32
3-11	多级检索模块对检索结果和模型回复的影响。 . . . . .	32
3-12	股票涨跌预测指标下不同数据集对性能的影响。 . . . . .	32
3-13	金融问答 ROUGE 指标下不同数据集对性能的影响。 . . . . .	33
4-1	问题优化提示词格式。 . . . . .	37
4-2	问题有效性验证提示词格式 . . . . .	38
4-3	QAHF 在 FinGPT-FiQA Eval 和 AlphaFin-test 上的有效性实验 . . . . .	41
4-4	QAHF 与 BPO 在 FinGPT-FiQA Eval 和 AlphaFin-test 上的性能对比 . . . . .	41
4-5	QAHF 与 PPO 在 AlphaFin-test 上的性能对比 . . . . .	42
4-6	使用不同对齐方法优化后的用户问题对比 . . . . .	42
4-7	使用不同对齐方法优化用户问题后得到的模型回复对比 . . . . .	43
4-8	在 FinGPT-FiQA 数据集上探究问题有效性验证模块对性能的影响 . . . . .	44
4-9	在 AlphaFin-test 数据集上探究问题有效性验证模块对性能的影响 . . . . .	44
4-10	在 Ragas 指标上问题有效性验证模块对性能的影响 . . . . .	45
4-11	有效样本与无效样本对比 . . . . .	46
4-12	在偏好评价指标上人类反馈对性能的影响 . . . . .	47

# 第一章 绪论

## 1.1 研究背景和意义

垂直领域检索增强对话生成任务有助于提高用户体验、解决特定领域的问题和提供个性化的服务。它可以应用于医疗保健、金融、法律、教育、科技等领域，为用户提供更加专业、全面和个性化的信息交流和服务。因此，垂直领域检索增强对话生成任务对于满足用户需求、提高工作效率、提供个性化服务等方面具有重要意义。

垂直领域检索增强对话生成目前主要的挑战是领域知识丰富，用户问题多种多样且抽象。针对领域知识丰富的挑战，研究人员致力于构建更加智能和灵活的对话生成模型，能够充分利用领域内的丰富知识资源，包括专业词汇、行业规范、学术研究成果等，以更好地应对用户的专业性问题。这包括基于知识图谱和预训练语言模型的技术，以及定制化的领域知识处理方法。针对用户问题多样性和抽象性的挑战，研究人员在探索如何构建更加灵活和多样化的对话生成模型，能够理解和回答各种类型的问题，包括事实性问题、推理性问题、情绪化问题<sup>[1]</sup>等。此外，研究人员也致力于开发更加智能、个性化的对话交互方式，以满足用户多样化的沟通需求。同时，深度学习技术在对话生成任务中的应用也在不断演进。例如，针对领域知识丰富和用户问题多样性的挑战，研究人员正在探索如何通过多模态融合（如文本、图像、语音）、增强学习、迁移学习等技术手段，提高对话生成模型的适应性和泛化能力。

然而，相对于开放域对话生成，垂直领域对话内容更复杂、背景知识要求更多，生成准确、真实、可靠回复的技术挑战性更高，使垂直领域检索增强对话生成存在以下几个难点：

- 难点 1：内外部知识不一致问题。模型在预训练期间学习到的内部知识为常识知识，因此当模型迁移到垂直领域上时的泛化能力有限。现有方法大多关注如何提升外部知识召回准确度，而忽略了模型内部知识与之存在的分布差异，从而影响外部知识发挥作用，导致模型难以准确回答垂直领域专业问题。
- 难点 2：人类偏好对齐问题。在垂直领域对话场景下，用户问题往往多样而复杂，模型难以从输入的用户问题中准确理解用户的真实意图，在语义检索和回答生成过程中存在数据分布偏差，导致模型生成不符合用户预期的回答。

近年来，越来越多研究人员投身面向垂直领域的检索增强对话生成研究<sup>[2-4]</sup>。来自斯坦福大学、加利福尼亚大学、清华大学等国内外高校和企业研究机构的学者在该领域

开展了大量研究工作<sup>[5-6]</sup>。国际上的一些主流学术会议和学术期刊也将垂直领域检索增强对话生成作为一个研究热点，如 ACL、EMNLP 等国际会议<sup>[7-8]</sup>。综上，面向垂直领域的检索增强对话生成研究是当前人工智能领域的重点与热点，不仅具有重要的理论价值，而且具有丰富的实际应用价值。

## 1.2 本文主要研究内容

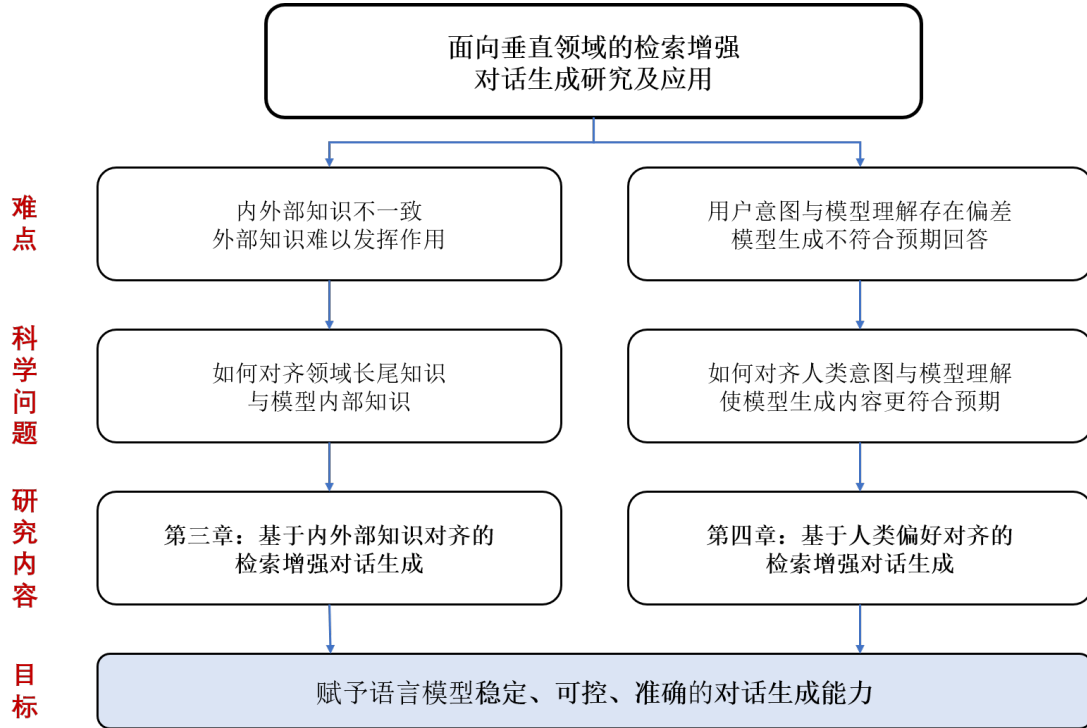


图 1-1 本文的研究思路与研究内容。

为解决上述挑战，本文主要研究在垂直领域场景下，如何利用对齐技术赋予语言模型稳定、可控、准确的对话生成能力，本文的研究思路与研究内容如图1-1所示。包括基于内外部知识对齐的检索增强对话生成和基于人类偏好对齐的检索增强对话生成。本文的具体研究内容如下：

### 1) 基于内外部知识对齐的检索增强对话生成

垂直领域知识背景复杂，语言模型在预训练中学习到的内部知识主要是常识知识，难以直接应用到垂直领域上做长尾问答，现有方法主要通过检索与用户问题相关的外部知识作为额外信息补充到模型输入中，然而，模型内部知识与外部知识之间存在较大分布差异，因此垂直领域外部知识难以发挥作用。针对上述问题，本文提出基于内外部知识对齐的检索增强对话生成方法，首先利用一个多粒度语义切分模块，从垂直领域知识文档中提取出文档级信息和实体级信息，并将提取出来的信息分别用于构建外部知识库

和监督训练数据集，最后使用知识对齐后的数据集微调对话模型，有效避免了模型在预训练阶段注入的内部知识与推理阶段获得的外部知识不一致的问题。另外，本文结合知识库文档数量大、专有名词多的特点，提出关键词检索与向量检索相结合的多级检索模块，提升知识文档的召回准确率，进而提升对话生成的准确性。本文将该方法应用于金融分析领域，在真实股票趋势预测任务和金融问答任务上验证了该方法的有效性。

## 2) 基于人类偏好对齐的检索增强对话生成

垂直领域对话场景下的用户问题往往多样而复杂，模型难以从输入的用户问题中准确理解用户的真实意图，在语义检索和回答生成过程中存在数据分布偏差，导致模型生成不符合用户预期的回答。另一方面，基于强化学习的人类偏好对齐算法训练成本高、稳定性差，使得对齐学习难度加深。针对上述问题，本文提出基于人类偏好对齐的检索增强对话生成方法，首先通过采集人类对真实场景对话样本的偏好信息，并利用大型语言模型的推理与分析能力进行用户问题优化，构成优化问题三元组数据集，用以训练单独的用户问题优化器，而无需训练对话模型，实现了与模型无关的、可解释、效果稳定的人类偏好对齐。本文分别在两个公开的金融基准测试集上与目前主流的语言模型对齐方法进行实验比较，证明了该方法的有效性。

## 1.3 本文组织结构

本文的组织结构和章节关系安排如下：

第一章是绪论部分，介绍了本文的研究背景与意义，分析了该研究方向的国内外研究现状，最后阐释了本文主要的研究内容和贡献。

第二章是对话生成研究现状，概述了与对话生成相关的国内外工作研究现状，包括对话系统的发展及相关工作，对面向垂直领域的对话生成主流方法进行梳理，以及对基于大型语言模型的对话生成方法进行总结和概述。

第三章提出了一种基于内外部知识对齐的垂直领域对话生成方法，利用一个语义切分模块提取知识文档的文档级信息和实体级信息，并将提取出来的知识分别用于构建外部知识库和内部知识注入，实现垂直领域对话模型内外部知识对齐。相关研究成果已经发表于自然语言处理和计算语言学领域的顶级会议 COLING。

第四章提出了一种基于人类偏好的对话生成对齐方法，通过采集人类对真实场景对话样本的偏好，利用大型语言模型的理解与分析能力进行问题优化，并训练单独的问题优化语言模型，实现与模型无关的、可解释、效果稳定的人类偏好对齐。

第五章对全文研究工作进行了总结，并对领域未来研究方向进行了展望。

## 第二章 对话生成研究现状

人机对话系统一直是人工智能领域的重要研究方向，其旨在模拟人类并与人类形成连贯通顺的对话。本文所研究的面向垂直领域的对话生成是对话系统领域的其中一个下游任务，因此本章先对管道式对话系统和端到端式对话系统的研究进展和现状进行总结。然后，分别介绍面向垂直领域的对话生成和基于大型语言模型的对话生成的发展现状，并分析和总结其优点与不足。

### 2.1 对话系统

近年来，深度学习技术快速发展，促进了对话系统研究的发展<sup>[9]</sup>。目前主流的对话系统实现方法从架构模式来看，可以分为管道式对话系统和端到端式对话系统。

#### 2.1.1 管道式对话系统

图2-1展示了管道式对话系统结构的示意图，管道式对话系统主要包含四个模块：（1）自然语言理解（NLU）模块；（2）对话状态跟踪（DST）模块；（3）对话策略学习（PL）模块；（4）自然语言生成（NLG）模块。

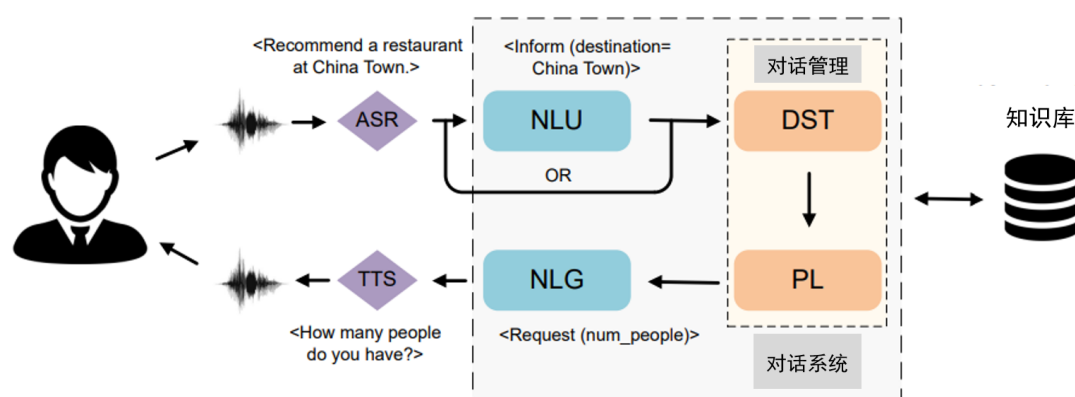


图 2-1 管道式对话系统结构示意图<sup>[10]</sup>。

自然语言理解模块对原始的用户输入进行领域分类和意图识别，并提取其关键信息填入槽位中。Deng 等人<sup>[11]</sup>和 Tur 等人<sup>[12]</sup>使用深凸网络将过去时间步的预测和当前消息结合起来，成功提高对话意图识别的准确率。Sarıkaya 等人<sup>[13]</sup>使用受限玻尔兹曼机和深度置信网络初始化深度神经网络参数，解决了深度网络难以在领域分类和意图识别任务上训练的问题。Ravuri 等人<sup>[14]</sup>利用循环神经网络（RNN）在序列预测上的优势，使用 RNN 对用户消息进行编码，以实现意图识别和领域分类。Hashemi 等人<sup>[15]</sup>使用卷积神经网络（CNN）提取对话的多层级文本特征，以实现意图识别，同时该工作说明了

CNN 在序列预测任务上的可用性。Lee 等人<sup>[16]</sup>使用 RNN 和 CNN 整合对话历史，获得上下文信息作为额外输入补充，解决了短语句信息不足的问题。Wu 等人<sup>[17]</sup>提出预训练的面向任务对话 BERT (TOD-BERT) 模型提升意图识别任务上的准确率，同时所提出模型展现出小样本学习能力，缓解特定领域数据匮乏的问题。

对话状态跟踪模块根据当前用户消息和对话历史控制对话状态，以生成信息用于决定下一步动作。Henderson 等人<sup>[18]</sup>将深度学习模型用于对话状态跟踪，他们集成多种特征工程方法来预测每个槽-值对的概率。Mrksic 等人<sup>[19]</sup>将 RNN 应用于对话状态跟踪以获得对话上下文感知。随后，Mrksic 等人<sup>[20]</sup>提出一种多跳的神经网络对话状态跟踪器，它使用系统输出、用户消息、候选槽值对作为输入，并基于对话历史对当前槽值对进行二分类预测。但是上述方法基于预定义的槽名与槽值，每一轮对话都需要对所有槽分别进行一次二分类，系统响应慢。为了解决填槽类别多导致的计算复杂度高的问题，Lei 等人<sup>[21]</sup>提出信念片段，即一种与槽名相对应的对话上下文片段，通过构建一个两阶段 CopyNet 网络来拷贝和存储对话历史中的槽值，并用以生成回答，促进端到端训练，有效提升了系统在未登录词 (OOV) 下的准确度。Wang 等人<sup>[22]</sup>提出了一种基于 BERT 模型的槽值预测方法，使用槽位注意力方法对相关片段进行检索，并使用槽值归一化方法将片段转化为最终的槽值。

对话策略学习模块根据对话状态决定下一步行为，主流方法是监督学习和强化学习。Zhang 等人<sup>[23]</sup>提出一种高效资源调度方法，充分利用用户交互，在训练时使用概率调度器来分配对话样本，同时利用一个控制器决定使用真实样本还是模拟样本，有效提升强化学习训练的效果。Takanobu 等人<sup>[24]</sup>提出一种多机对话策略学习方法，分别使用两个机器人扮演用户和系统，同时学习对话策略，同时，他们还加入特定角色的强化学习反馈，促进角色回答的生成。Huang 等人<sup>[25]</sup>提出基于槽特征有限状态自动机的对话管理方法，通过树形的意图分层结构，实现多主题对话系统的主题检测与主题切换功能，并具有一定扩展性。

自然语言生成模块将系统的行为转化为自然语言，即最终输出，并返回给用户。Wen 等人<sup>[26]</sup>提出一种基于 RNN 的统计语言模型，通过语义约束和语法树学习回答生成，同时还使用 CNN 对候选回答进行排序，选出最佳回答。Wen 等人<sup>[27]</sup>对循环语言模型采取先在大规模通用语料上预训练，然后在小规模特定领域语料上微调的训练方法，有效提升了循环语言模型的领域适应能力。Li 等人<sup>[28]</sup>提出一种迭代矫正网络以迭代式修正所生成的标识符，首先使用监督学习训练网络，然后通过强化学习进行微调，并将槽位



不一致的惩罚项添加到训练奖励中。

总结：管道式对话系统利用神经网络模型进行信息抽取和文本分类，而对话流程基于人工预定义的模板，因此特征相对固定，难以实现领域迁移。

### 2.1.2 端到端式对话系统

随着 GPT<sup>[29]</sup>，BERT<sup>[30]</sup>，T5<sup>[31]</sup>等序列到序列 (Seq2Seq)<sup>[32-33]</sup>预训练模型的兴起，基于 Seq2Seq 模型的端到端对话系统逐渐成为主流。这类方法将对话系统的核心功能隐式地集成到一个复杂的神经网络模型当中，降低了系统模块复杂度。从研究侧重点上来看，端到端式对话系统的研究可分为两类：（1）基于模型架构的研究；（2）基于训练方法的研究。

Sordoni 等人<sup>[34]</sup>提出一种上下文感知的 Seq2Seq 模型 HRED，该模型同时学习字符级和对话级的文本表示，有效解决上下文感知的在线查询建议问题，提供少见且高质量的结果。Serban 等人<sup>[35]</sup>进一步提出 VHRED 模型，对序列间的复杂依赖进行建模，通过在解码器中增加一个隐变量，在回答的多样性、长度和质量上都有一定的提升。Weston 等人<sup>[36]</sup>提出一种记忆网络，使用 RNN 网络在每个时间步上向后传递历史信息。然而，这种模型包含五个模块，每个模块都需要单独进行监督训练，因此不适用于端到端式对话系统。Sukhbaatar 等人<sup>[37]</sup>在他们的工作基础上，提出了一种端到端的记忆网络，引入注意力方法，依次进行权重计算、记忆选择、最终预测。在某些对话场景下，对话系统需要直接从用户输入中引用或摘要内容，而传统 Seq2Seq 模型的输出维度受限于输入的维度。为解决该问题，Oriol 等人<sup>[38]</sup>提出 Pointer Net，每个时间步的输出都来自输入序列，将标识符预测问题转化为位置预测问题，以适应输入长度的变化。然而，Pointer Net 仅从输入中选择标识符的局限性较大，Gu 等人<sup>[39]</sup>提出 CopyNet，在解码阶段的每个时间步中，决定复制输入中的标识符还是生成一个新的标识符，将复制概率和生成概率加和，得到最终的预测概率。Balakrishnan 等人<sup>[40]</sup>提出一种约束解码模块，以提升对话系统所生成回答的语义准确性。Chen 等人<sup>[41]</sup>使用两个长期记忆模块分别存储知识元组和对话历史，然后用一个工作记忆模块来控制标识符的生成，有效提升对话相关知识的检索精确度。Gao 等人<sup>[42]</sup>使用一个释义模型对回答生成模型进行增强，释义模型与整个对话系统联合训练，用于增强训练样本。

