

面向通用场景的基于视觉-语言-动作大模型的具身移动操作方法研究

(清华大学攻读硕士学位研究生论文选题报告)

培养单位：深圳国际研究生院

项目名称：电子与通信工程

申请 人：刘昱杉

学 号：2024214103

指导教师：张晓平 教授

二〇二五年十一月

摘 要

论文的摘要是对论文研究内容和成果的高度概括。摘要应对论文所研究的问题及其研究目的进行描述，对研究方法和过程进行简单介绍，对研究成果和所得结论进行概括。摘要应具有独立性和自明性，其内容应包含与论文全文同等量的主要信息。使读者即使不阅读全文，通过摘要就能了解论文的总体内容和主要成果。

论文摘要的书写应力求精确、简明。切忌写成对论文书写内容进行提要的形式，尤其要避免“第 1 章……；第 2 章……；……”这种或类似的陈述方式。

关键词是为了文献标引工作、用以表示全文主要内容信息的单词或术语。关键词不超过 5 个，每个关键词中间用分号分隔。

关键词：关键词 1；关键词 2；关键词 3；关键词 4；关键词 5

Abstract

An abstract of a dissertation is a summary and extraction of research work and contributions. Included in an abstract should be description of research topic and research objective, brief introduction to methodology and research process, and summary of conclusion and contributions of the research. An abstract should be characterized by independence and clarity and carry identical information with the dissertation. It should be such that the general idea and major contributions of the dissertation are conveyed without reading the dissertation.

An abstract should be concise and to the point. It is a misunderstanding to make an abstract an outline of the dissertation and words “the first chapter”, “the second chapter” and the like should be avoided in the abstract.

Keywords are terms used in a dissertation for indexing, reflecting core information of the dissertation. An abstract may contain a maximum of 5 keywords, with semi-colons used in between to separate one another.

Keywords: keyword 1; keyword 2; keyword 3; keyword 4; keyword 5

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
第 1 章 课题背景与意义	1
1.1 具身移动操作的研究背景	1
1.2 课题来源	2
1.3 具身移动操作方法的研究意义	2
第 2 章 国内外研究现状及分析	4
2.1 具身导航方法发展现状	4
第 3 章 数学符号和公式	5
3.1 数学符号	5
3.2 数学公式	6
3.3 数学定理	6
第 4 章 引用文献的标注	7
4.1 顺序编码制	7
4.2 著者-出版年制	7
参考文献	8
附录 A 补充内容	11
个人简历、在学期间完成的相关学术成果	13

第1章 课题背景与意义

1.1 具身移动操作的研究背景

具身移动操作 (Embodied Mobile Manipulation) 的核心目标是在真实或高保真拟真环境中实现“感知—理解—规划—控制”的闭环，使智能体能够依据自然语言或任务指令自主完成各种操作任务。这通常需要机器人具备完备的环境感知与理解，并根据任务类型和操作空间范围实现自主移动与操作规划。在面向实际通用场景（如家庭、实验室与仓储）中，操作任务并非单一的导航或单一的操作，而是先在未知或半未知空间中移动到合理的语义上下文（例如工作台、目标设备或特定区域），继而完成各种如抓取、开关、插拔、放置等精细动作。因此，面向通用的具身移动操作，更要求机器人在各种复杂场景下，实现稳定的任务执行，并具备跨任务与跨环境的泛化能力、对感知噪声与动态扰动的不敏感与鲁棒性，以及在语义指令驱动下将导航与精细操作一体化闭环（如主动感知、约束安全与失败恢复）的能力。

近年来，基于通用模型 (Foundation Model) 驱动的具身移动和操作分别取得了有效的进展。在移动方面，视觉-语言-导航 (Visual-Language-Navigation, VLN) 在从语言到可达目标的路径规划方面实现了丰富的积累，在仿真和真机中呈现出令人印象深刻的效果；同时，无论是基于模仿学习 (Imitation Learning, IL) 还是离线强化学习 (Offline Reinforcement Learning, RL) 的操作方法，在对象识别、姿态估计、抓取规划等方面都取得了显著的进展，并在真实机器人平台上得到了验证。然而，在移动操作任务中，移动和操作之间存在不可忽视的强耦合：移动阶段所形成的视角、距离与遮挡关系直接决定了后续操作的观测质量与可达性，而操作对目标物体、姿态与约束的先验又会反过来影响移动的策略选择与路径代价。因此，仅在导航或操作单一子任务上取得进展，并不足以保证端到端任务的成功率、稳定性和泛化能力。