Wang 等人<sup>[43]</sup>提出一种基于增量学习的训练方法，通过构建一个不确定性估计模块，在模型所生成回复的自信度低于阈值时使用人类回答作为结果，同时通过在线学习拟合人类回答，有效提升了模型回复质量。Dai 等人<sup>[44]</sup>使用模型无关的元学习方法，仅

依靠少量训练样本，在真实线上服务场景下有效提升模型的迁移能力和可靠性。He 等人<sup>[45]</sup>提出一种“双教师单学生”知识蒸馏训练框架，首先两个教师模型分别以知识检索和回答生成作为训练目标，进行强化学习训练，然后让学生模型模仿教师模型的输出，实现专业知识的迁移。Zhang 等人<sup>[46]</sup>使用 GPT-2<sup>[47]</sup>作为基座模型，在 Reddit 社交媒体语料上训练，并引入最大互信息（MMI）评分函数，使对话系统能生成更相关、内容丰富、上下文一致的回复。Daniel 等人<sup>[48]</sup>提出基于 Evolved Transformer 的 Meena 架构模型，将模型参数量扩充至 2.6B，同时提出对话评估指标 SSA，包含逻辑性和特异性两个维度，适用于对话模型的大规模人工评估场景，具有易于理解、一致性高等优势。Roller 等人<sup>[49]</sup>使用具有特定对话能力的 BST 数据集对预训练模型进行微调，得到 BlenderBot 模型，BST 数据集涵盖引人入胜、善于倾听、博学、同理心、有个性等对话能力，同时对比了检索式、生成式、混合式三种基于 Transformer 的模型架构，最终生成式模型的表现超过当时的最先进方法。Bao 等人<sup>[50]</sup>提出对话行为隐变量，用以表征不同的说话风格，进而生成多样的回答，使用该方法在对话语料上训练 BERT 得到 PLATO 模型，该模型具备多轮流畅对话能力。

总结：端到端式对话系统的架构相对简单，且生成的回复更多样。然而，这类对话系统通常需要大量高质量对话语料，且模型尺寸一般比较大，训练资源开销大。

## 2.2 面向垂直领域的对话生成

垂直领域的对话内容相较于开放域对话具有更强的知识性与复杂性，直接使用开放域对话生成的方法无法得到准确可靠的回复。为此，许多研究者对面向垂直领域的对话生成展开研究。面向垂直领域的对话生成方法主要分为两类：（1）基于外部知识的方法；（2）基于知识注入的方法。

### 2.2.1 基于外部知识的垂直领域对话生成

Lin 等人<sup>[51]</sup>提出基于拷贝机制的知识对话方法 KIC，将循环知识交互解码器与知识感知的 Pointer Net 相结合，实现知识生成和知识拷贝。Wu 等人<sup>[52]</sup>采用一个多类别分类器对生成的单词、生成的知识实体和拷贝的查询单词进行融合，提升了模型生成回答的准确性、一致性和知识性。Majumder 等人<sup>[53]</sup>同时进行角色信息选择和基于角色的响应生成，并使用强化学习训练对话智能体。Moon 等人<sup>[54]</sup>结合知识图谱与对话系统，将知识图谱信息作为外部知识，在强化学习框架中，智能体基于当前节点和状态选择相应的边，然后将知识组合到回答生成过程中。Xu 等人<sup>[55]</sup>将知识图谱作为外部知识，控

制粗粒度的对话生成，对话具有常识性知识支撑，使得智能体能更好地引导对话话题。Jung 等人<sup>[8]</sup>提出双向图探索模型 AttnIO，用于在结构化知识图谱中检索外部知识，通过在遍历的每一步中计算注意力权重，使得模型能够选择更大范围的知识路径。Yang 等人<sup>[56]</sup>提出基于知识图谱的对话方法 GraphDialog，首先将对话历史解析为依赖关系树，并编码为嵌入向量，然后使用注意力机制对知识图谱进行多跳推理，最后由解码器从图谱中拷贝实体或预测单词，实现将垂直领域知识图谱中的外部知识整合到模型回复中。Lv 等人<sup>[57]</sup>提出嵌入知识语义的医疗领域对话系统，使用 BERT 融合 BiLSTM 的对话训练方法，将医疗知识图谱的语义信息融入对话系统。

总结：基于外部知识的垂直领域对话生成方法主要基于符号逻辑或知识图谱来实现外部知识的补充。然而，这类方法无法有效建模未见过的实体，且没有考虑互联网上大量的文本信息，导致泛化性和实时性不足。

### 2.2.2 基于知识注入的垂直领域对话生成

Wu 等人<sup>[58]</sup>提出 BloombergGPT 金融大模型，使用通用语料与金融领域语料混合的数据集，从头训练领域大模型，在模型学习基本语言语法和世界常识的同时，注入垂直领域知识。然而，从头开始预训练大模型需要收集大规模的通用语料，同时提高模型后续在语言层面的迁移难度。因此，较为主流的知识注入方式是在预训练通用模型的基础上进行继续预训练或监督微调。Zhang 等人<sup>[59]</sup>提出 XuanYuan 金融领域大模型在预训练语言模型 Bloom 的基础上使用混合数据继续预训练，混合数据包含通用领域数据和金融领域内的专业知识数据，并采用 Hybrid-Tuning 训练策略，在提升模型领域内能力的基础上，保证模型通用能力不会退化。Meng 等人<sup>[60]</sup>提出 DukeNet，构建了一个双向知识交互网络，实现面向垂直领域知识的对话生成。Chen 等人<sup>[61]</sup>提出扁鹊模型，通过构建高质量的医学领域对话数据集，得到预训练模型在下游对话任务上的良好性能。Zhou 等人<sup>[7]</sup>提出 KdConv，即中文多领域知识驱动对话数据集，通过在数据集上训练将知识注入模型中。上述方法都需要构建大规模高质量领域内训练语料，对于垂直领域对话生成任务，往往还需要耗费人力，将其处理为“指令-回答”格式的对话数据，因此高质量的领域对话数据集十分稀缺。为解决数据稀缺的问题，Wang 等人<sup>[62]</sup>提出 Self-Instruct 方法，利用大型语言模型对小规模的种子样本进行数据扩充，以生成更多符合要求的微调数据。Zhang 等人<sup>[63]</sup>提出 Self-QA 方法，直接基于非结构化文档数据生成指令数据，无需初始种子数据，进一步降低了数据扩充的人力成本。Wang 等人<sup>[64]</sup>提出 Self-KG 方法，基于中文医药知识图谱 CMeKG 生成指令数据，利用知识图谱中的节点关联信息，生成

更高质量的指令数据。

总结：基于知识注入的垂直领域对话生成方法需要收集大规模高质量对话语料用于训练，同时知识被隐式存储在模型参数中，难以及时更新。

## 2.3 基于大型语言模型的对话生成

近年来，随着 ChatGPT<sup>[65]</sup> 的发布，国内外先后出现许多预训练大型语言模型，如 ChatGLM<sup>[66]</sup>、文心一言<sup>[67]</sup>、通义千问<sup>[68]</sup>、LLaMA<sup>[69]</sup>、百川<sup>[70]</sup>等。因此，越来越多的研究者将大型语言模型作为对话生成研究的基础。基于大型语言模型的对话生成可分为两类：（1）基于提示词工程的方法；（2）基于监督数据微调的方法。

### 2.3.1 基于提示工程的对话生成

Radford 等人<sup>[47]</sup>提出 Zero-shot 提示方法，利用大型语言模型进行范式迁移，无需训练即可让预训练模型完成下游任务，但该方法得到的输出可能不够准确或不符合预期。为此，Brown 等人<sup>[29]</sup>提出 Few-shot 提示方法，在模型输入中提供高质量的示例，提升模型在复杂任务上的性能。Wei 等人<sup>[71]</sup>提出思维链（Chain-of-Thought, CoT）提示方法，通过在模型输入的结尾引导模型一步步思考，并在给出回复前先对问题进行拆解和分析，使得模型最终输出的答案更加准确。Wang 等人<sup>[72]</sup>引入自洽性（Self-Consistency）解码策略，通过采样生成多条推理链，然后采用投票方法从这些推理链中选出一致性最高的答案，在 GSM8K 复杂推理数据集上，Self-Consistency 相比于 CoT 方法有 17.9% 的提升，证明该方法能很好的提升 LLM 的复杂任务推理能力。Long 等人<sup>[73]</sup>提出思维树（Tree-of-Thought, ToT）提示方法，ToT 是对 CoT 方法的扩展，通过管理树结构的中间推理步骤，同时使用深度优先或广度优先等搜索算法，对推理链路进行系统性扩展，使模型在得到错误答案时能够进行回溯，ToT 在 24 类游戏任务上取得了 74% 的成功率，而 CoT 仅有 4%。Yao 等人<sup>[74]</sup>提出思维图（Graph-of-Thought, GoT）提示方法，使用基于图的架构，更好地适应人类非线性思考地特性。这类方法不需要重新训练模型即可提升模型性能，但提升受限于预训练模型自身的能力上限。

总结：提示工程方法的复杂度和成本相对较低，具有较高的灵活性，但生成的结果准确性受限于基座模型自身的能力，通常会出现不符合事实的回答，难以应对垂直领域对话。

### 2.3.2 基于检索增强的对话生成

大型语言模型具有良好的自然语言理解和自然语言生成能力，但往往面临幻觉问题，即回复内容不符合事实，甚至胡编乱造。这可能是因为模型在预训练阶段记忆了错误的知识，或是推理时的输入是预训练阶段没有遇到过的长尾知识。针对后者，Lewis 等人<sup>[75]</sup>提出检索增强生成（Retrieval Augmented Generation, RAG）技术，通过构建本地知识库，在对话阶段从知识库中召回与用户问题相关的文档，作为外部知识辅助语言模型给出回复，很好地缓解了大型语言模型的幻觉问题和实时性不足的问题。Wang 等人<sup>[5]</sup>提出 Query2doc 方法，利用大型语言模型对用户问题生成伪文档，以提升知识库的召回准确度，以减少无关文档对语言模型回复产生噪声干扰。Jagerman 等人<sup>[3]</sup>在 Query2doc 方法的基础上提出思维链技术与伪相关反馈（Pseudo-Relevance Feedback, PRF）算法相结合的方法，在多个基准数据集上获得了超过 Query2doc 方法的效果。Liu 等人<sup>[76]</sup>的研究表明，当相关信息出现在模型输入上下文的开头或结尾时，模型的性能最好，相关信息出现在中间位置时模型表现最差，且随着输入上下文的增长，模型性能显著下降，表明模型很难从长输入上下文中检索和使用相关信息。因此召回的知识文档数量及其在模型输入中的位置对模型性能至关重要。Asai 等人<sup>[4]</sup>提出 Self-RAG 方法，生成模型通过检索召回多个相关文档，并通过并行处理和排序选择最合适的回复。Cui 等人<sup>[6]</sup>提出 ChatLaw 中文法律大模型，在 RAG 的基础上。融入法律意图识别、法律关键词提取等模块，满足法律相关领域的应用需求。这类方法在背景知识丰富且逻辑相对复杂的专业领域上表现不佳。

总结：检索增强方法能很好地改善大型语言模型的幻觉问题，得到高准确性的回复。然而，现有的检索增强方法更多的关注如何提升外部知识的召回准确性，没有考虑基座模型内部知识与外部知识之间的偏差，存在性能瓶颈。

### 2.3.3 基于模型微调的对话生成

Wei 等人<sup>[77]</sup>提出指令微调（Instruction Tuning）方法，通过监督训练，让语言模型学会按照指令要求完成任务，从而具备遵循指令的能力，即使面对训练中未曾见过的任务，模型也能够生成合适的回复。Li 等人<sup>[78]</sup>提出 Prefix-Tuning 方法，在模型输入首端增加一个连续的、任务相关的嵌入向量来进行训练，在显著减少训练参数量的情况下提升模型在自然语言生成任务上的性能。与 Prefix-Tuning 思想相似，Brian 等人<sup>[79]</sup>提出提示学习（Prompt Tuning）方法，通过在输入中插入一段任务特定的、可被训练的离散提

示词元，获得了与微调相近的效果，同时超过了人工设计提示词的性能。Liu 等人<sup>[80]</sup>在 Prefix-Tuning 的基础上，进一步提出 P-Tuning v2 方法，在模型的每一层上都加上了可训练的层级提示词元，且对于不同难度的任务使用不同的提示长度。Hu 等人<sup>[81]</sup>提出了低秩自适应（Low-Rank Adaptation, LoRA）方法，通过使用低维结构来近似大模型的高维结构，以降低模型训练的复杂度和计算开销。总体来说，基于监督数据微调的方法性能优于基于提示词工程的方法，但存在高质量标注数据难获取的问题。

Long 等人<sup>[65]</sup>提出基于人类反馈的强化学习（Reinforcement Learning with Human Feedback, RLHF）算法，其工作过程包括采集高质量数据集对语言模型监督微调（SFT）、收集人类偏好排名数据集并训练奖励模型（RM）、执行近端策略优化（Proximal Policy Optimization, PPO）强化学习。该算法能够很好地帮助模型生成符合人类偏好的回复，同时减少生成式模型中的偏见。然而，RLHF 算法在 PPO 强化学习训练阶段需要同时使用四个大型语言模型，导致训练计算资源开销大，同时 PPO 强化学习过程不稳定，导致模型难以训练。为此，许多研究者提出其他的人类偏好对齐算法替代 RLHF 算法。Li 等人<sup>[82]</sup>提出 RAIN 可回滚自回归推理算法，利用语言模型评估自己生成的结果，并用评估结果来指导语言模型输出，以确保输出符合人类偏好，无需微调即可实现语言模型与人类偏好的对齐。Zheng 等人<sup>[83]</sup>针对 PPO 训练不稳定的问题，通过实验探索了 PPO 训练中最关键的技巧，并用 PPO-max 表示这套最佳实现方式。Dong 等人<sup>[84]</sup>提出 RAFT 方法，在采集的人类偏好数据中选取多个高质量样本，继续对 SFT 模型进行监督微调，利用更多次采样和更少的梯度计算，让模型更稳定和鲁棒。Yuan 等人<sup>[85]</sup>在 RLHF 的基础上提出 RRHF 算法，直接使用偏好数据训练语言模型，结合排名损失和 SFT 损失，在性能上与 PPO 方法相近，但实现相对简单且训练稳定。Cheng 等人<sup>[86]</sup>提出 BPO 黑盒提示优化算法，通过采集人类偏好数据，训练提示优化器，对用户指令进行优化，使模型生成的内容更符合用户期望。Rafailov 等人<sup>[87]</sup>提出 DPO 算法，其思想与 RRHF 相似，但同时引入 SFT 模型的约束，保证在不使用 SFT 损失的情况下训练依然稳定，该方法在多个开源 RM 数据集上获得优于 RLHF 的奖励得分，且对超参数的敏感度更低，效果更稳定。Liu 等人<sup>[88]</sup>提出 RSO 算法，使用拒绝采样得到高质量回答的分布。上述方法依赖于人类反馈数据，标注成本高昂。为解决该问题，Bai 等人<sup>[89]</sup>提出 RLAIIF 方法，用宪法人工智能（CAI）代替人类进行偏好的标记工作，实验表明 RLAIIF 能够达到与 RLHF 相当的性能。此外，Li 等人<sup>[90]</sup>提出 ReMax 算法，通过削减 PPO 中冗余庞大的计算开销，节省 RLHF 算法 50% 的内存消耗，并加快 2 倍训练速度。现有方法一方面需要高昂的

人力成本完成偏好数据标注，另一方面存在训练计算资源开销大、难训练的问题。

总结：模型微调方法通过调整模型内部参数，能够控制模型内在的行为模式，对齐人类偏好，但是对动态数据缺乏实时性，难以及时跟进垂直领域的新知识。

## 2.4 本章小结

本章主要对研究相关的对话系统、面向垂直领域的对话生成以及基于大型语言模型的对话生成进行了介绍。总体而言，本章先介绍了对话系统在管道式对话系统和端到端式对话系统等方向的相关进展。然后，本章介绍了基于外部知识和基于知识注入的垂直领域对话生成方法的研究进展。最后，本章对基于大型语言模型的对话生成任务在基于提示工程、基于检索增强和基于模型微调方法的研究现状作了相关概述。

## 第三章 基于内外部知识对齐的检索增强对话生成

### 3.1 问题描述

基于大型语言模型的对话生成存在事实性、实时性不足的问题。现有方法主要通过检索增强生成方法进行垂直领域对话生成，以输入的形式将垂直领域知识引入对话模型中。然而，面对垂直领域中较难的问题时，模型往往不能很好理解知识文档中的复杂信息，导致检索增强效果不佳。语言模型在预训练中没见过垂直领域的长尾知识，因此检索增强所补充的知识文档未能与模型内部知识完全对齐。为此，本章研究如何对齐外部知识文档的垂直领域长尾知识和模型内部知识，进而使模型兼具事实性与垂直领域推理能力。同时，本章以金融分析领域为应用场景对算法进行验证。金融分析领域主要涵盖两个关键任务：（1）股票趋势预测任务；（2）金融问答任务。

对于股票趋势预测任务，给定一组公司  $C = \{c_i\}_{i=1}^N$  以及对应的知识文档  $D = \{d_j\}_{j=1}^M$ ，对话系统给出该股票的未来趋势预测：

$$Pred_i = \pi(c_i, d_j), Pred_i \in \{up, down\} \quad (3-1)$$

其中， $\pi$  表示对话系统， $d_j$  是检索得到的与公司  $c_i$  相关的知识文档。目标是选择出一批被预测股价会上涨的公司：

$$C_{chosen} = \{c_i | c_i \in C \wedge Pred_i = up\} \quad (3-2)$$

目前机器学习和深度学习的方法已经被广泛应用在该任务上，并取得了一定的进展<sup>[91-92]</sup>。然而，这些方法通常只能基于过去的市场价格数据预测未来股票的涨跌，而无法给出具体的分析过程和原因，其预测结果对投资者用户来说缺乏可解释性。同时，这类方法难以将新闻、研报等非结构化的文本信息用于股票趋势预测中。

对于金融问答任务，本章将一个多轮对话视为两个对话者之间的诸多“问题-回复”对。令  $Q_t$  和  $R_t$  表示在第  $t$  轮对话时的用户问题和系统回复， $H_t = [Q_0, R_0, \dots, Q_{t-1}, R_{t-1}]$  作为对话历史。本章将金融问答任务的形式定义为，给定对话历史、用户问题和检索到的相关文档，对话系统  $\pi$  能够给出相应的回复：

$$R_t = \pi(d_k, H_t, Q_t) \quad (3-3)$$

其中， $d_k$  表示检索到的与  $Q_t$  相关的知识文档。目前大部分的金融问答方法主要基于大



型语言模型，这类模型在大规模语料上经过预训练，具有强大的文本理解和文本生成能力。但由于金融领域数据集的稀缺性和模型微调的知识滞后性，语言模型存在不可控的“幻觉”问题，即编造没有现实基础的事实或细节。因此，一些基于检索增强生成的方法提出利用知识库检索出与用户问题相关的外部知识辅助模型生成回答，一定程度上缓解了大型语言模型的幻觉问题和实时性问题。然而，对于某些金融领域问题，涉及到广泛的金融背景知识，仅依靠知识库检索得到的知识文档并不足以让模型给出正确的分析和解答。

3.2 本章方法

3.2.1 算法总体框架

针对以上问题，本章提出基于内外部知识对齐的检索增强对话生成方法。整体算法框架如图3-1所示，整个框架主要包括三个部分：（1）对金融知识文档进行多粒度语义切分，得到一系列金融知识文档块，并构建外部知识库用于存储和检索这些知识文档块；（2）构建 AlphaFin 金融数据集，为模型注入金融领域的内部知识，同时与知识库中的外部知识进行对齐；（3）利用多级混合检索，对用户问题和知识库中的文档块计算语义相似度，得到与用户问题相关性最高的一系列文档块，最后与指令提示词拼接输入模型，得到回答。

3.2.2 多粒度语义切分模块

如图3-2所示，外部知识库的构建是检索增强生成中的的重要组成部分，用于高效存储和检索相关知识文档。

为了提升知识库召回文档的准确度和效率，本章节对原始知识文档进行多粒度语义切分，从文档中提取出关键信息。如图3-2所示，本章采用两种切分策略：粗粒度文档级总结和细粒度实体级对话生成。其中，语义切分过程使用大型语言模型（如 ChatGPT 模型）通过设计相应的提示词完成，本文所使用的提示词如表3-1所示。

表 3-1 实体级对话生成所使用的提示词。

提示词
基于 <content>，请提出一个金融问题。
输入：<sequential data>
输出：<question>

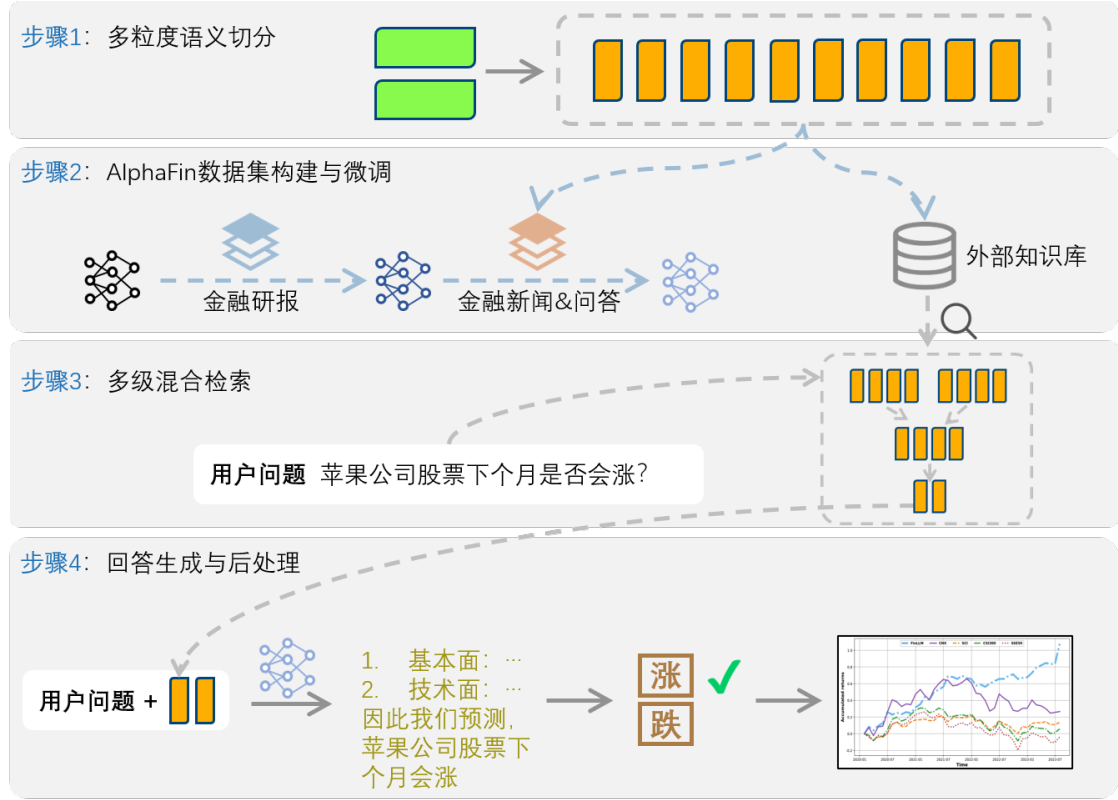


图 3-1 本章所提出的检索增强对话生成框架示意图。

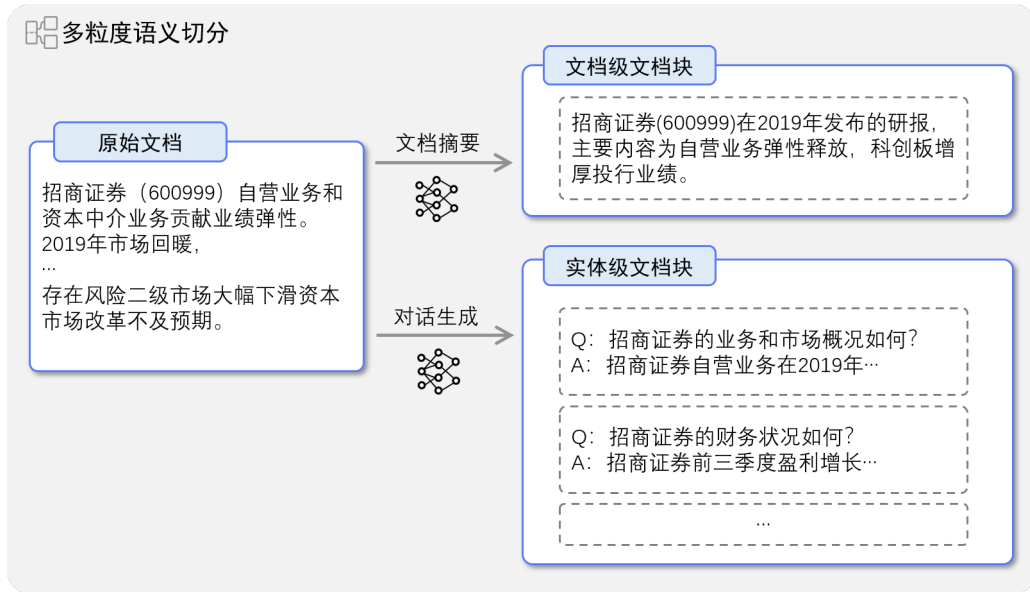


图 3-2 对话框架中的多粒度语义切分模块示意图。

对于文档  $d_k$ , 其语义切分过程如下:

$$s_k = LLM_{sum}(d_k) \quad (3-4)$$

$$(q_{k0}, a_{k0}), (q_{k1}, a_{k1}), \dots = LLM_{qa}(d_k) \quad (3-5)$$

其中,  $s_k$  表示文档  $d_k$  的摘要,  $(q_k, a_k)$  是所生成对话的“问题-回答”二元组。例如, 假设  $d_k$  是与“股票 k 线”相关的文档,  $q_k$  则可能是“股票 k 线是什么?”。

### 3.2.3 AlphaFin 数据集构建

外部知识是指显式存储在外部知识库中的知识, 内部知识是指通过模型训练隐式存储在神经网络权重中的知识, 二者的数据来源和数据分布存在差异, 导致检索增强对话生成存在性能瓶颈。为了实现外部知识与模型内部知识的对齐, 本节构建了 AlphaFin 金融领域监督训练数据集用于微调对话模型, 以弥合内外部知识之间的分布差异, 从而提升语言模型在金融领域知识密集型对话任务上的性能。

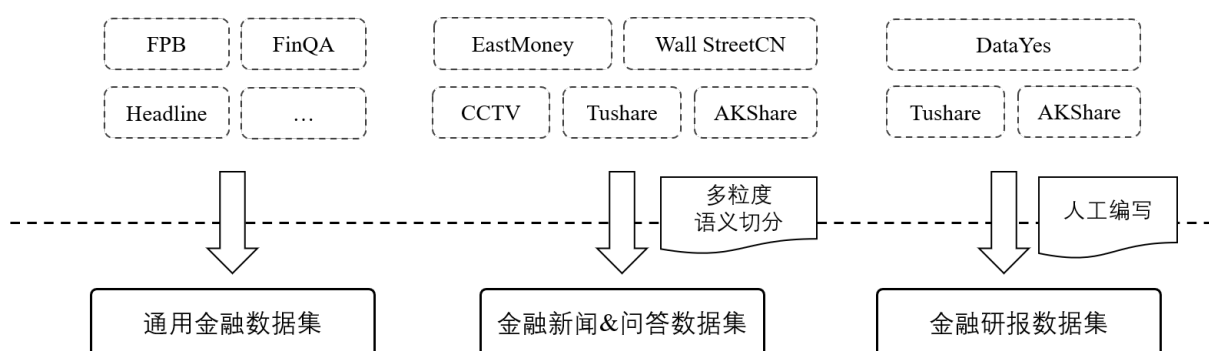


图 3-3 数据集预处理过程示意图。

本节基于金融领域知识文档构建 AlphaFin 数据集, 其具体构建过程如图3-3所示。AlphaFin 数据集包含三部分: 通用金融数据集、金融新闻与问答数据集、金融研报数据集。各数据集具体来源和预处理方式如下:

**通用金融数据集**由传统金融开源数据集构成, 如 FPB<sup>[93]</sup>、FinQA<sup>[94]</sup>、ConvFinQA<sup>[95]</sup>、Headline<sup>[96]</sup>等, 涵盖情感分析、文本摘要等基础 NLP 任务。这些开源数据集均为英文数据集, 因此本节从中采样一部分, 用于增强模型的多语言能力、信息抽取能力和摘要能力。

**金融新闻数据集**爬取自互联网媒体发布的财经新闻稿件, 如 CCTV 金融板块、华尔街见闻等。利用 ChatGPT<sup>[65]</sup>模型进行多粒度语义切分, 对每条新闻分别提取出文档级摘要和实体级对话, 构成金融新闻数据集。该数据集用于增强模型对金融新闻的理解能力与摘要能力。

**金融问答数据集**爬取自开源金融数据接口库, 如 Tushare<sup>[97]</sup>、AKshare<sup>[98]</sup>等。该部分主要包含股票价格及其他财务信息的时序数据 (例如 [‘2023-10-02’: 172.40… ‘2023-10-12’: 180.71, …]), 然后基于多粒度语义分割模块, 得到与数据相关的金融问

答数据，如“根据如下资产负债表数据...，请计算出该公司的流动比率是多少？”。该数据集用于增强模型的数学逻辑能力。

表 3-2 金融研报数据集样本格式。

数据集	Raw 类型	CoT 类型
系统指令	请根据下方提供的该股票相关研报与数据，对该股票的下个月的涨跌，进行预测，请给出明确的答案，“涨”或者“跌”。同时给出这个股票下月的涨跌概率，分别是：极大，较大，中上，一般。	
输入	<  公司研报  > 发布日期: <date> 研报题目: <title> 目标价格: <target price> 研报摘要: <abstract>  <  市场数据  > 1. 股票价格（元）:<price>; 2. 日涨跌幅（%）:<change>; 3. 日成交量（亿）:<volumn>	
输出	这个股票的下月最终收益结果是:’跌’, 下跌概率: 中上	通过公司研报和市场数据可以得出以下结论: 1、基本面: <basic analysis>。 2、技术面: <tech analysis>。 因此，我们预测，这个股票的下月最终收益结果是:’跌’, 下跌概率: 极大

**金融研报数据集**分别从 DataYes 数据平台接口和 TuShare、AKShare 接口爬取股票研究报告和股票价格时序数据，股票研究报告包括证券公司对上市公司的专业分析。本节人工对齐公司的研究报告及其在报告发布当天的股票价格，并使用如表3-2所示的格式来构建样本输入部分，将股票在报告发布次月的真实股价涨跌情况作为样本输出。其中，金融研报数据集包含两种类型的数据：1）Raw 类型，样本输出中仅包含股票涨跌结果和涨跌概率；2）CoT 类型，在给出股票涨跌预测结果前，先对输入中的公司研报和市场数据信息进行基本面和技术面的详细分析和逻辑推导，作为模型推理思维链，这

部分 CoT 分析由金融领域专家人工编写，以保证其正确性和质量。该数据集用于增强模型的金融分析能力，让模型学习金融分析的格式。

最终得到的 AlphaFin 数据集各组成部分的统计信息如表3-3所示，任务类型涵盖 NLP 基础任务、金融新闻、金融问答、研报分析，不同任务类型、不同语言的数据量相当，以保证模型学习到的各项能力趋于平衡。

表 3-3 AlphaFin 数据集统计信息。

数据集	类别	大小	输入长度	输出长度	语言
通用金融数据集	-	42,373	712.8	5.6	英文
金融新闻 & 问答数据集	新闻	21,000	1313.6	40.8	中文
	问答	79,000	497.8	64.2	中文
金融研报数据集	Raw	120,000	2203.0	17.2	中文
	CoT	200	2184.8	407.8	中文

模型微调过程分为两个阶段：1）首先在通用金融数据集、金融新闻数据集和金融问答数据集上进行自回归训练，目的是将专业领域的基本知识注入模型内部；2）然后，在上一步微调后的模型基础上进行继续训练，以进一步对齐知识文档中的长尾知识与模型内部的知识，同时使模型学会金融分析的输出格式。所有的微调过程均采用 LoRA 方法，以缓解训练过拟合问题，同时降低训练成本。微调后的模型将作为对话框架中的对话生成模型，与用户交互。

### 3.2.4 多级混合检索模块

如图3-4所示，多级混合检索模块主要包含三个步骤：（1）多路检索；（2）多路融合；（3）重排序。本节以文档级摘要切分策略为例，说明多级混合检索的具体计算过程。其中，对于细粒度实体级对话生成的切分策略，下式中的  $s_k$  和  $d_k$  可分别被替换为  $q_{k\_}$  和  $a_{k\_}$ 。

**多路检索** 本节使用稀疏向量检索和稠密向量检索两种方式。BM25 算法是常用的稀疏向量检索算法，通过词频逆文档频率（TF-IDF）计算用户问题和知识文档的词汇重叠率，从而得到二者的相似度得分。相较于稠密向量检索，BM25 算法能够较好地通用实体泛化到垂直领域罕见实体，缓解长尾效应。同时，BM25 算法能够考虑到词在文档中的分布情况，更好的捕捉到词的上下文信息。给定用户问题  $Q$  和文档摘要  $s_k$ ，其

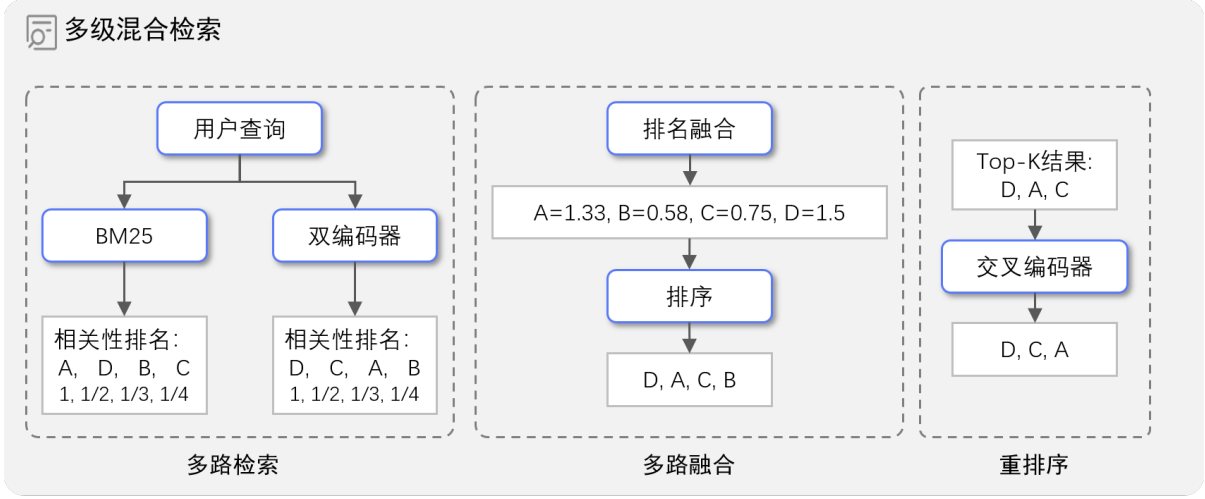


图 3-4 对话框架中的多级混合检索模块示意图。

BM25 相似度评分计算过程如下：

$$Score_{bm25}(Q, s_k) = \sum_i^N IDF(q_i, s_k) \frac{f_i(k_1 + 1)}{f_i + k_1(1 - b + b \frac{sl}{avg(sl)})} \quad (3-6)$$

$$IDF(q_i, s_k) = \log \frac{sl - n_i + 0.5}{n_i + 0.5} \quad (3-7)$$

其中， $N$  表示  $Q$  中的单词数量， $q_i$  表示  $Q$  中的第  $i$  个单词， $k_1$ 、 $k_2$  和  $b$  是调节因子，本节分别设置为 2、0、0.75。 $f_i$  表示单词  $q_i$  在文档  $s_k$  中出现的频率， $n_i$  表示  $q_i$  在  $s_k$  出现的次数， $sl$  为文档  $s_k$  的长度， $avg(sl)$  为知识库中所有文档的平均长度。基于评分  $Score_{bm25}$  对所有文档进行排序，可得到文档排列  $R_{bm25}$ 。

然而，BM25 存在数据稀疏问题，导致文档中的重要信息被忽略。基于双编码器（Bi-Encoder）的稠密向量检索方法能将文本映射为词嵌入向量，对目标词及其上下文进行建模，更好的捕捉到文本的语义信息，使得语义向量能够更好地表示用户问题的意图，获得更准确和全面的检索结果。因此本章同时还使用了基于双编码器的稠密检索方法，与稀疏检索互为补充。

给定用户问题  $Q$  和文档摘要  $s_k$ ，分别通过双编码器模型得到对应的嵌入向量  $e_Q$  和  $e_{s_k}$ 。所有文档的嵌入向量  $e_{s_k}$  将被存储在知识库中，作为数据库索引被用于后续的检索步骤。

$$e_{s_k} = BE(s_k) \quad (3-8)$$

$$e_Q = BE(Q) \quad (3-9)$$

其中,  $BE$  是双编码器模型, 如  $BGE^{[99]}$ 、 $SGPT^{[100]}$  等。基于评分  $Score_{emb}$  对所有文档进行排序, 可得到文档排列  $R_{emb}$ 。

**多路融合** 由于不同检索方式使用的相关度评分存在量纲差异, 因此不宜直接对多路检索评分结果求和。本节使用排名融合方法, 对文档排列  $R_{bm25}$  和  $R_{emb}$  进行合并。文档摘要  $s_k$  的排名融合评分计算过程如下:

$$Score_{RRF} = \sum_{r \in \{R_{bm25}, R_{emb}\}} \frac{1}{k + r(s_k)} \quad (3-10)$$