与此同时，以视觉-语言-动作 (Visual-Language-Action, VLA) 为代表的大模型在指令理解、情景推理与跨任务迁移上展现出统一表达与泛化能力，通过将开放式语言意图与感知结果对齐为可执行中间表示并生成带约束的分层技能序列，从而支撑“从语言到动作”的一体化规划与在动态噪声下的鲁棒重规划，为“从语言到可执行子目标与技能序列”的一体化规划提供了新的可行性。因此，如何将大模型的语义优势落地为低层可控、可验证的移动与操作策略，并在扰动与不确定条件下保持鲁棒，是当前研究的重要方向。

1.2 课题来源

近年来，随着服务机器人、实验室助理机器人等应用的推进，机器人在室内环境中“既能自主移动，又能完成抓取、放置、开关等操作”的需求逐渐增加。无论是在家居、办公室，还是在实验室等典型室内场景中，机器人往往需要先在环境中移动到合适的位置，再对目标物体或设备执行相应操作，这类“具身移动操作”任务逐渐成为智能机器人研究中的一个重要方向。与此同时，多模态基础模型和视觉-语言-动作大模型的发展，使得机器人有可能在同一模型框架下处理视觉、语言与动作信息，从自然语言指令出发完成环境理解和行为生成，这为改进现有移动操作方法提供了新的思路。

然而，现在很多工作要么只关注固定机械臂的操作，要么只针对局部、小范围的导航任务；即便有部分移动操作系统可以完成端到端任务，其方法多半针对特定场景或特定任务进行定制，对视觉、语言与动作的统一建模和可扩展性仍然有限。在这种背景下，围绕“基于视觉-语言-动作大模型的具身移动操作方法”开展研究，一方面可以呼应当前多模态大模型在机器人领域落地的趋势，另一方面也有助于提升机器人在典型通用场景中的任务执行能力。

本课题“面向通用场景的基于视觉-语言-动作大模型的具身移动操作方法研究”主要面向各类通用场景（如家庭、实验室与仓储等）中具有代表性的移动操作任务，重点关注如何利用视觉-语言-动作大模型统一处理指令理解、环境感知和移动/操作决策问题。课题的提出一方面源于当前具身智能与大模型结合的研究动向，另一方面也基于前期在视觉-语言导航（VLN）和具身操作方面已有的算法和系统积累，希望在此基础上进一步探索一种具有一定通用性、但仍然可控可实现的具身移动操作方法。

1.3 具身移动操作方法的研究意义

从学术研究角度看，围绕“面向通用场景的基于视觉-语言-动作大模型的具身移动操作方法”开展系统研究，有望在以下几个方面形成有价值的探索：一是通过引入统一的中间表示，将自然语言指令、环境语义信息与可执行动作在同一框架下对齐，为移动与操作的协同规划提供更清晰的语义—几何映射途径；二是基于视觉-语言-动作大模型，将指令理解、情景推理与技能序列生成结合起来，探索从“语言—感知—动作”的端到端一体化方法，为具身智能中高层语义推理与低层控制之间的连接提供新的思路；三是面向典型通用场景，系统分析移动与操作强耦合带来的问题，设计相应的鲁棒策略与评测指标，为今后更大规模、更复杂场景下的具身移动操作研究打下方法和系统基础。

从应用需求角度看，本课题的研究有望为实验室助理机器人、物流仓储机器人乃至面向家居服务机器人的具身移动操作任务提供可落地的技术方案。通过提升机器人在通用场景中的整体能力，可以在一定程度上减少对场景的人工改造与精细规则设计，降低系统部署和维护成本。同时，得益于视觉-语言-动作大模型的统一建模能力，所提出的方法在后续扩展到新任务、新物体或新环境时，具有更好的可迁移性和可扩展性。