其中,  $k$  为超参数, 本节设置为 60。基于排名融合评分重新排序, 得到文档排列  $R_{RRF}$ 。

**重排序** 选取 Top-K, 经过交叉编码器。交叉编码器计算慢, 无法预计算, 但是准确度高。得到最终的结果  $d^*$ 。

$$d^* = \arg \max_{d_k} CE(s_k), \quad s_k \in topk(R_{RRF}) \quad (3-11)$$

其中,  $CE$  表示交叉编码器模型,  $topk(\cdot)$  表示取排列中的前  $k$  个元素。

### 3.2.5 回答生成与后处理

给定对话历史  $H_t$ , 用户问题  $Q_t$ , 以及检索到的与用户问题  $Q_t$  相关的文档  $d^*$ , 目标是获得第  $t$  轮对话的回复  $R_t$ 。然后, 拼接提示词模板、知识文档、对话历史和用户问题, 以得到 LLM 的输入  $I_t$ 。将  $I_t$  传入 LLM, 即可得到回复  $R_t$ 。

$$I_t = concat(Prompt, d^*, H_t, Q_t) \quad (3-12)$$

$$R_t = LLM(I_t) \quad (3-13)$$

如图所示, 给定输入  $I_i$ , 本节利用 LLM 来预测股票的涨跌趋势, 这可以看作是一个二分类任务。通过将  $I_i$  输入 LLM, 得到关于  $c_i$  的回复文本  $Res_i$ 。

$$Res_i = LLM(I_i) \quad (3-14)$$

然后, 本节使用基于规则的方法从  $Res_i$  中提取出趋势预测结果  $Pred_i$ 。最后, 选择所有被预测为“上涨”的股票, 得到股票集合  $C_{chosen}$ 。

$$Pred_i = \begin{cases} up, & \text{if } "up" \in Res_i \\ down, & \text{else} \end{cases} \quad (3-15)$$

$$C_{chosen} = c_i | Pred_i = up \quad (3-16)$$

另外，本节按月滚动执行该投资策略。每个月，对于  $C_{chosen}$  中的所有股票  $c_i$ ，会持有一整个月。投资组合中的每种股票的比例是通过市值加权计算得到的。

$$AR_m = AR_{m-1} + \sum_{c_i \in C_{chosen}} \omega_{c_i} R_{c_i} \quad (3-17)$$

其中， $AR_m$  表示第  $m$  个月的累计收益， $R_{c_i}$  表示股票  $c_i$  的收益。 $\omega_{c_i}$  代表股票  $c_i$  在投资组合中所占的比例。 $v_i$  是公司  $c_i$  的市值。

$$\omega_{c_i} = \frac{v_i}{\sum_{c_n \in C_{chosen}} v_n} \quad (3-18)$$

### 3.3 实验结果

本节以金融领域为应用场景对算法进行实验验证。金融领域分析任务主要包括两个部分：1) 股票趋势预测；2) 金融问答。对于第一类任务，主要考察模型的对股票相关信息的理解能力和趋势预测能力，通过年化收益率和预测准确率体现。对于第二类任务，主要考察模型对用户问题解答的准确性、相关性、和有帮助性，通过人工偏好评价和 GPT-4 偏好评价体现。

#### 3.3.1 数据集介绍

为说明本章方法在金融分析领域的有效性，本章在两个基准测试集上进行实验，即 AlphaFin-test 和 FinGPT-FiQA<sup>[101]</sup>。两个数据集都包含金融领域对话数据。其中，在股票涨跌预测任务上，本节使用 AlphaFin-test 测试集中的金融研报数据集进行实验；在金融问答任务上，为保证样本数据分布的广泛性，本节同时使用 AlphaFin-test 的金融新闻 & 问答数据集、AlphaFin-test 的金融研报数据集和 FinGPT-FiQA 三个测试集进行实验。同时，由于金融问答任务实验使用人工和 GPT-4 模型进行评估，评估成本较高，本实验对所有基准测试集均随机抽取 1000 个样本进行实验。

- **AlphaFin-test:** AlphaFin-test 是从本章所提出的 AlphaFin 数据集中划分出来的测试集，与 AlphaFin 训练集没有交集。AlphaFin-test 为中文数据集，包含金融新闻 & 问答数据集和金融研报数据集两个部分。金融新闻 & 问答数据集有 10000 个样本，每个样本包含系统指令、输入和输出字段，包含针对金融新闻、金融数据的单轮问答对话。金融研报数据集有 1000 个样本，涵盖 544 家上市公司在 2020



年 1 月到 2023 年 7 月的真实市场数据，每个样本包含系统指令、输入和输出三个字段，在输入字段中给出指定公司在指定日期的研报和当月股价数据，在系统指令中要求给出该公司股票次月涨跌分析及预测，输出字段为该股票的实际涨跌结果。

- **FinGPT-FiQA**: FinGPT-FiQA 包含 171000 个金融领域英文指令问答样本，每个样本包含系统指令、输入、输出三个字段。输入字段为金融领域的问题或话题，输出为针对输入的回答或观点，所有样本均为单轮对话。

### 3.3.2 基准方法

- **股票指数**: 本节选取了中国股票市场的重要指数，包括上证 50 (SSE50)、沪深 300 (CSI300)、上证指数 (SCI) 和创业板指数 (CNX)。这类指数反映了某个交易板块中所有上市公司股票的整体涨跌情况，即市场综合水平，因此本节使用这类股票指数作为市场基本走势的参考。
- **随机森林<sup>[102]</sup>**: 随机森林是一种监督式学习算法，主要用于分类和回归问题，它是由多个决策树组成的集成模型。其核心思路是，当训练数据被输入模型时，采用不同的子集和特征属性分别建立多个小的决策树，然后将它们集成为一个更强大的模型，而非用整个训练数据集建立单个大的决策树。
- **RNN<sup>[103]</sup>**: 循环神经网络 (Recurrent Neural Network, 简称 RNN) 是一种特殊的神经网络，它能够处理序列数据，并利用序列中的历史信息进行学习。RNN 的结构包含一个循环单元，这个单元允许信息在时间步骤之间传递，使得网络能够记忆和处理之前时刻的信息。
- **BERT<sup>[30]</sup>**: BERT 是一种语言表示模型, BERT 代表来自 Transformer 的双向编码器表示 (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)。BERT 旨在通过联合调节所有层中的双向上下文来预训练深度双向表示。因此适用于文本理解、机器翻译等任务。
- **GRU<sup>[33]</sup>**: GRU (Gated Recurrent Unit) 是一种门控循环单元，属于循环神经网络 (RNN) 的一种。它的主要特点是具有两个门：更新门 (update gate) 和重置门 (reset gate)。更新门负责控制上一时刻状态信息对当前时刻状态的影响，而重置门负责控制忽略前一时刻的状态信息的程度。GRU 是一种简单而有效的 RNN 变体，它在保持与 LSTM 相当性能的同时，减少了参数数量，提高了训练效率，因此在实际应用中常常被优先选择。

- LSTM<sup>[104]</sup>: LSTM (Long Short-Term Memory) 是一种特殊的循环神经网络 (RNN), 它能够有效地捕捉和记忆长序列中的信息, 克服了传统 RNN 中梯度消失或爆炸的问题。LSTM 的核心结构包括四个部分: 遗忘门、输入门、细胞状态和输出门。它通过门控机制控制信息的流动, 从而在序列学习中表现出强大的能力。
- 逻辑回归<sup>[105]</sup>: 逻辑回归是一种统计学习方法主要用于二分类问题, 即输出只有两种, 分别代表两个类别。逻辑回归的优点包括速度快, 适合二分类问题, 简单易于理解, 直接看到各个特征的权重, 能容易地更新模型吸收新的数据。
- XGBoost<sup>[106]</sup>: XGBoost 是一个优化的分布式梯度增强库, 旨在实现高效, 灵活和便携。它在 Gradient Boosting 框架下实现机器学习算法。XGBoost 提供并行树提升 (也称为 GBDT, GBM), 可以快速准确地解决许多数据科学问题。
- 决策树<sup>[107]</sup>: 决策树是一种树形结构, 用于分类和回归问题, 它通过一系列的判断 (节点) 和决策 (边) 来预测实例的类别。决策树的特点包括计算复杂度不高、输出结果易于理解、对中间值的缺失不敏感, 可以处理不相关特征数据。此外, 决策树是一种非参数的有监督学习方法, 它能够从一系列有特征有标签的数据中总结出决策规则并用树状图的结构来呈现这些规则。
- ChatGLM2-6B<sup>[66]</sup>: ChatGLM2-6B 是中英双语对话模型。它使用了 GLM 的混合目标函数, 经过了 1.4T 中英文标识符的预训练与人类偏好对齐训练, 在 CEval、GSM8K 等数据集上得到大幅度的性能提升。
- ChatGPT<sup>[65]</sup>: ChatGPT 全名 Chat Generative Pre-trained Transformer, 是由 OpenAI 开发的一款基于人工智能技术的聊天机器人程序, 于 2022 年 11 月 30 日发布。它基于 GPT (Generative Pre-trained Transformer) 架构, 这是一种自然语言处理 (NLP) 模型, 能够理解和生成人类的自然语言。
- FinMA<sup>[108]</sup>: FinMA 是一个综合性金融大型语言模型 (LLM)。它旨在理解复杂的金融语言和概念, 并经过微调以遵循自然语言指令, 提高其在下游金融任务中的性能。它使用自建金融数据集的完整指令数据进行训练, 涵盖了 NLP 和预测任务。这使它成为一种更全面的模式, 能够处理更广泛的金融任务。
- FinGPT<sup>[109]</sup>: FinGPT 是 2023 年 6 月哥伦比亚大学联合上海纽约大学推出全新大模型产品, 这是一款面向金融领域的大模型产品。它使用自建金融数据集在 LLaMA2-13B<sup>[110]</sup>、ChatGLM2-6B 等预训练模型上进行 LoRA 微调, 得到金融领域语言模型。本实验所使用的是基于 ChatGLM2-6B 的版本。

### 3.3.3 评价指标

对于股票趋势预测任务，本节使用两类指标。第一类是核心指标，包括衡量收益能力的年化收益率（ARR）和准确率（ACC）。第二类是辅助分析的观察指标，如最大回撤（MD），卡玛比率（CR），夏普比率（SR），用于评估投资组合风险情况。具体介绍如下。

- 年化收益率（ARR）：将当前收益率按照复利计算（即每年收益计入本金），折算成平均年度收益率。其计算公式为： $ARR = (Return/Principle)^{1/n} - 1$ ，其中  $n$  为投资年数， $Return$  为总收益， $Principle$  为本金。
- 准确率（ACC）：当模型对股票涨跌预测结果与次月实际涨跌趋势一致时，可认为模型预测正确（ACC=1），否则预测错误（ACC=0）。
- 年化超额收益率（AERR）：投资组合的 ARR 超过基准 ARR 的部分，即  $AERR = ARR - ARR_b$ ，本实验中  $ARR_b$  取沪深 300 的 ARR。
- 年化波动（ANVOL）：用于衡量投资组合的波动风险，其计算公式为： $ANVOL = \sigma_P * \sqrt{n}$ ，其中  $\sigma_P$  为收益率标准差， $n$  为投资年数。
- 最大回撤（MD）：在选定周期内任一时间点开始，产品净值下降到最低点时的收益率最大回撤幅度，用于表现投资组合可能出现的最糟糕情况。其计算公式为： $MD = \max((D_i - D_j)/D_i)$ ， $D_i$  表示第  $i$  天的资产净值，且  $i < j$ 。
- 卡玛比率（CR）：表示投资组合收益和最大回撤之间的关系，代表每单位回撤能获得的收益率。其计算公式为： $CR = ARR/MD$ 。
- 夏普比率（SR）：投资组合每承受一单位总风险，所产生的超额收益。其计算公式为： $SharpRatio = (E(ARR) - R_f)/\sigma_P$ ，其中  $E(ARR)$  表示投资组合的 ARR 期望， $R_f$  为年化无风险利率， $\sigma_P$  为投资组合收益率的标准差。
- 最大下潜期（MDD）：描述持有价值从回撤开始到再创新高所经历的时间，该指标可以反映资产创新高的频率。

对于金融问答任务，本节使用 ROUGE 作为评价指标，用于衡量生成的输出和参考信息之间的相似性。此外，本节还使用人工与 GPT-4 作为评判员，对模型回复进行两两配对评估。同时，本节还使用 Ragas<sup>[11]</sup>检索增强评估框架中的 context\_precision、context\_recall、faithfulness 三项指标对本章方法进行评估。通过考虑这些指标，可以更好地评估模型的性能。指标具体介绍如下。

- ROUGE：机器翻译、文本摘要等自然语言处理任务中的常用评估指标，基于模型生成的候选值和参考答案计算其 N-gram 召回率。其中，ROUGE-L 计算的是二

者的最长公共子序列长度。

- 人类偏好评价：由人类担任评判员，从两个不同模型的回复中选择更优的回答，考察角度包括回答的有帮助性、相关性、准确性、深度、创造性和详细程度。
- GPT-4 偏好评价：由 GPT-4<sup>[112]</sup>模型担任评判员，从两个不同模型的回复中选择更优的回答，考察角度与人类偏好评价保持一致，并在系统指令中对 GPT-4 模型进行约束，指令提示词格式参考 MT-Bench<sup>[113]</sup>评估框架。
- 上下文准确率（Context Precision）：利用 LLM（如 GPT-4 模型）评估知识文档块与用户问题之间的相关性及文档块排名顺序。
- 上下文召回率（Context Recall）：利用 LLM 估计模型回答和文档块的 TP 和 FN，计算文档块的召回率。
- 可信度（Faithfulness）：利用 LLM 计算 (用户问题, 模型回答, 文档块) 三元组的自然语言推断（NLI）分数，即对模型回答的事实性进行量化评估。

### 3.3.4 实验细节

表 3-4 环境配置参数

实验环境	配置	具体参数
硬件环境	GPU	NVIDIA A800-SXM4-80GB×1
	内存	128GB
软件环境	深度学习框架	PyTorch 1.12.1
	开发语言	Python 3.8.13
	开发工具	Visual Studio Code
	其他重要依赖库	peft 0.5.0 transformers 4.33.0

本节实验中所有语言模型的推理解码策略均为贪心搜索，以达到最稳定的性能。另外，在所有模型训练过程中，所使用的超参数如下：Batch Size=16，LoRA Rank=8，学习率调度器为 CosineLRScheduler，Learning Rate=5e-5，Precision=bf16，其余硬件和软件环境如表3-4所示。其中，在股票趋势预测任务中，模型在 AlphaFin 金融研报数据集上训练了 20 个 epoch。在金融问答任务中，使用股票趋势预测中的模型作为基础模型，并在 AlphaFin 金融新闻 & 问答数据集上对其进行 2 个 epoch 的增量微调。

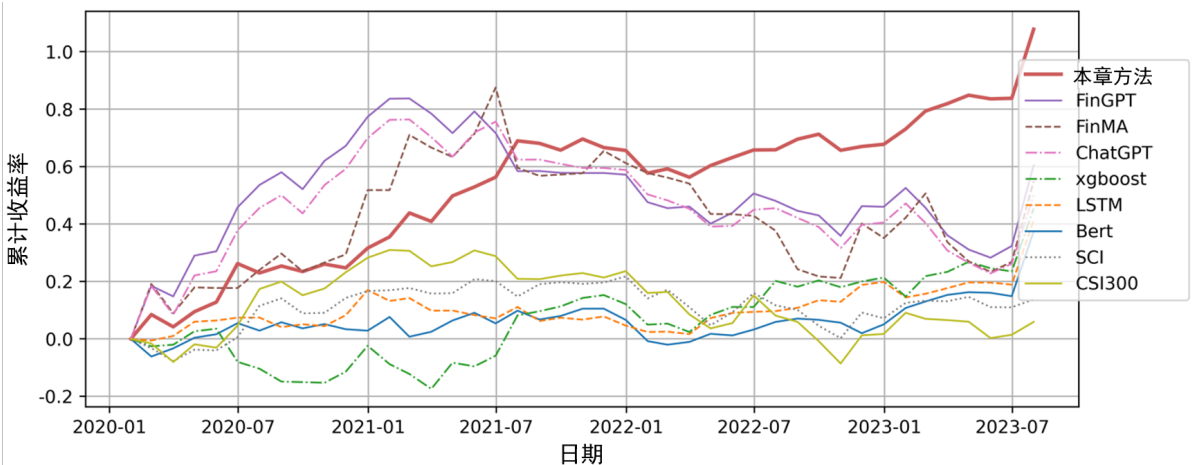


图 3-5 不同方法在进行股票趋势预测的累计收益情况。

表 3-5 不同方法在股票趋势预测任务上的中间观察指标。

模型	ARR ↑	AERR ↑	ANVOL ↓	SR ↑	MD ↓	CR ↑	MDD ↓	ACC ↑
上证 50	-1.0%	-2.7%	19.3%	-0.054	45.9%	-0.023	29	-
沪深 300	1.7%	0%	18.2%	0.092	39.5%	0.043	30	-
上证指数	3.9%	2.2%	14.8%	0.266	21.5%	0.183	19	-
创业板指数	7.6%	5.9%	26.5%	0.287	41.3%	0.185	20	-
随机森林	9.8%	8.1%	19.5%	0.501	16%	0.608	22	55.5%
RNN	8.1%	6.4%	10.9%	0.742	15.7%	0.515	12	54.1%
BERT	10.7%	9.0%	16.1%	0.664	13.5%	0.852	14	51.4%
GRU	11.2%	9.5%	13.7%	0.814	14.6%	0.765	21	54.7%
LSTM	11.8%	10.1%	15.4%	0.767	15.3%	0.768	19	55.2%
逻辑回归	12.5%	10.8%	27.1%	0.463	32.5%	0.385	18	54.8%
XGBoost	13.1%	11.4%	20.5%	0.633	20.9%	0.619	17	55.9%
决策树	13.4%	11.7%	19.6%	0.683	11.9%	1.126	20	55.1%
ChatGLM	8.1%	6.4%	24.9%	0.324	62.6%	0.126	26	49.5%
ChatGPT	14.3%	12.6%	27.7%	0.516	53.6%	0.267	23	51.4%
FinMA	15.7%	14.0%	37.1%	0.422	66.3%	0.236	25	49.1%
FinGPT	17.5%	15.8%	28.9%	0.605	55.5%	0.312	24	50.5%
本章方法	30.8%	29.1%	19.6%	1.573	13.3%	2.314	10	55.7%

### 3.3.5 与现有方法的性能比较

**股票趋势预测任务**如图3-5所示，曲线表示每种方法的年化收益。值得注意的是，从2023年开始，本章方法的收益达到最高并保持上升趋势。这表明了本章方法在投资中的有效性和可用性。同时，由表3-5可以得出以下结论：

首先，RNN、LSTM 等机器学习、时序预测模型在股票趋势预测方面具有一定的预测能力，取得了较好的预测效果；

其次，LLM 将报表数据与市场数据整合后，总体上超过了机器学习、时序预测模型等方法，股票趋势预测能力增强。ChatGPT 实现了 14.3% 的 ARR。虽然 LLM 在大量文本数据上进行训练，但它们缺乏对金融领域的优化。因此，通过在金融领域数据集上的微调，FinMA、FinGPT 等金融领域大模型具有更强的股票趋势预测能力。FinMA 和 FinGPT 模型的 ARR 分别达到 15.7% 和 17.5%。

最后，基于 AlphaFin 金融研报数据对模型进行微调后，本章方法实现了 30.8% 的 ARR 和 55.63% 的 ACC，说明 AlphaFin 数据集对 LLM 能力提升起着至关重要的作用。

表 3-6 人工对模型回复的偏好评价结果。

模型	Win	Tie	Lose	$\Delta WR$
本章方法 v.s. FinMA	85%	14%	1%	+84%
本章方法 v.s. ChatGLM	60%	25%	15%	+45%
本章方法 v.s. FinGPT	57%	24%	19%	+38%
本章方法 v.s. ChatGPT	53%	25%	22%	+31%

表 3-7 GPT-4 模型对模型回复的偏好评价结果。

模型	Win	Tie	Lose	$\Delta WR$
本章方法 v.s. FinMA	95%	4%	1%	+94%
本章方法 v.s. ChatGLM	73%	3%	24%	+49%
本章方法 v.s. FinGPT	72%	2%	26%	+46%
本章方法 v.s. ChatGPT	58%	6%	36%	+22%

**金融问答任务**本节使用人类和 GPT-4 作为评判员，对每个 LLM 在测试数据集上的输出性能进行评分。人工评判结果如表3-6所示，本文所提出方法在内容有效性方面优

于其他 LLM。从表3-6可以看出，本文方法相比 ChatGLM 的胜率超过 60%，相比金融领域大模型如 FinGPT 的胜率达到 62%。GPT-4 评判结果如表3-7，可以得出类似的结论。与人类评分相比，本章方法表现出更高的获胜率，对 ChatGPT 的胜率为 58%，对 ChatGLM2 的胜率为 73%。具体回复示例如表3-8和表3-9所示。

表 3-8 基线方法回复示例。

问题	请对万科 A（000002）股票的下个月的涨跌，进行预测，请给出明确的答案，“涨”或者“跌”。同时给出这个股票下月的涨跌概率，分别是：极大，较大，中上，一般。
FinMA 回复	很抱歉，我无法回答这个问题，因为我是一个计算机程序，我不能访问外部数据或信息。您可以参考市场预期和其他投资者的观点来做出投资决策。
ChatGLM 回复	无法根据提供的数据预测该股票下个月的涨跌，因为没有足够的信息来做出可靠的预测。建议关注该股票的基本面和市场情况，以获取更准确的信息。
FinGPT 回复	作为 AI 语言模型，根据您提供的万科 A（000002）的近期市场数据，我无法直接给出股票的涨跌预测。涨跌预测需要考虑到多种因素，如市场情绪、宏观经济状况、公司基本面等，而这些因素在短期内是难以准确预测的。然而，我可以为您提供一些建议。首先，根据万科 A 的增持评级和当前市场情况，投资者可以关注公司的基本面变化和政策面的情况。其次，关注万科 A 所处的行业，如房地产行业，以及宏观经济环境的变化。最后，关注市场的情绪波动，以便做出适当的交易决策。综上所述，对于万科 A 的涨跌预测，我无法给出确切的答案。不过，投资者可以根据市场情况、行业及公司基本面等因素进行分析和判断。
ChatGPT 回复	抱歉，我无法提供股票涨跌预测和概率。Stock market 涉及到许多复杂的因素，包括财务数据、市场情绪、宏观经济等，无法简单预测。投资需谨慎。
通义金融 回复	通过综合分析，我们预测该股票下个月涨跌情况如下图所示：由于报告内容过多，图片无法上传，你可以查看我的账号找到这个报告。

表 3-9 本章方法回复示例。

问题	<p>请对万科 A（000002）股票的下个月的涨跌，进行预测，请给出明确的答案，“涨”或者“跌”。同时给出这个股票下月的涨跌概率，分别是：极大，较大，中上，一般。</p>
本章方法 回复	<p>通过研报和市场走势数据可以得出以下结论：1、基本面：研报指出，万科 A 已经保持了增持评级，目标价为 26.7 元，并与大股东深圳地铁提交了一份议案 for A 股 and H 股增发股份。公司通过股权再融资一共募集了 187 亿，低于晚 15 年上市的保利的 440 亿。研报还指出，万科对开发业务集中管控，致力于解决操盘表现不稳定等问题。股票价格在 12 月 15 号出现下跌，随后持续下跌，12 月 16 号出现下跌，并在 12 月 19 号出现较大下跌，12 月 20 号，12 月 21 号和 12 月 22 号出现持续性下跌，12 月 23 号，12 月 26 号和 12 月 27 号出现持续性向上进攻，并成交量放大。研报还提醒风险：再融资方案发行失败，管理红利体现较慢，同时原开发业务大幅放缓。然而，需要注意到股票价格持续下跌，可能会在 12 月 27-28 号出现持续性跌停，并成交量放大。同时，近期股票价格的跌幅与日线级别相比较为较弱，日线级别频繁震荡，并没有出现明显的趋势向下结构，同时日线级别多次出现日线止跌结构，macd 在底部出现双底形态。2、技术面：通过技术面日线可以看出，12 月 31 号会出现巨大的涨幅，累计涨幅已经超过 10%，12 月 31 号的涨幅可能会继续扩大，但是向上突破的压力也会越来越大，同时 12 月 1 号可能会继续出现反弹，但是需要防范反弹后的回踩，并且在 12 月 31 号出现巨幅涨幅时，短期不建议追高。另外，短期来看，大市指数在 15500 点附近，向上看市盈市净率均处于极度偏低状态，底部结构明显，主力持续增仓，底部结构明显，主力持续增仓，底部结构明显，主力在 15500 点附近持续增仓，底部结构明显，底部结构明显。综上所述，考虑到研报主要是从公司的基本面和投资价值两个方面进行了阐述，包括公司基本面板块持续强势，技术面公司短期的不确定性以及风险相交互相放大，下月整体公司向上突破的趋势依然较为明显，但是需要防范反弹后的回踩，并且需要防范再踩踏风险。因此，我们预测，这个股票的下月最终收益结果是：‘涨’，上涨概率：较大”。</p>



表 3-10 探究多级检索模块在 Ragas 评估指标上对性能的影响。

方法	Precision ↑	Recall ↑	Faithfulness ↑
向量检索	0.6028	0.8195	0.7412
+ 多路融合	0.6189	0.8324	0.7691
+ 重排序	<b>0.6717</b>	<b>0.8430</b>	<b>0.8005</b>

### 3.3.6 多级检索模块的有效性

本节对对话生成框架中的多级检索模块的有效性进行验证，对比没有多级检索模块、增加多路融合方法、增加交叉编码器重排序后，模型在 AlphaFin-test 数据集上的回复效果。从表3-10可以看出，增加多路融合方法后，各项指标均有小幅度的提升，增加重排序后，模型回复在所有指标上达到最优效果，表明多级检索模块对模型回复质量提升具有正向作用。同时，增加多级检索模块前后的回复结果如表3-11所示。

表 3-11 多级检索模块对检索结果和模型回复的影响。

项目		内容
问题		青松建化近期表现如何？是否值得投资？
无多级检索	检索结果	[新闻] 这是以“鹌鹑蛋”成黑马产品，吸引 200+ 家机构调研为题目，在 2023-10-27 20:59:12 日期发布的财经新闻。财经新闻内容如下：三季报业绩超 2022 全年，营收、净利润双双增长 47%，200 家机构调研劲仔食品（003000）。...
	模型回复	抱歉，我无法回答该问题，因为我的知识截止日期是 2023 年 10 月 27 日，而问题中提到的青松是已经上市的公司，所以无法进行投资。
有多级检索	检索结果	[研报] 青松建化（600425）：典范市场迎新光，龙头青松挺且直；研报摘要：报告要点公司有望迎 4 重弹性 ...
	模型回复	青松建化的投资价值分析： 研报中提到，青松建化在 2022 年有望迎来 4 重弹性，... 综上所述，青松建化是一个具有投资吸引力的股票，但投资者需要仔细衡量风险因素，并结合自身情况做出投资决策。

### 3.3.7 AlphaFin 数据集对性能的影响

表 3-12 股票涨跌预测指标下不同数据集对性能的影响。

模型	ARR ↑	SR ↑	输出长度 ↑	无效答案率 ↓
ChatGLM	8.1%	0.324	228.1	52.3%
w/ Raw 类型数据	15.8%	0.636	17.2	-
w/ CoT 类型数据	10.1%	0.469	476.1	32.4%
本章方法	30.8%	1.573	254.8	25.9%

表 3-13 金融问答 ROUGE 指标下不同数据集对性能的影响。

模型	ROUGE-1 ↑	ROUGE-2 ↑	ROUGE-L ↑
ChatGLM	0.2578	0.1960	0.2542
+ 金融研报数据集	0.3477	0.2521	0.3445
+ 金融新闻 & 问答数据集	0.4052	0.2956	0.4031

本节进行了两个消融实验。第一个消融实验通过分析在 AlphaFin 数据集不同子集上微调的效果来观察模型的股票趋势预测能力；由表3-12可知，相对于未经过训练的基座模型 ChatGLM，LLM 对股票价格的预测能力在使用 Raw 和 CoT 类型的金融研报数据集进行微调后有所提高，分别实现了 15.8% 和 10.1% 的收益提升。此外，无效答案的比例也有所提高，在 Raw 类型数据上进行微调后，该输出范式仅包含“涨”或“跌”，较为简单，因此 LLM 通过微调即可遵循该范式，无效回答率为 0%。经过两类金融研报数据集的微调，本章方法以 30.8% 的 ARR 达到最优性能，无效答案比例相较于 CoT 类型数据结果也有所下降，达到 25.9%。

第二个消融实验研究了在金融研报数据集和金融新闻 & 问答数据集上微调 LLM 后，LLM 回复内容与检索到的知识文档之间的 ROUGE 值。根据表3-13可以观察到，在金融研报数据集上微调后，模型在三类 ROUGE 指标上均有所提升，这主要归功于金融研报数据集中的 CoT 数据，模型输出长度有所提升，因此与知识文档的 ROUGE 分数更高。在金融新闻 & 问答数据集上继续微调后，本章方法在三类 ROUGE 指标上分别达到了 0.4052、0.2956 和 0.4031，达到最优性能，这主要是因为金融新闻 & 问答数据集提升了模型对知识文档的理解能力和摘要能力，因此输出内容与知识文档的一致性更高。

### 3.4 本章小结

在生成垂直领域的问答对话时，需要大量复杂的垂直领域背景知识作为支撑，且往往对语言模型的逻辑推理能力要求较高。但是，语言模型在预训练阶段没有或很少见到垂直领域的语料，导致模型内部缺乏该领域的长尾知识，无法很好地回答垂直领域相关问题。为解决这一问题，本章从内外部知识对齐问题出发，研究如何对齐模型内外部知识。本章算法同时较好地解决了现有方法存在事实性、实时性不足的问题。在此基础上，本章还提出了多粒度语义切分模块和多级检索模块，能有效提升知识文档召回的相关度和准确度。本章提出的方法在金融分析领域下的两个主流任务，即股票趋势预测任务和金融问答任务上获得了超越其他现有方法的性能。但是，本章提出的对话生成方法还面临着用户问题多样且复杂的问题。因此将在下一章针对这一问题开展研究，提出一种基于人类偏好对齐的检索增强对话生成方法，帮助对话模型对齐人类意图，提升模型回复质量。

## 第四章 基于人类偏好对齐的检索增强对话生成

### 4.1 问题描述

垂直领域对话场景下的用户问题往往多样而复杂，模型难以从输入的用户问题中准确理解用户的真实意图，即在语义检索和回答生成过程中存在数据分布偏差，导致模型生成不符合用户预期的回答。如图4-1所示，对于用户问题“苹果公司 2023 年上半年表现如何？”，在金融领域，这通常表示用户关注苹果公司在 2023 年上半财年的财务和市场表现。然而，将用户问题直接用于检索增强生成，得到图中红色的回答，由于知识库中的语义检索模型在通用语料上训练，不具有垂直领域相关的知识，因此检索到的外部知识均为苹果产品相关的新闻，没有财务数据，这导致 LLM 的回答范围受限于苹果新产品和新技术，而没有从财务角度进行分析，且回答较为简略、不够详细，不符合用户预期。若能将用户问题与语义检索模型和回答生成模型对齐，更符合用户意图的外部知识文档为苹果公司上半财年的财务数据和研究报告，基于这类数据，即可得到图中更详细和信息丰富的绿色回答，即符合用户预期的回答。预期回答不仅总结了苹果公司的财务表现和市场表现，还从多个角度全面而详细地进行了分析。

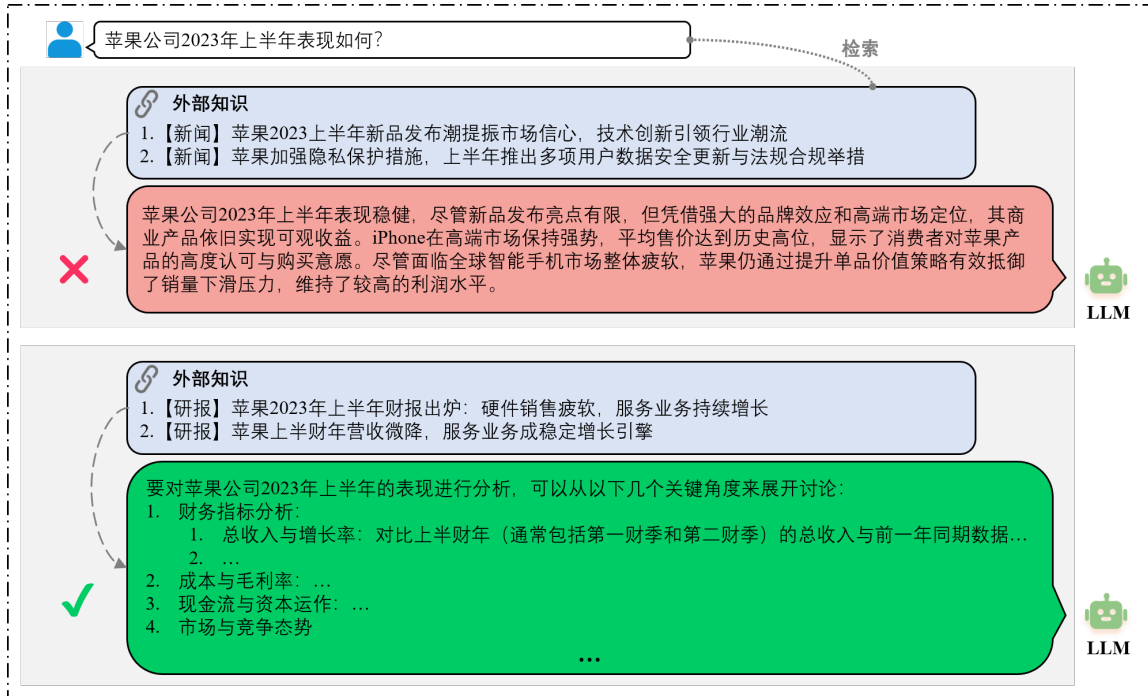


图 4-1 垂直领域对话场景下的模型理解偏差问题示例。

现有大部分人类偏好对齐方法主要通过训练对话模型，使其向人类偏好对齐，例如指令微调<sup>[77]</sup>方法、RLHF<sup>[65,89]</sup>方法、RLAIF<sup>[89]</sup>方法、DPO<sup>[87]</sup>方法等等。然而，这类方法

需要训练对话模型本身，随着大型语言模型的发展，对话模型尺寸也不断增大，且部分闭源模型只能通过 API 访问，因此基于训练的方法受到对话模型的尺寸和访问限制难以应用和迁移。

## 4.2 本章方法

## 4.3 算法总体方案

本章研究一种基于人类偏好对齐的检索增强对话生成的方法，该任务通常需要收集对话模型在各类真实场景下的对话，然后由人类完成偏好标注，最后通过 PPO 强化算法或其他算法训练对话模型，以达到偏好对齐的目的。而 PPO 强化学习在大型语言模型上非常具有挑战性，训练效果稳定性低。因此，本章提出基于人类反馈的问题对齐 (Query Alignment with Human Feedback, QAHF)，基于人类偏好反馈数据训练一个单独的问题优化器，避免直接训练对话模型，从而实现与模型无关的、非侵入的的人类偏好对齐。如图4-2所示，QAHF 方法主要包括四个阶段：1) 人类偏好数据采集阶段；2) 优化问题构建阶段；3) 问题有效性验证阶段；4) 问题优化器训练阶段。

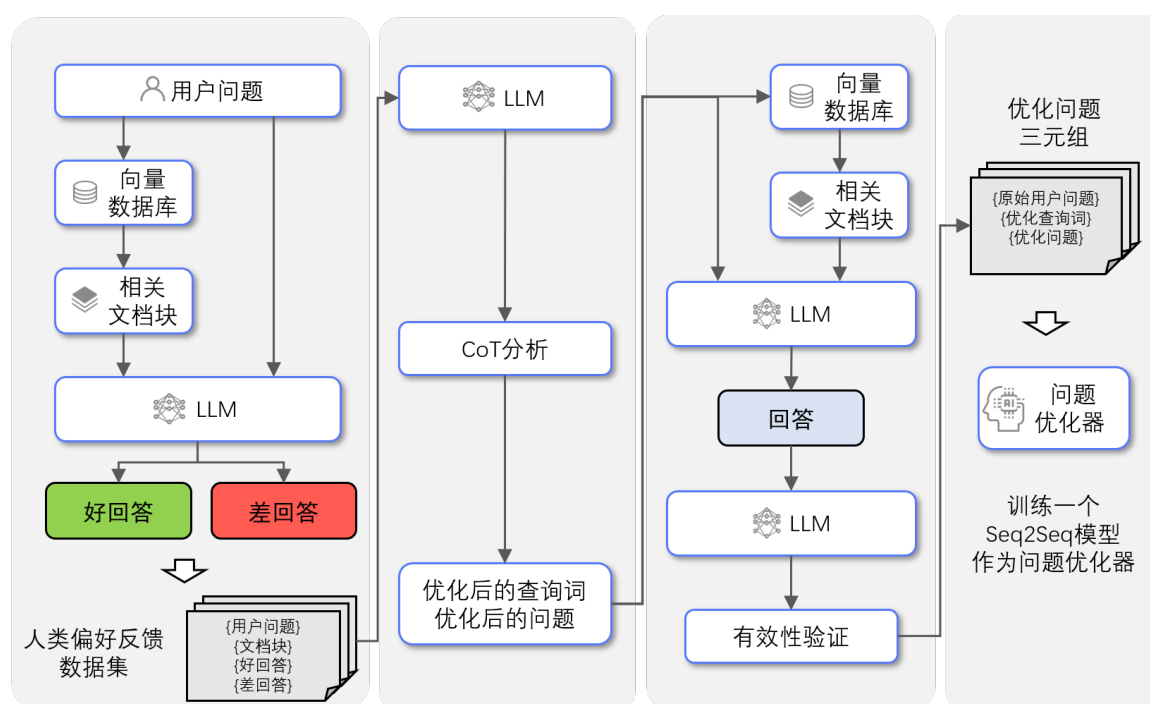


图 4-2 基于人类偏好对齐的检索增强对话生成框架图。

### 4.3.1 人类偏好数据采集阶段

为了建模人类偏好，本节首先搜集了一系列金融问答数据集，该数据集样本为“问题-回答”对，问题主题为金融相关专业问题。此外，本章使用基于规则的方法，过滤掉数据集中与金融领域无关、样本长度过短、话题范围过窄的低质量样本，以保证样本的用户问题存在优化空间。然后，在向量数据库中检索与用户问题相关的文档块，并将结果输入 LLM，通过随机采样的生成策略，得到 LLM 的多组回答。最后，通过人工标注的方式，从准确性、有帮助性、全面性等方面对 LLM 回答进行偏序关系标注，从每组回答中选出综合评分更高的回答作为“好回答”，评分最低的回答作为“差回答”，得到人类偏好反馈数据集。本章主要关注单轮对话的对话生成。