第2章 国内外研究现状及分析

2.1 具身导航方法发展现状

近年来，面向落地应用的导航技术经历了从传统移动机器人导航到具身导航（Embodied Navigation）的持续演进。传统移动机器人导航在建图、定位与路径规划等模块上已经形成了较为成熟的理论和工程体系^[1-2]，在室内服务机器人、AGV等场景中普遍应用，但其最直接的缺陷在于：其对语义理解和复杂交互的支持有限，无法满足指令驱动的移动操作的需求。随着大语言模型（Large Language Model, LLM）的提出与发展，研究逐渐转向“在未知或半未知环境中一边感知、一边交互、一边优化导航策略”的具身导航范式，强调利用本体传感器主动探索、在线构建语义地图与对象级表示^[3-5]。在感知模态上，出现了以纯视觉为主的具身视觉导航（Embodied Visual Navigation, E-VN）任务，如 PointNav、ImageNav 和 ObjectNav 等^[6-7]，以及进一步引入语言指令约束的视觉-语言导航（VLN），使机器人能够在仿真和真实环境中根据自然语言描述执行跨房间导航与目标搜索^[8-9]，依托 Habitat 等高保真平台开展系统评测^[10]，在纯 RGB 或 RGB-D 输入下实现了从“到坐标”到“到物体/到语义位置”的能力提升。与此同时，针对真实复杂环境中单一传感器易受遮挡和噪声影响的问题，大量工作探索了激光雷达、相机、IMU 等多源传感器融合导航方案，通过深度学习和强化学习对多模态信息进行联合建模，以提高定位精度和动态环境下的鲁棒性^[11-12]。

在产业界，以自动驾驶为代表的车企和出行公司则在大规模道路数据和强算力平台支撑下，形成了两条具有代表性的落地路线：一类以多传感器冗余为特点（如摄像头 + 激光雷达 + 高精地图）的模块化感知-规划-控制栈，强调安全冗余和可解释性；另一类则以特斯拉 FSD v12 及后续版本为代表，采用“从像素到控制”的端到端视频 Transformer，仅依赖多路摄像头进行感知与决策，在真实道路上大规模部署并不断通过在线数据闭环迭代^[13-14]。

总体来看，这些从传统导航到具身导航、从纯视觉到多模态融合、从模块化到端到端的技术演进，为具身移动操作中的“先走到哪儿再动手”提供了坚实的导航基础。

第3章 数学符号和公式

3.1 数学符号

中文论文的数学符号默认遵循 GB/T 3102.11—1993《物理科学和技术中使用的数学符号》^①。该标准参照采纳 ISO 31-11:1992^②，但是与 \TeX 默认的美国数学学会（AMS）的符号习惯有所区别。具体地来说主要有以下差异：

1. 大写希腊字母默认为斜体，如

$$\Gamma \Delta \Theta \Lambda \Xi \Pi \Sigma \Upsilon \Phi \Psi \Omega.$$

注意有限增量符号 Δ 固定使用正体，模板提供了 `\increment` 命令。

2. 小于等于号和大于等于号使用倾斜的字形 \leqslant 、 \geqslant 。
3. 积分号使用正体，比如 \int 、 \oint 。
4. 偏微分符号 ∂ 使用正体。
5. 省略号 `\dots` 按照中文的习惯固定居中，比如

$$1, 2, \dots, n \quad 1 + 2 + \dots + n.$$

6. 实部 Re 和虚部 Im 的字体使用罗马体。

以上数学符号样式的差异可以在模板中统一设置。另外国标还有一些与 AMS 不同的符号使用习惯，需要用户在写作时进行处理：

1. 数学常数和特殊函数名用正体，如

$$\pi = 3.14 \cdots; \quad i^2 = -1; \quad e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n.$$