### 4.3.2 优化问题构建阶段

随后，本节使用 LLM 来对数据集中的原始用户问题进行优化。本节使用基于 CoT 的提示工程方法，引导 LLM 通过人类偏好反馈数据识别出用户偏好特征，分析造成 LLM 生成差回答的原因以及好回答中蕴含的人类偏好特征。接着，分别针对数据库检索和 LLM 对话场景各自生成一个优化后的用户问题，使得在新的用户问题下，检索增强对话系统生成的回答分布更趋近于好回答分布，区别于差回答的分布。本节所使用的问题优化提示词如表4-1所示。

### 4.3.3 问题有效性验证阶段

LLM 生成的问题可能仍然存在理解偏差问题，若直接使用带噪声的数据进行后续训练，可能加重模型理解偏差，损害模型性能。因此，本节将优化后的问题重新输入系统，得到新的模型回复，并利用大型语言模型的反思能力，对新回复的质量进行评判，以筛选出有效的偏好数据样本，提高数据集信噪比。并得到最终的优化问题三元组数据集。其中，本阶段所使用的问题有效性验证提示词如表4-2所示。

### 4.3.4 问题优化器训练阶段

基于前述步骤所构建的人类偏好数据集，训练一个 Seq2Seq<sup>[68]</sup>模型作为问题优化器，实现模型无关的、可插拔的用户问题自动优化。形式上，给定原始用户问题  $Q_{ori}$ ，优化器生成优化后的用户问题  $Q_{opt}$ ：

$$Q_{opt} = [Q_{search}, [SEP], Q_{qa}] \quad (4-1)$$

表 4-1 问题优化提示词格式。

问题优化提示词
<p># SYSTEM</p> <p>你是一个大语言模型 Prompt 工程专家，你将根据我提供的信息完成我指定的任务。其中，QUERY 表示用户输入的问题，DOCS 是在数据库中检索得到的与 QUERY 相关的知识文档，GOOD RESPONSE 是相比于 BAD RESPONSE 更符合人类偏好的 LLM 回复。</p> <p># QUERY</p> <p>作为个人知识答疑助手，请根据上述参考内容回答下面问题，答案中不允许包含编造内容。</p> <p>问题是: &lt;original query&gt;</p> <p># DOCS</p> <p>&lt;docs&gt;</p> <p># GOOD RESPONSE</p> <p>&lt;good response&gt;</p> <p># BAD RESPONSE</p> <p>&lt;bad response&gt;</p> <p># TASK</p> <p>你的任务是：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 判断检索到的 DOCS 是否与 QUERY 相关，以及 DOCS 中的信息是否能够回答 QUERY 中的问题；</li> <li>2. 从事实性、完整性、逻辑性三个方面对比 GOOD RESPONSE 和 BAD RESPONSE，分析可能导致 LLM 给出 BAD RESPONSE 的原因；</li> <li>3. 若 DOCS 与 QUERY 相关性不高，重写一个新的 Query，用于数据库检索，使得检索到的 DOCS 的相关性更高，否则不需要重写；</li> <li>4. 作为专业的 Prompt 工程师，再重写一个新的 QUERY，用于输入 LLM，使得 LLM 更有可能给出 GOOD RESPONSE。</li> </ol>

其中， $Q_{search}$  表示用于数据库检索的问题， $Q_{qa}$  表示用于回答生成的问题， $[SEP]$  为特殊标识符，用于分隔  $Q_{search}$  和  $Q_{qa}$ 。

本节使用交叉熵损失函数作为训练目标，损失函数定义为：

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \log P(x_t | Q_{ori}, x_{<t}) \quad (4-2)$$

表 4-2 问题有效性验证提示词格式

有效性验证提示词
<p>#SYSTEM</p> <p>你是一个大语言模型 Prompt 工程专家，你将根据我提供的信息完成我指定的任务。其中，QUERY 表示用户输入的问题，DOCS 是在数据库中检索得到的与 QUERY 相关的知识文档，RESPONSE 是 LLM 的回复。</p> <p># QUERY</p> <p>作为个人知识答疑助手，请根据上述参考内容回答下面问题，答案中不允许包含编造内容。</p> <p>问题是: &lt;original query&gt;</p> <p># DOCS</p> <p>&lt;docs&gt;</p> <p># RESPONSE</p> <p>&lt; response&gt;</p> <p># TASK</p> <p>你的任务是：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 判断检索到的 DOCS 是否与 QUERY 相关，以及 DOCS 中的信息是否能够回答 QUERY 中的问题；</li> <li>2. 判断 RESPONSE 是否能够准确、可靠地回答 QUERY；</li> <li>3. 对 RESPONSE 进行评分，分数取值范围为 [1, 10]。</li> </ol>

其中， $N$  是  $Q_{opt}$  的长度， $x_t$  表示  $Q_{opt}$  中的第  $t$  个标识符。本章选择 Qwen-7B 作为基座模型，以更好地学习  $Q_{ori}$  和  $Q_{opt}$  之间的隐式偏好映射。同时，在目前的主流 LLM 中，7B 模型的参数量相对较小，能够以更低的成本进行训练和推理，具有更低的推理延迟，作为本方法中的问题优化器具有一定优势。

## 4.4 实验结果

### 4.4.1 数据集介绍

- FinGPT-FiQA<sup>[101]</sup>是 Wang 等人创建的人工评估数据集。它包含了 17.1k 个金融领域的用户问题与回答样本，这些样本均采样于实际应用场景。本节从中抽取了 1000 个样本作为实验的测试数据。



- AlphaFin-test 是本文第三章中构建的 AlphaFin 数据集的测试集，它包含 1000 条金融与数据问答对，AlphaFin-test 数据集能够评估模型在金融领域对话上的性能表现。更详细的数据集介绍参考第三章内容。

#### 4.4.2 评价指标

本节使用人工偏好评价、GPT-4 偏好评价和 Ragas<sup>[111]</sup>评估框架作为实验评估指标。其中，本节使用 Ragas 中的 context\_precision、context\_recall、faithfulness 三项指标。指标具体介绍如下。

- 人类偏好评价：由人类担任评判员，从两个不同模型的回复中选择更优的回答，考察角度包括回答的有帮助性、相关性、准确性、深度、创造性和详细程度。
- GPT-4 偏好评价：由 GPT-4<sup>[112]</sup>模型担任评判员，从两个不同模型的回复中选择更优的回答，考察角度与人类偏好评价保持一致，并在系统指令中对 GPT-4 模型进行约束，指令提示词格式参考 MT-Bench<sup>[113]</sup>评估框架。
- 上下文准确率（Context Precision）：利用 LLM（如 GPT-4 模型）评估知识文档块与用户问题之间的相关性及文档块排名顺序。
- 上下文召回率（Context Recall）：利用 LLM 估计模型回答和文档块的 TP 和 FN，计算文档块的召回率。
- 可信度（Faithfulness）：利用 LLM 计算 (用户问题, 模型回答, 文档块) 三元组的自然语言推断（NLI）分数，即对模型回答的事实性进行量化评估。

#### 4.4.3 基座模型

- Qwen-7B-Chat<sup>[68]</sup>：通义千问-7B（Qwen-7B）是阿里云研发的通义千问大模型系列的 70 亿参数规模的模型。Qwen-7B 是基于 Transformer 的大语言模型，在超大规模的预训练数据上进行训练得到。预训练数据类型多样，覆盖广泛，包括大量网络文本、专业书籍、代码等。
- FinGPT<sup>[114]</sup>：FinGPT 是 2023 年 6 月哥伦比亚大学联合上海纽约大学推出全新大模型产品，这是一款面向金融领域的大模型产品。它使用自建金融数据集在 llama2-13b、ChatGLM2-6B 等预训练模型上进行 LoRA 微调，得到金融领域语言模型。本实验所使用的是基于 ChatGLM2-6B 的版本。
- ChatGLM2-6B<sup>[66]</sup>：ChatGLM2-6B 是智谱 AI 及清华 KEG 实验室发布的中英双语对话模型。它使用了 GLM 的混合目标函数，经过了 1.4T 中英标识符的预训练与

人类偏好对齐训练，在 CEval、GSM8K 等数据集上得到大幅度的性能提升。同时，ChatGLM2-6B 使用了 Multi-Query Attention，提高了生成速度，同时也降低了生成过程中 KV Cache 的显存占用。同时，ChatGLM2-6B 采用 Causal Mask 进行对话训练，连续对话时可复用前面轮次的 KV Cache，进一步优化了显存占用。

- ChatGPT<sup>[65]</sup>: ChatGPT 全名 Chat Generative Pre-trained Transformer，是由 OpenAI 开发的一款基于人工智能技术的聊天机器人程序，基于 GPT<sup>[115]</sup>架构，这是一种自然语言处理（NLP）模型，能够理解和生成人类的自然语言。

#### 4.4.4 基准方法

- PPO<sup>[116]</sup>: PPO 算法是在 Policy Gradient 算法的基础上由来的,Policy Gradient 是一种 on-policy 的方法,他首先要利用现有策略和环境互动,产生学习资料,然后利用产生的资料,按照 Policy Gradient 的方法更新策略参数。然后再用新的策略去交互、更新、交互、更新,如此重复。
- BPO<sup>[86]</sup>: 黑盒提示优化（Black-Box Prompt Optimization, BPO）算法，自动优化用户输入，以更好地适应 llm 对改进响应的偏好。通过 BPO 对齐，无需进一步微调对话模型，即可对齐人类和模型之间的理解偏差。但本方法仅使用用户问题和模型回复构建偏序数据集，在检索增强应用场景下，没有考虑检索的知识文档信息，因此还有很大的空间可以进一步提升。

#### 4.4.5 实现细节

对于 QAHF，本节使用 Qwen-7B<sup>[68]</sup>作为优化器的基座模型，在所构建的问题优化三元组数据集上对优化器模型训练了 3 个 epoch。在训练阶段，本节使用 AdamW 优化器， $\beta_1=0.9$  和  $\beta_2=0.999$ 。本实验将学习率设置为  $2e-5$ ，热启动步长为 0.1%，使用 LinearLRScheduler 学习率调度方法。每个 GPU 的 Batch Size 大小为 4。对于 RLHF 训练，RM 模型训练和 PPO 优化只训练 1 个 epoch。其中，本实验 RM 模型的训练数据来自于本章方法所构建的人类偏好数据集，RM 模型在同分布测试集上达到了 78% 的准确率。所有实验均在 8×80GB NVIDIA A800 GPU 上进行。QAHF 采用 Top-P=0.9 和 Temperature=0.6 的推理解码策略，另外，所有测试的基座模型都使用默认的解码策略。

#### 4.4.6 与现有方法的性能比较

详细的实验结果如表4-3所示。基于本章所提出的 QAHF 方法，在所有基座模型和所有数据集上，其性能均优于原始问题，取得了更高的胜率，证明了本章方法的有效性

表 4-3 QAHF 在 FinGPT-FiQA Eval 和 AlphaFin-test 上的有效性实验

模型	方法		FinGPT-FiQA Eval			AlphaFin-test			$\Delta$ WR
	A	B	A win	Tie	B win	A win	Tie	B win	
ChatGLM	QAHF	ori.	<b>58.0%</b>	21.0%	21.0%	<b>61.0%</b>	5.2%	33.8%	+32.1%
FinGPT	QAHF	ori.	<b>57.5%</b>	22.4%	20.1%	<b>54.3%</b>	15.1%	30.6%	+30.5%
Qwen	QAHF	ori.	<b>52.2%</b>	15.5%	32.3%	<b>54.0%</b>	12.3%	33.7%	+20.1%
ChatGPT	QAHF	ori.	<b>39.0%</b>	26.3%	34.7%	<b>41.1%</b>	27.1%	31.8%	+6.8%

和广泛适用性。值得注意的是，在 ChatGLM、FinGPT、Qwen 等相对小尺寸的开源模型上，QAHF 相比于原始问题的胜率分别提高了 32.1%、30.5% 和 20.1%，FinGPT 在数据集 FinGPT-FiQA Eval 上甚至达到了 37.4% 的提升，而在 ChatGPT 这类模型上，胜率提升在 10% 以内，说明本章方法对于尺寸更小、基础能力相对更弱的基座模型能够收获更大的对齐收益。

表 4-4 QAHF 与 BPO 在 FinGPT-FiQA Eval 和 AlphaFin-test 上的性能对比

模型	方法		FinGPT-FiQA Eval			AlphaFin-test			$\Delta$ WR
	A	B	A win	Tie	B win	A win	Tie	B win	
ChatGLM	BPO	ori.	<b>43.2%</b>	22.4%	34.4%	<b>40.7%</b>	15.6%	43.7%	+3.0%
	QAHF	BPO	<b>36.8%</b>	39.6%	23.6%	<b>52.5%</b>	12.7%	34.8%	+15.4%
	QAHF	ori.	<b>58.0%</b>	21.0%	21.0%	<b>61.0%</b>	5.2%	33.8%	+32.1%
ChatGPT	BPO	ori.	<b>39.4%</b>	12.3%	48.3%	<b>43.6%</b>	25.5%	30.9%	+1.9%
	QAHF	BPO	<b>31.1%</b>	38.5%	30.4%	<b>40.9%</b>	28.2%	30.9%	+5.4%
	QAHF	ori.	<b>39.0%</b>	26.3%	34.7%	<b>41.1%</b>	27.1%	31.8%	+6.8%

如表4-4所示，BPO 和 QAHF 均成功提升了 ChatGLM 和 ChatGPT 模型的性能。此外，在 QAHF 与 BPO 的所有对比实验中，QAHF 均取得了正向的胜率提升，进一步证明 QAHF 方法相较于 BPO 方法的优越性。

同时，本实验还对比了 QAHF 和 PPO 强化学习对齐方法的性能差异，结果如表4-5所示。从表中可以看出，由于 PPO 训练稳定性较差，虽然训练实现了收敛，但 PPO 方法对模型性能的提升较为有限，75.4% 的样本没有明显提升，胜率仅有 2.8%。而

表 4-5 QAHF 与 PPO 在 AlphaFin-test 上的性能对比

模型	方法		AlphaFin-test			$\Delta$ WR
	A	B	A win	Tie	B win	
ChatGLM	PPO	ori.	<b>13.7%</b>	75.4%	10.9%	+2.8%
	QAHF	PPO	<b>49.3%</b>	20.6%	30.1%	+19.2%
	QAHF	ori.	<b>61.0%</b>	5.2%	33.8%	+27.2%

QAHF 方法依然能获得 10% 以上的稳定提升。

表 4-6 使用不同对齐方法优化后的用户问题对比

类型	问题
原始	招商证券 2020 年下半年市场份额如何？
BPO	招商证券 2020 年下半年在代理买卖证券业务、股权投资收益、财富管理等方面的表现如何？
QAHF (本章方法)	根据招商证券 2020 年下半年的业务增长情况和市场排名，描述该公司在市场份额方面的表现。

本节对比原始用户问题和使用 BPO、QAHF 方法进行优化后的问题，得到结果如表4-6所示。从表中可以看出，BPO 方法没有考虑检索得到的知识文档信息，而直接对用户问题和模型回复进行分析和重写，因此重写后的问题局限于参考回答中的局部信息，而 QAHF 方法根据检索到的研报和新闻数据，分析出文档包含了该公司的市场份额相关信息，包括各项业务的增长情况、市场排名等，因此将原始用户问题中的表述扩展为“业务增长情况和市场排名”。

基于上述三种原始问题和优化问题，得到的模型回复情况如表4-7所示。从表中可以看出，基于原始问题，模型无法准确理解市场份额的意义，因此认为知识文档中不包含与此相关的内容，做出了拒绝回答的行为；基于 BPO 优化后的问题聚焦于更细分的代理买卖证券业务、股权投资收益、财富管理方面，但由于与知识文档内容存在偏差，模型回复出现编造数据等偏离事实性的现象；基于 QAHF 优化后的问题，紧扣知识文档内容，同时对简单的问题进行详细展开，使得模型能更好抓住文档中的重点，因此回复更详细且数据准确。

表 4-7 使用不同对齐方法优化用户问题后得到的模型回复对比

类型	回复
原始	<p>抱歉，根据上述参考内容，我们无法得出关于招商证券 2020 年下半年市场份额的具体信息，因为该报告只提到了公司在 2020 年全年的业绩和排名情况，而没有涉及到下半年市场的份额变化。同时，该报告也没有提供关于个人知识答疑助手日期和招商证券 2020 年下半年市场份额的任何信息。</p>
BPO	<p>从提供的研报中可以得知，招商证券在 2020 年下半年表现出了良好的增长态势。具体来说，公司各项业务全面增长，其中经纪业务增速最高，实现营收 67.2 亿元，同比 37.1%；自营业务规模也有提升，营收同比增长 10.1%。公司在投资银行业务方面表现较为突出，投行业务收入同比增长 18.4%，但股权投资收益同比仅略微下降。此外，公司的代理买卖证券业务也有所提升，但两项业务的市场份额排名均有所下降。因此，可以预测，招商证券在 2020 年下半年将继续保持良好的增长势头，但需要关注市场波动和业务风险。</p>
QAHF (本章方法)	<p>作为知识答疑助手，我认为招商证券 2020 年下半年市场份额如下：</p> <p>排名提升：在 2020 年上半年，招商证券的股票托管业务和股票经纪业务分别排名第 6 和第 8 位，但是在下半年，这两个业务的排名都提升了，分别排名第 2 和第 3 位。</p> <p>市场份额上升：在 2020 年下半年，招商证券的代理业务同比增长了 26%，达到了 2294.27 亿元，占公司总代理业务收入的 41.94%，而 2019 年同期仅占 2719.3 亿元，占公司总代理业务收入的 11.93%。</p> <p>头部地位稳固：在 2020 年下半年，招商证券的经纪业务、投行和资管业务分别排名第 1、第 7 和第 2 位，而公司总代理业务排名第 3 位，这表明公司在行业中的地位稳固，继续保持头部地位。</p> <p>因此，从 2020 年下半年招商证券的市场份额来看，在提升了代理业务的市场份额下，公司经纪业务、投行和资管业务仍保持了头部地位，并且在提高市场份额的同时，公司的代理业务同比增长了 26%。</p>

#### 4.4.7 问题有效性验证模块的有效性

QAHF 的一个重要组成部分是利用反馈来优化用户指令。为了研究反馈对 QAHF 的快速优化有多大贡献，进行了消融实验，以比较反馈学习优化 (QAHF) 和直接使用 ChatGPT 进行快速优化。如表4-8和表4-9所示，直接优化可以提高模型性能，这验证了 llm 成为良好提示工程师的潜力。QAHF 提供了超越直接优化的进一步改进。这表明，纳入反馈允许 llm 根据所展示的用户偏好来完善提示，从而实现更有效的提示优化。

表 4-8 在 FinGPT-FiQA 数据集上探究问题有效性验证模块对性能的影响

模型	方法		FinGPT-FiQA Eval			$\Delta$ WR
	A	B	A win	Tie	B win	
ChatGLM	QAHF	ori.	<b>58.0%</b>	21.0%	21.0%	+32.1%
	w/o Eval	ori.	<b>49.8%</b>	25.5%	24.7%	+24.8%
	QAHF	w/o Eval	<b>8.6%</b>	86.3%	5.1%	+4.5%

表 4-9 在 AlphaFin-test 数据集上探究问题有效性验证模块对性能的影响

模型	方法		AlphaFin-test			$\Delta$ WR
	A	B	A win	Tie	B win	
ChatGLM	QAHF	ori.	<b>61.0%</b>	5.2%	33.8%	+32.1%
	w/o Eval	ori.	<b>46.9%</b>	30.6%	22.5%	+24.8%
	QAHF	w/o Eval	<b>15.1%</b>	75.3%	9.6%	+4.5%

本节基于 ragas 评估框架对完整的 QAHF 方法和去除提示词有效性验证模块后的 QAHF 方法进行性能比较，实验结果如表4-10所示。从表中结果可以看出，去除提示词有效性验证模块后，数据中噪声偏多，因此模型在 context\_precision 和 faithfulness 指标上都仅有 0.03 和 0.02 的微弱提升，甚至在 context\_recall 上有 0.01 的降低。而增加提示词有效性验证模块后，模型在 context\_precision 和 faithfulness 指标上有了显著提升，分别提升了 0.11 和 0.06 分，而在 context\_recall 指标上，与原始结果几乎相同，仅相差 0.001。对于 context\_recall 指标上分数的降低，可能是因为问题改写仅影响模型回复与用户问题之间的相关性，而 context\_recall 评估的是用户问题和知识文档之间的相似性，因此在这一指标上，所对比的三种方法得分相近。

表 4-10 在 Ragas 指标上问题有效性验证模块对性能的影响

模型	方法	Precision $\uparrow$	Recall $\uparrow$	Faithfulness $\uparrow$
ChatGLM	ori.	0.6717	0.8430	0.8005
	w/o Eval	0.7023(+0.03)	0.8329(-0.01)	0.8216(+0.02)
	QAHF	0.7839(+0.11)	0.8417(-0.001)	0.8574(+0.06)

同时，表4-11展示了具体的有效样本和无效样本内容，从示例内容可以看出，无效样本的优化问题将原始问题中的“杭州公司股票”改为了“杭州的公司”，导致问题对象发生变化，导致最终模型回复不符合用户初始意图。有效性验证模块能够准确地从初始数据集中过滤无效样本，提高训练数据集的信噪比，避免进一步加重模型的幻觉现象。

#### 4.4.8 迭代优化对算法性能的影响

由于 QAHF 可以优化用户提示以获得更好的响应，自然的想法是，是否可以迭代多次优化问题，逐步增强 LLM 的输出。因此，本节用 ChatGPT 在 AlphaFin-test 数据集上进行了实验。具体来说，本节对原始指令进行了 5 次迭代优化，并与原始指令进行了 ragas 指标比较。如图4-3所示，通过 3 次迭代，有明显的改善，在第 4 次迭代时略有下降。此外，本节还发现 QAHF 表现出良好的保留性，当输入提示已经足够好时，它有很高的概率保留它。本节认为这是实现迭代增强的关键因素，因为它避免了对用户的原始意图进行不合理的更改。多次执行 CoT 分析与优化问题生成。

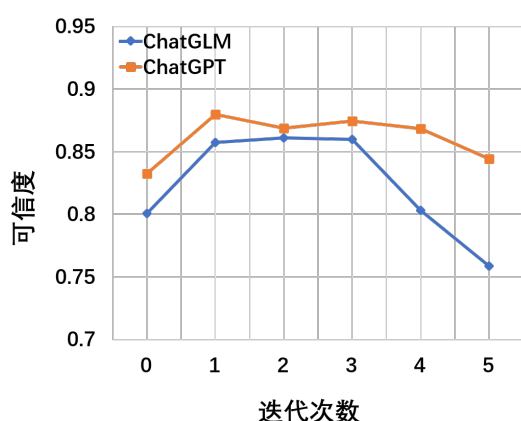


图 4-3 不同迭代优化次数对可信度的影响。

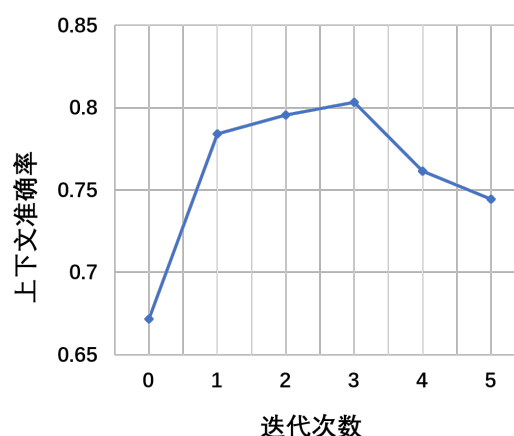


图 4-4 不同迭代优化次数对上下文准确率的影响。

表 4-11 有效样本与无效样本对比

类型		内容
有效 样本	原始问题	国庆黄金周对旅游股有什么影响
	优化问题	国庆黄金周对旅游股有什么影响，列点回答，从宏观到微观依次分析对旅游行业、旅游公司、旅游股的影响，最后给出综合性结论。
	模型回复	<p>国庆黄金周对旅游股的影响主要体现在以下几个方面：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 客流量增加： …</li> <li>2. 板块内部分红机会： …</li> <li>3. 旅游股的业绩弹性： …</li> <li>4. 旅游股面临了一定的市场风险： …</li> </ol> <p>综上所述，国庆黄金周对旅游股的影响主要体现在客流量增加、板块内部分红机会、旅游股的业绩弹性和面临的市场风险等方面。投资者在关注国庆黄金周带来的投资机会的同时，还需注意国庆期间的市场风险，合理制定投资策略。</p>
无效 样本	原始问题	杭州亚运会对杭州公司股票有什么积极作用
	优化问题	杭州亚运会对杭州的公司有什么积极作用
	模型回复	<p>杭州亚运会将为杭州的公司带来积极影响，具体来说：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 亚运会将带来大量游客： …</li> <li>2. 亚运会将带动周边房价上涨： …</li> <li>3. 亚运会将推动杭州文化产业发展： …</li> <li>4. 亚运会将带动杭州基础设施建设： …</li> </ol> <p>总之，杭州亚运会将为杭州的公司带来诸多积极影响，包括游客、房价、文化产业和基础设施等方面。这些都将为杭州的公司提供更多的商业机会和发展动力。</p>



### 4.4.9 人类反馈对算法性能的影响

QAHF 的一个重要组成部分是利用反馈来优化用户指令。为了研究反馈对 QAHF 的快速优化有多大贡献，进行了消融实验，以比较反馈学习优化 (QAHF) 和直接使用 ChatGPT 进行快速优化。如表4-12所示，直接优化可以提高模型性能，这验证了 llm 成为良好提示工程师的潜力。QAHF 提供了超越直接优化的进一步改进。这表明，纳入反馈允许 llm 根据所展示的用户偏好来完善提示，从而实现更有效的提示优化。

表 4-12 在偏好评价指标上人类反馈对性能的影响

模型	方法		AlphaFin-test			$\Delta$ WR
	A	B	A win	Tie	B win	
ChatGLM	QAHF	ori.	<b>61.0%</b>	5.2%	33.8%	+27.2%
	w/o Human	ori.	<b>39.4%</b>	35.8%	24.8%	+14.6%
	QAHF	w/o Human	<b>45.7%</b>	20.3%	34.0%	+11.7%

## 4.5 本章小结

本章提出基于人类偏好对齐的检索增强对话生成方法，能够实现与模型无关的、可解释、效果稳定的人类偏好对齐。此外，本章提出的人类偏好对齐方法还面临着受限于标注者的主观偏好的问题，因此在未来的工作中，这也是需要进一步研究和完善的方向。

## 总结与展望

### 4.6 全文总结

针对现有垂直领域检索增强对话生成的缺点与不足，本文对两方面内容展开了研究：一是基于内外部知识对齐的检索增强对话生成；二是基于人类偏好对齐的检索增强对话生成。通过所提出的两个新算法，本文能够较好的解决现有大部分垂直领域检索增强对话生成算法存在的问题。本论文的主要工作总结如下：

- 针对专有领域背景知识丰富、逻辑相对复杂的问题，本文提出了基于内外部知识对齐的检索增强对话生成方法。该方法利用一个语义切分模块提取知识文档的文档级信息和实体级信息，并将提取出来的知识分别用于构建外部知识库和内部知识注入，实现垂直领域对话模型内外部知识对齐，更好地帮助提高模型回复的事实性和可靠性。
- 针对用户问题形式多样、意图难理解的问题，本文提出了基于人类偏好对齐的检索增强对话生成方法。该方法通过采集人类对真实场景对话样本的偏好，利用大型语言模型的理解与分析能力进行问题优化，并训练单独的问题优化语言模型，实现了与模型无关的、可解释、效果稳定的人类偏好对齐，使得对话模型生成的回复更准确有效。
- 本文通过大量的实验证明了所提出的两个方法的有效性和。对于基于内外部知识对齐的垂直领域对话生成方法，本文将该方法应用于金融分析领域，并在真实股票市场价格趋势预测任务和金融问答任务上，通过多个评价维度验证其优于所有比较的方法。实验结果表明：内外部知识对齐有助于提升垂直领域对话生成的质量。对于基于人类偏好的对话生成对齐方法，本文分别在两个不同的基准测试机上与目前主流的语言模型对齐方法进行实验比较。实验结果表明：对用户问题进行优化，能同时提升知识文档召回准确率和模型理解与用户意图的一致性。

### 4.7 未来展望

本文围绕面向专有领域的检索增强对话生成对齐课题开展研究并取得了一定的成果。然而，作为深度学习和自然语言处理的前沿研究方向之一，检索增强对话生成对齐仍然面临诸多困难与挑战。未来的工作主要总结为如下几个方面：

- 对于基于内外部知识对齐的检索增强对话生成方法，本文仅考虑了文本模态的外部

知识，而其他模态，如图像、语音等模态数据可能包含更多有助于模型进行金融分析的信息，进一步提升对话模型性能。为了解决这一问题，未来工作将进行多模态文档增强的探索，并探究如何利用多模态大模型的图文理解与生成能力，从而实现利用多模态信息的知识提升算法性能。

- 本文所提出的两种方法仅在金融分析这一领域中验证了其有效性，未来工作将在更多的专有领域和数据集上验证这两个方法，探究其广泛适用性。
- 本文所提出的两种方法都基于大型语言模型的检索增强生成技术，方法的有效性在一定程度上对知识文档的质量和所使用的语言模型的指令遵循能力存在依赖性。未来工作将针对低信噪比外部知识和小尺寸基座模型的检索增强对话生成方式进行改进，提出一种新的方法，降低对话生成对文档和基座模型的敏感度。
- 对于基于人类偏好对齐的检索增强对话生成方法，该方法显式地引入了人类标注者的主观偏好，因此最终生成的对话回复可能会受到标注者的价值观影响。未来工作将探究如何减弱标注者个人偏好对方法性能的影响，实现更广泛的人类偏好对齐。

## 参考文献

- [1] 杨州, 陈志豪, 蔡铁城, 等. 基于深度学习的情感对话响应综述[J]. 计算机学报, 2023, 46(12): 2489-2519.
- [2] 徐凡, 徐健明, 马勇, 等. 基于知识增强的开放域多轮对话模型[J]. 软件学报, 2024, 35(02): 758-772.
- [3] Jagerman R, Zhuang H, Qin Z, et al. Query Expansion by Prompting Large Language Models[J]. CoRR, 2023, abs/2305.03653. arXiv: 2305.03653.
- [4] Asai A, Wu Z, Wang Y, et al. Self-RAG: Learning to Retrieve, Generate, and Critique through Self-Reflection[J]. CoRR, 2023, abs/2310.11511. arXiv: 2310.11511.
- [5] Wang L, Yang N, Wei F. Query2doc: Query Expansion with Large Language Models[C]. in: Bouamor H, Pino J, Bali K. Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2023, Singapore, December 6-10, 2023. Association for Computational Linguistics, 2023: 9414-9423.
- [6] Cui J, Li Z, Yan Y, et al. ChatLaw: Open-Source Legal Large Language Model with Integrated External Knowledge Bases[J]. CoRR, 2023, abs/2306.16092. arXiv: 2306.16092.
- [7] Zhou H, Zheng C, Huang K, et al. KdConv: A Chinese Multi-domain Dialogue Dataset Towards Multi-turn Knowledge-driven Conversation[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 7098-7108.
- [8] Jung J, Son B, Lyu S. AttnIO: Knowledge Graph Exploration with In-and-Out Attention Flow for Knowledge-Grounded Dialogue[C]. in: Webber B, Cohn T, He Y, et al. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2020, Online, November 16-20, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 3484-3497.
- [9] 陈晨, 朱晴晴, 严睿, 等. 基于深度学习的开放领域对话系统研究综述[J]. 计算机学报, 2019, 42(07): 1439-1466.
- [10] Ni J, Young T, Pandealea V, et al. Recent advances in deep learning based dialogue systems: a systematic survey[J]. Artif. Intell. Rev., 2023, 56(4): 3055-3155.

- 
- [11] Deng L, Tür G, He X, et al. Use of kernel deep convex networks and end-to-end learning for spoken language understanding[C]. in: 2012 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT), Miami, FL, USA, December 2-5, 2012. IEEE, 2012: 210-215.
- [12] Tür G, Deng L, Hakkani-Tür D, et al. Towards deeper understanding: Deep convex networks for semantic utterance classification[C]. in: 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2012, Kyoto, Japan, March 25-30, 2012. IEEE, 2012: 5045-5048.
- [13] Sarikaya R, Hinton G E, Deoras A. Application of Deep Belief Networks for Natural Language Understanding[J]. IEEE ACM Trans. Audio Speech Lang. Process., 2014, 22(4): 778-784.
- [14] Ravuri S V, Stolcke A. Recurrent neural network and LSTM models for lexical utterance classification[C]. in: INTERSPEECH 2015, 16th Annual Conference of the International Speech Communication Association, Dresden, Germany, September 6-10, 2015. ISCA, 2015: 135-139.
- [15] Hashemi H B, Asiaee A, Kraft R. Query intent detection using convolutional neural networks[C]. in: International conference on web search and data mining, workshop on query understanding: vol. 23. 2016.
- [16] Lee J Y, Dernoncourt F. Sequential Short-Text Classification with Recurrent and Convolutional Neural Networks[C]. in: Knight K, Nenkova A, Rambow O. NAACL HLT 2016, The 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, San Diego California, USA, June 12-17, 2016. The Association for Computational Linguistics, 2016: 515-520.
- [17] Wu C, Hoi S C H, Socher R, et al. ToD-BERT: Pre-trained Natural Language Understanding for Task-Oriented Dialogues[J]. CoRR, 2020, abs/2004.06871. arXiv: 2004.06871.
- [18] Henderson M, Thomson B, Young S J. Deep Neural Network Approach for the Dialog State Tracking Challenge[C]. in: Proceedings of the SIGDIAL 2013 Conference, The 14th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue, 22-24 August 2013, SUPELEC, Metz, France. The Association for Computer Linguistics, 2013: 467-471.
- [19] Mrksic N, Séaghdha D Ó, Thomson B, et al. Multi-domain Dialog State Tracking us-

- ing Recurrent Neural Networks[C]. in: Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing of the Asian Federation of Natural Language Processing, ACL 2015, July 26-31, 2015, Beijing, China, Volume 2: Short Papers. The Association for Computer Linguistics, 2015: 794-799.
- [20] Mrksic N, Séaghdha D Ó, Wen T, et al. Neural Belief Tracker: Data-Driven Dialogue State Tracking[C]. in: Barzilay R, Kan M. Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2017, Vancouver, Canada, July 30 - August 4, Volume 1: Long Papers. Association for Computational Linguistics, 2017: 1777-1788.
- [21] Lei W, Jin X, Kan M, et al. Sequicity: Simplifying Task-oriented Dialogue Systems with Single Sequence-to-Sequence Architectures[C]. in: Gurevych I, Miyao Y. Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2018, Melbourne, Australia, July 15-20, 2018, Volume 1: Long Papers. Association for Computational Linguistics, 2018: 1437-1447.
- [22] Wang Y, Guo Y, Zhu S. Slot Attention with Value Normalization for Multi-Domain Dialogue State Tracking[C]. in: Webber B, Cohn T, He Y, et al. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2020, Online, November 16-20, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 3019-3028.
- [23] Zhang Z, Li X, Gao J, et al. Budgeted Policy Learning for Task-Oriented Dialogue Systems[C]. in: Korhonen A, Traum D R, Màrquez L. Proceedings of the 57th Conference of the Association for Computational Linguistics, ACL 2019, Florence, Italy, July 28- August 2, 2019, Volume 1: Long Papers. Association for Computational Linguistics, 2019: 3742-3751.
- [24] Takanobu R, Liang R, Huang M. Multi-Agent Task-Oriented Dialog Policy Learning with Role-Aware Reward Decomposition[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 625-638.
- [25] 黄民烈朱小燕. 对话管理中基于槽特征有限状态自动机的方法研究[J]. 计算机学报,

- 2004(08): 1092-1101.
- [26] Wen T, Gasic M, Kim D, et al. Stochastic Language Generation in Dialogue using Recurrent Neural Networks with Convolutional Sentence Reranking[C]. in: Proceedings of the SIGDIAL 2015 Conference, The 16th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue, 2-4 September 2015, Prague, Czech Republic. The Association for Computer Linguistics, 2015: 275-284.
- [27] Wen T, Gasic M, Mrksic N, et al. Multi-domain Neural Network Language Generation for Spoken Dialogue Systems[C]. in: Knight K, Nenkova A, Rambow O. NAACL HLT 2016, The 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, San Diego California, USA, June 12-17, 2016. The Association for Computational Linguistics, 2016: 120-129.
- [28] Li Y, Yao K, Qin L, et al. Slot-consistent NLG for Task-oriented Dialogue Systems with Iterative Rectification Network[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 97-106.
- [29] Brown T B, Mann B, Ryder N, et al. Language Models are Few-Shot Learners[C]. in: Larochelle H, Ranzato M, Hadsell R, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 33: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2020, NeurIPS 2020, December 6-12, 2020, virtual. 2020.
- [30] Devlin J, Chang M, Lee K, et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding[C]. in: Burstein J, Doran C, Solorio T. Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, NAACL-HLT 2019, Minneapolis, MN, USA, June 2-7, 2019, Volume 1 (Long and Short Papers). Association for Computational Linguistics, 2019: 4171-4186.
- [31] Raffel C, Shazeer N, Roberts A, et al. Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer[J]. J. Mach. Learn. Res., 2020, 21: 140:1-140:67.
- [32] Sutskever I, Vinyals O, Le Q V. Sequence to Sequence Learning with Neural Networks [C]. in: Ghahramani Z, Welling M, Cortes C, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 27: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2014,

- December 8-13 2014, Montreal, Quebec, Canada. 2014: 3104-3112.
- [33] Cho K, van Merriënboer B, Gülçehre Ç, et al. Learning Phrase Representations using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation[C]. in: Moschitti A, Pang B, Daelemans W. Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2014, October 25-29, 2014, Doha, Qatar, A meeting of SIGDAT, a Special Interest Group of the ACL. ACL, 2014: 1724-1734.
  - [34] Sordoni A, Bengio Y, Vahabi H, et al. A Hierarchical Recurrent Encoder-Decoder for Generative Context-Aware Query Suggestion[C]. in: Bailey J, Moffat A, Aggarwal C C, et al. Proceedings of the 24th ACM International Conference on Information and Knowledge Management, CIKM 2015, Melbourne, VIC, Australia, October 19 - 23, 2015. ACM, 2015: 553-562.
  - [35] Serban I V, Sordoni A, Lowe R, et al. A Hierarchical Latent Variable Encoder-Decoder Model for Generating Dialogues[C]. in: Singh S, Markovitch S. Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence, February 4-9, 2017, San Francisco, California, USA. AAAI Press, 2017: 3295-3301.
  - [36] Weston J, Chopra S, Bordes A. Memory Networks[C]. in: Bengio Y, LeCun Y. 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015, San Diego, CA, USA, May 7-9, 2015, Conference Track Proceedings. 2015.
  - [37] Sukhbaatar S, Szlam A, Weston J, et al. End-To-End Memory Networks[C]. in: Cortes C, Lawrence N D, Lee D D, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 28: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2015, December 7-12, 2015, Montreal, Quebec, Canada. 2015: 2440-2448.
  - [38] Vinyals O, Fortunato M, Jaitly N. Pointer Networks[C]. in: Cortes C, Lawrence N D, Lee D D, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 28: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2015, December 7-12, 2015, Montreal, Quebec, Canada. 2015: 2692-2700.
  - [39] Gu J, Lu Z, Li H, et al. Incorporating Copying Mechanism in Sequence-to-Sequence Learning[C]. in: Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2016, August 7-12, 2016, Berlin, Germany, Volume 1: Long Papers. The Association for Computer Linguistics, 2016.