2. 微分号使用正体，比如 dy/dx 。
3. 向量、矩阵和张量用粗斜体（`\mathbf`），如 \mathbf{x} 、 $\boldsymbol{\Sigma}$ 、 \boldsymbol{T} 。
4. 自然对数用 $\ln x$ 不用 $\log x$ 。

英文论文的数学符号使用 \TeX 默认的样式。如果有必要，也可以通过设置 `math-style` 选择数学符号样式。

关于量和单位推荐使用 `siunitx` 宏包，可以方便地处理希腊字母以及数字与单位之间的空白，比如： $6.4 \times 10^6 \text{ m}$, $9 \mu\text{m}$, kg m s^{-1} , $10^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ 。

^① 原 GB 3102.11—1993，自 2017 年 3 月 23 日起，该标准转为推荐性标准。

^② 目前已更新为 ISO 80000-2:2019。

3.2 数学公式

数学公式可以使用 `equation` 和 `equation*` 环境。注意数学公式的引用应前后带括号，通常使用 `\eqref` 命令，比如式 (3.1)。

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} f = \sum_{k=1}^m n(\gamma; a_k) \mathcal{R}(f; a_k). \quad (3.1)$$

多行公式尽可能在“=”处对齐，推荐使用 `align` 环境。

$$a = b + c + d + e \quad (3.2)$$

$$= f + g \quad (3.3)$$

3.3 数学定理

定理环境的格式可以使用 `amsthm` 或者 `ntheorem` 宏包配置。用户在导言区载入这两者之一后，模板会自动配置 `theorem`、`proof` 等环境。

定理 3.1 (Lindeberg–Lévy 中心极限定理): 设随机变量 X_1, X_2, \dots, X_n 独立同分布，且具有期望 μ 和有限的方差 $\sigma^2 \neq 0$ ，记 $\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ ，则

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\frac{\sqrt{n}(\bar{X}_n - \mu)}{\sigma} \leq z\right) = \Phi(z), \quad (3.4)$$

其中 $\Phi(z)$ 是标准正态分布的分布函数。

证明 Trivial. ■

同时模板还提供了 `assumption`、`definition`、`proposition`、`lemma`、`theorem`、`axiom`、`corollary`、`exercise`、`example`、`remark`、`problem`、`conjecture` 这些相关的环境。

第4章 引用文献的标注

模板支持 BibTeX 和 BibLaTeX 两种方式处理参考文献。下文主要介绍 BibTeX 配合 `natbib` 宏包的主要使用方法。

4.1 顺序编码制

在顺序编码制下，默认的 `\cite` 命令同 `\citet` 一样，序号置于方括号中，引文页码会放在括号外。统一处引用的连续序号会自动用短横线连接。

<code>\cite{zhangkun1994}</code>	⇒ [15]
<code>\citet{zhangkun1994}</code>	⇒ 张昆等[15]
<code>\citep{zhangkun1994}</code>	⇒ [15]
<code>\cite[42]{zhangkun1994}</code>	⇒ [15]42
<code>\cite{zhangkun1994, zhukezhen1973}</code>	⇒ [15-16]

也可以取消上标格式，将数字序号作为文字的一部分。建议全文统一使用相同的格式。

<code>\cite{zhangkun1994}</code>	⇒ [15]
<code>\citet{zhangkun1994}</code>	⇒ 张昆等[15]
<code>\citep{zhangkun1994}</code>	⇒ [15]
<code>\cite[42]{zhangkun1994}</code>	⇒ [15] ⁴²
<code>\cite{zhangkun1994, zhukezhen1973}</code>	⇒ [15-16]

4.2 著者-出版年制

著者-出版年制下的 `\cite` 跟 `\citet` 一样。

<code>\cite{zhangkun1994}</code>	⇒ 张昆等(1994)
<code>\citet{zhangkun1994}</code>	⇒ 张昆等(1994)
<code>\citep{zhangkun1994}</code>	⇒ (张昆等, 1994)
<code>\cite[42]{zhangkun1994}</code>	⇒ (张昆等, 1994) ⁴²
<code>\citep{zhangkun1994, zhukezhen1973}</code>	⇒ (张昆等, 1994; 竺可桢, 1973)