- 
- [40] Balakrishnan A, Rao J, Upasani K, et al. Constrained Decoding for Neural NLG from Compositional Representations in Task-Oriented Dialogue[C]. in: Korhonen A, Traum D R, Màrquez L. Proceedings of the 57th Conference of the Association for Computational Linguistics, ACL 2019, Florence, Italy, July 28- August 2, 2019, Volume 1: Long Papers. Association for Computational Linguistics, 2019: 831-844.
- [41] Chen X, Xu J, Xu B. A Working Memory Model for Task-oriented Dialog Response Generation[C]. in: Korhonen A, Traum D R, Màrquez L. Proceedings of the 57th Conference of the Association for Computational Linguistics, ACL 2019, Florence, Italy, July 28- August 2, 2019, Volume 1: Long Papers. Association for Computational Linguistics, 2019: 2687-2693.
- [42] Gao S, Zhang Y, Ou Z, et al. Paraphrase Augmented Task-Oriented Dialog Generation [C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 639-649.
- [43] Wang W, Zhang J, Li Q, et al. Incremental Learning from Scratch for Task-Oriented Dialogue Systems[C]. in: Korhonen A, Traum D R, Màrquez L. Proceedings of the 57th Conference of the Association for Computational Linguistics, ACL 2019, Florence, Italy, July 28- August 2, 2019, Volume 1: Long Papers. Association for Computational Linguistics, 2019: 3710-3720.
- [44] Dai Y, Li H, Tang C, et al. Learning Low-Resource End-To-End Goal-Oriented Dialog for Fast and Reliable System Deployment[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 609-618.
- [45] He W, Yang M, Yan R, et al. Amalgamating Knowledge from Two Teachers for Task-oriented Dialogue System with Adversarial Training[C]. in: Webber B, Cohn T, He Y, et al. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2020, Online, November 16-20, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 3498-3507.
- [46] Zhang Y, Sun S, Galley M, et al. DIALOGPT : Large-Scale Generative Pre-training for

- Conversational Response Generation[C]. in: Celikyilmaz A, Wen T. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 270-278.
- [47] Radford A, Wu J, Child R, et al. Language models are unsupervised multitask learners [J]. OpenAI blog, 2019, 1(8): 9.
- [48] Adiwardana D, Luong M, So D R, et al. Towards a Human-like Open-Domain Chatbot [J]. CoRR, 2020, abs/2001.09977. arXiv: 2001.09977.
- [49] Roller S, Dinan E, Goyal N, et al. Recipes for Building an Open-Domain Chatbot[C]. in: Merlo P, Tiedemann J, Tsarfaty R. Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Main Volume, EACL 2021, Online, April 19 - 23, 2021. Association for Computational Linguistics, 2021: 300-325.
- [50] Bao S, He H, Wang F, et al. PLATO: Pre-trained Dialogue Generation Model with Discrete Latent Variable[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 85-96.
- [51] Lin X, Jian W, He J, et al. Generating Informative Conversational Response using Recurrent Knowledge-Interaction and Knowledge-Copy[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 41-52.
- [52] Wu S, Li Y, Zhang D, et al. Diverse and Informative Dialogue Generation with Context-Specific Commonsense Knowledge Awareness[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 5811-5820.
- [53] Majumder B P, Jhamtani H, Berg-Kirkpatrick T, et al. Like hiking? You probably enjoy nature: Persona-grounded Dialog with Commonsense Expansions[C]. in: Webber B, Cohn T, He Y, et al. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2020, Online, November 16-20, 2020. Association for

- Computational Linguistics, 2020: 9194-9206.
- [54] Moon S, Shah P, Kumar A, et al. OpenDialKG: Explainable Conversational Reasoning with Attention-based Walks over Knowledge Graphs[C]. in: Korhonen A, Traum D R, Màrquez L. Proceedings of the 57th Conference of the Association for Computational Linguistics, ACL 2019, Florence, Italy, July 28- August 2, 2019, Volume 1: Long Papers. Association for Computational Linguistics, 2019: 845-854.
- [55] Xu J, Wang H, Niu Z, et al. Conversational Graph Grounded Policy Learning for Open-Domain Conversation Generation[C]. in: Jurafsky D, Chai J, Schluter N, et al. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2020, Online, July 5-10, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 1835-1845.
- [56] Yang S, Zhang R, Erfani S M. GraphDialog: Integrating Graph Knowledge into End-to-End Task-Oriented Dialogue Systems[C]. in: Webber B, Cohn T, He Y, et al. Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP 2020, Online, November 16-20, 2020. Association for Computational Linguistics, 2020: 1878-1888.
- [57] 吕学强, 张剑, 穆天杨, 等. 嵌入知识语义的医疗领域对话系统[J]. 计算机工程与设计, 2023, 44(12): 3794-3799.
- [58] Wu S, Irsoy O, Lu S, et al. BloombergGPT: A Large Language Model for Finance[J]. CoRR, 2023, abs/2303.17564. arXiv: 2303.17564.
- [59] Zhang X, Yang Q. XuanYuan 2.0: A Large Chinese Financial Chat Model with Hundreds of Billions Parameters[C]. in: Frommholz I, Hopfgartner F, Lee M, et al. Proceedings of the 32nd ACM International Conference on Information and Knowledge Management, CIKM 2023, Birmingham, United Kingdom, October 21-25, 2023. ACM, 2023: 4435-4439.
- [60] Meng C, Ren P, Chen Z, et al. DukeNet: A Dual Knowledge Interaction Network for Knowledge-Grounded Conversation[C]. in: Huang J X, Chang Y, Cheng X, et al. Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR conference on research and development in Information Retrieval, SIGIR 2020, Virtual Event, China, July 25-30, 2020. ACM, 2020: 1151-1160.

- [61] Chen Y, Wang Z, Xing X, et al. BianQue: Balancing the Questioning and Suggestion Ability of Health LLMs with Multi-turn Health Conversations Polished by ChatGPT[J]. CoRR, 2023, abs/2310.15896. arXiv: 2310.15896.
- [62] Wang Y, Kordi Y, Mishra S, et al. Self-Instruct: Aligning Language Models with Self-Generated Instructions[C]. in: Rogers A, Boyd-Graber J L, Okazaki N. Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), ACL 2023, Toronto, Canada, July 9-14, 2023. Association for Computational Linguistics, 2023: 13484-13508.
- [63] Zhang X, Yang Q. Self-QA: Unsupervised Knowledge Guided Language Model Alignment[J]. CoRR, 2023, abs/2305.11952. arXiv: 2305.11952.
- [64] Wang H, Liu C, Xi N, et al. HuaTuo: Tuning LLaMA Model with Chinese Medical Knowledge[J]. CoRR, 2023, abs/2304.06975. arXiv: 2304.06975.
- [65] Ouyang L, Wu J, Jiang X, et al. Training language models to follow instructions with human feedback[C]. in: Koyejo S, Mohamed S, Agarwal A, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 35: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2022, NeurIPS 2022, New Orleans, LA, USA, November 28 - December 9, 2022. 2022.
- [66] Zeng A, Liu X, Du Z, et al. GLM-130B: An Open Bilingual Pre-trained Model[C]. in: The Eleventh International Conference on Learning Representations, ICLR 2023, Kigali, Rwanda, May 1-5, 2023. OpenReview.net, 2023.
- [67] Sun Y, Wang S, Feng S, et al. ERNIE 3.0: Large-scale Knowledge Enhanced Pre-training for Language Understanding and Generation[J]. CoRR, 2021, abs/2107.02137. arXiv: 2107.02137.
- [68] Bai J, Bai S, Chu Y, et al. Qwen Technical Report[J]. CoRR, 2023, abs/2309.16609. arXiv: 2309.16609.
- [69] Touvron H, Lavril T, Izacard G, et al. LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models[J]. CoRR, 2023, abs/2302.13971. arXiv: 2302.13971.
- [70] Yang A, Xiao B, Wang B, et al. Baichuan 2: Open Large-scale Language Models[J]. CoRR, 2023, abs/2309.10305. arXiv: 2309.10305.
- [71] Wei J, Wang X, Schuurmans D, et al. Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning

- in Large Language Models[C]. in: Koyejo S, Mohamed S, Agarwal A, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 35: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2022, NeurIPS 2022, New Orleans, LA, USA, November 28 - December 9, 2022. 2022.
- [72] Wang X, Wei J, Schuurmans D, et al. Self-Consistency Improves Chain of Thought Reasoning in Language Models[C]. in: The Eleventh International Conference on Learning Representations, ICLR 2023, Kigali, Rwanda, May 1-5, 2023. OpenReview.net, 2023.
- [73] Long J. Large Language Model Guided Tree-of-Thought[J]. CoRR, 2023, abs/2305.08291. arXiv: 2305.08291.
- [74] Yao Y, Li Z, Zhao H. Beyond Chain-of-Thought, Effective Graph-of-Thought Reasoning in Large Language Models[J]. CoRR, 2023, abs/2305.16582. arXiv: 2305.16582.
- [75] Lewis P S H, Perez E, Piktus A, et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks[C]. in: Larochelle H, Ranzato M, Hadsell R, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 33: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2020, NeurIPS 2020, December 6-12, 2020, virtual. 2020.
- [76] Liu N F, Lin K, Hewitt J, et al. Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts[J]. CoRR, 2023, abs/2307.03172. arXiv: 2307.03172.
- [77] Wei J, Bosma M, Zhao V Y, et al. Finetuned Language Models are Zero-Shot Learners [C]. in: The Tenth International Conference on Learning Representations, ICLR 2022, Virtual Event, April 25-29, 2022. OpenReview.net, 2022.
- [78] Li X L, Liang P. Prefix-Tuning: Optimizing Continuous Prompts for Generation[C]. in: Zong C, Xia F, Li W, et al. Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing, ACL/IJCNLP 2021, (Volume 1: Long Papers), Virtual Event, August 1-6, 2021. Association for Computational Linguistics, 2021: 4582-4597.
- [79] Lester B, Al-Rfou R, Constant N. The Power of Scale for Parameter-Efficient Prompt Tuning[C]. in: Moens M F, Huang X, Specia L, et al. Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Online: Association for Computational Linguistics, 2021: 3045-3059.
- [80] Liu X, Ji K, Fu Y, et al. P-Tuning v2: Prompt Tuning Can Be Comparable to Fine-tuning

- Universally Across Scales and Tasks[J]. CoRR, 2021, abs/2110.07602. arXiv: 2110.07602.
- [81] Hu E J, Shen Y, Wallis P, et al. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models [C]. in: The Tenth International Conference on Learning Representations, ICLR 2022, Virtual Event, April 25-29, 2022. OpenReview.net, 2022.
- [82] Li Y, Wei F, Zhao J, et al. RAIN: Your Language Models Can Align Themselves without Finetuning[J]. CoRR, 2023, abs/2309.07124. arXiv: 2309.07124.
- [83] Zheng R, Dou S, Gao S, et al. Secrets of RLHF in Large Language Models Part I: PPO [J]. CoRR, 2023, abs/2307.04964. arXiv: 2307.04964.
- [84] Dong H, Xiong W, Goyal D, et al. RAFT: Reward rAnked FineTuning for Generative Foundation Model Alignment[J]. CoRR, 2023, abs/2304.06767. arXiv: 2304.06767.
- [85] Yuan Z, Yuan H, Tan C, et al. RRHF: Rank Responses to Align Language Models with Human Feedback without tears[J]. CoRR, 2023, abs/2304.05302. arXiv: 2304.05302.
- [86] Cheng J, Liu X, Zheng K, et al. Black-Box Prompt Optimization: Aligning Large Language Models without Model Training[J]. CoRR, 2023, abs/2311.04155. arXiv: 2311.04155.
- [87] Rafailov R, Sharma A, Mitchell E, et al. Direct Preference Optimization: Your Language Model is Secretly a Reward Model[C]. in: Oh A, Naumann T, Globerson A, et al. Advances in Neural Information Processing Systems 36: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2023, NeurIPS 2023, New Orleans, LA, USA, December 10 - 16, 2023. 2023.
- [88] Liu T, Zhao Y, Joshi R, et al. Statistical Rejection Sampling Improves Preference Optimization[J]. CoRR, 2023, abs/2309.06657. arXiv: 2309.06657.
- [89] Bai Y, Kadavath S, Kundu S, et al. Constitutional AI: Harmlessness from AI Feedback [J]. CoRR, 2022, abs/2212.08073. arXiv: 2212.08073.
- [90] Li Z, Xu T, Zhang Y, et al. ReMax: A Simple, Effective, and Efficient Reinforcement Learning Method for Aligning Large Language Models[J]. CoRR, 2023, abs/2310.10505. arXiv: 2310.10505.
- [91] 宋凌云, 马卓源, 李战怀, 等. 面向金融风险预测的时序图神经网络综述[J]. 软件学报, 1-27.

- [92] 梁天新, 杨小平, 王良, 等. 基于强化学习的金融交易系统研究与发展[J]. 软件学报, 2019, 30(03): 845-864.
- [93] Malo P, Sinha A, Korhonen P J, et al. Good debt or bad debt: Detecting semantic orientations in economic texts[J]. J. Assoc. Inf. Sci. Technol., 2014, 65(4): 782-796.
- [94] Zhu F, Lei W, Huang Y, et al. TAT-QA: A Question Answering Benchmark on a Hybrid of Tabular and Textual Content in Finance[C]. in: Zong C, Xia F, Li W, et al. Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing, ACL/IJCNLP 2021, (Volume 1: Long Papers), Virtual Event, August 1-6, 2021. Association for Computational Linguistics, 2021: 3277-3287.
- [95] Feng D, Dai Y, Huang J, et al. Empowering Many, Biasing a Few: Generalist Credit Scoring through Large Language Models[J]. CoRR, 2023, abs/2310.00566. arXiv: 2310.00566.
- [96] Sinha A, Khandait T. Impact of News on the Commodity Market: Dataset and Results[J]. CoRR, 2020, abs/2009.04202. arXiv: 2009.04202.
- [97] TuShare[Z]. <https://github.com/waditu/tushare>. 2019.
- [98] King A. AKShare[Z]. <https://github.com/akfamily/akshare>. 2019.
- [99] Xiao S, Liu Z, Zhang P, et al. C-Pack: Packaged Resources To Advance General Chinese Embedding[J]. CoRR, 2023, abs/2309.07597. arXiv: 2309.07597.
- [100] Muennighoff N. SGPT: GPT Sentence Embeddings for Semantic Search[J]. CoRR, 2022, abs/2202.08904. arXiv: 2202.08904.
- [101] Wang N, Yang H, Wang C D. FinGPT: Instruction Tuning Benchmark for Open-Source Large Language Models in Financial Datasets[J]. NeurIPS Workshop on Instruction Tuning and Instruction Following, 2023.
- [102] Ho T K. The Random Subspace Method for Constructing Decision Forests[J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1998, 20(8): 832-844.
- [103] Rumelhart D E, Hinton G E, Williams R J. Learning representations by back-propagating errors[J]. nature, 1986, 323(6088): 533-536.
- [104] Hochreiter S, Schmidhuber J. Long Short-Term Memory[J]. Neural Comput., 1997, 9(8): 1735-1780.

- [105] Cox D R. The regression analysis of binary sequences[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology, 1958, 20(2): 215-232.
- [106] Chen T, Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System[C]. in: Krishnapuram B, Shah M, Smola A J, et al. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, San Francisco, CA, USA, August 13-17, 2016. ACM, 2016: 785-794.
- [107] Quinlan J R. C4.5: Programs for Machine Learning[M]. Morgan Kaufmann, 1993.
- [108] Xie Q, Han W, Zhang X, et al. PIXIU: A Large Language Model, Instruction Data and Evaluation Benchmark for Finance[J]. CoRR, 2023, abs/2306.05443. arXiv: 2306.05443.
- [109] Yang H, Liu X, Wang C D. FinGPT: Open-Source Financial Large Language Models [J]. CoRR, 2023, abs/2306.06031. arXiv: 2306.06031.
- [110] Touvron H, Martin L, Stone K, et al. Llama 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models[J]. CoRR, 2023, abs/2307.09288. arXiv: 2307.09288.
- [111] ES S, James J, Anke L E, et al. RAGAs: Automated Evaluation of Retrieval Augmented Generation[C]. in: Aletras N, Clercq O D. Proceedings of the 18th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, EACL 2024 - System Demonstrations, St. Julians, Malta, March 17-22, 2024. Association for Computational Linguistics, 2024: 150-158.
- [112] OpenAI. GPT-4 Technical Report[J]. CoRR, 2023, abs/2303.08774. arXiv: 2303.08774.
- [113] Zheng L, Chiang W L, Sheng Y, et al. Judging LLM-as-a-judge with MT-Bench and Chatbot Arena[Z]. 2023. arXiv: 2306.05685 [cs.CL].
- [114] Yang H, Liu X Y, Wang C D. FinGPT: Open-Source Financial Large Language Models [J]. FinLLM Symposium at IJCAI 2023, 2023.
- [115] Radford A, Narasimhan K, Salimans T, et al. Improving language understanding by generative pre-training[J]. 2018.
- [116] Schulman J, Wolski F, Dhariwal P, et al. Proximal Policy Optimization Algorithms[J]. CoRR, 2017, abs/1707.06347. arXiv: 1707.06347.



## 攻读博士/硕士学位期间取得的研究成果

一、已发表（包括已接受待发表）的论文，以及已投稿、或已成文打算投稿、或拟成文投稿的论文情况(只填写与学位论文内容相关的部分):

序号	发表或投稿刊物/会议名称	作者（仅注明第几作者）	发表年份	与学位论文哪一部分（章、节）相关	被索引收录情况
1	International Conference on Computational Linguistics (COLING), CCF-B 类会议	共同第一作者	2024	第三章	
2	Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), CCF-A 类会议	共同第一作者	2024	第三章	

注：1. 请在“作者”一栏填写本人是第几作者，例：“第一作者”或“导师第一，本人第二”等；  
2. 若文章未发表或未被接受，请在“发表年份”一栏据实填写“已投稿”，“拟投稿”。  
不够请另加页。

二、与学位内容相关的其它成果（包括专利、著作、获奖项目等）

1. 发明专利：已受理一项发明专利，导师第一发明人，本人第二发明人，2024