注意，引文参考文献的每条都要在正文中标注^[15-48]。

参考文献

- [1] 姚陈鹏, 石文博, 刘成菊, 等. 移动机器人导航技术综述[J]. 中国科学: 信息科学, 2023, 53(12): 2303-2324.
- [2] Abdulsahib J A, Kadhim D J. Classical and heuristic approaches for mobile robot path planning: A survey[J]. Robotics, 2023, 12(4): 93.
- [3] Wu Y, Zhang P, Gu M, et al. Embodied navigation with multi-modal information: A survey from tasks to methodology[J]. Information Fusion, 2024, 112: 102532.
- [4] 王文晟, 谭宁, 黄凯, 等. 基于大模型的具身智能系统综述[J]. 自动化学报, 2025, 51(1): 1-19.
- [5] 高超, 杨莹, 陈世超, 等. 多模态模型驱动的具身智能研究综述[J]. 智能感知工程, 2025, 2(2): 1-12.
- [6] Krantz J, Maksymets O, Gokaslan A, et al. Instance-specific image goal navigation: Training embodied agents to find object instances[A]. 2022.
- [7] Chaplot D S, Gandhi D P, Gupta A, et al. Object goal navigation using goal-oriented semantic exploration[C]//Larochelle H, Ranzato M, Hadsell R, et al. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). Curran Associates, Inc., 2020: 4247-4258.
- [8] Anderson P, Wu Q, Teney D, et al. Vision-and-language navigation: Interpreting visually-grounded navigation instructions in real environments[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE Computer Society, 2018.
- [9] Gu J, Stefani E, Wu Q, et al. Vision-and-language navigation: A survey of tasks, methods, and future directions[C]//Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). Dublin, Ireland: Association for Computational Linguistics, 2022.
- [10] Savva M, Kadian A, Maksymets O, et al. Habitat: A platform for embodied ai research[C]//Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). Seoul, Korea: IEEE Computer Society, 2019.
- [11] Huang K, Shi B, Li X, et al. Multi-modal sensor fusion for auto driving perception: A survey [A]. 2022.
- [12] Zhang Y, Ma Z, Li J, et al. Vision-and-language navigation today and tomorrow: A survey in the era of foundation models[A]. 2024.
- [13] Waymo. Waymo self-driving technology overview[EB/OL]. 2023[2025-11-13]. <https://waymo.com/tech/>.
- [14] Karpathy A, Tesla Autopilot Team. Tesla full self-driving (fsd) v12 end-to-end neural network architecture[EB/OL]. 2023[2025-11-13]. <https://www.tesla.com/AI>.
- [15] 张昆, 冯立群, 余昌钰, 等. 机器人柔性手腕的球面齿轮设计研究[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1994, 34(2): 1-7.
- [16] 竺可桢. 物理学论[M]. 北京: 科学出版社, 1973: 56-60.

- [17] Dupont B. Bone marrow transplantation in severe combined immunodeficiency with an unrelated mlc compatible donor[C]//White H J, Smith R. Proceedings of the third annual meeting of the International Society for Experimental Hematology. Houston: International Society for Experimental Hematology, 1974: 44-46.
- [18] 郑开青. 通讯系统模拟及软件[D]. 北京: 清华大学无线电系, 1987.
- [19] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案: 中国, 88105607.3[P]. 1980-07-26.
- [20] 中华人民共和国国家技术监督局. GB3100-3102. 中华人民共和国国家标准-量与单位[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [21] Merkt F, Mackenzie S R, Softley T P. Rotational autoionization dynamics in high rydberg states of nitrogen[J]. *J Chem Phys*, 1995, 103: 4509-4518.
- [22] Mellinger A, Vidal C R, Junge C. Laser reduced fluorescence study of the carbon monoxide nd triplet rydberg series - experimental results and multichannel quantum defect analysis[J]. *J Chem Phys*, 1996, 104: 8913-8921.
- [23] Bixon M, Jortner J. The dynamics of predissociating high Rydberg states of NO[J]. *J Chem Phys*, 1996, 105: 1363-1382.
- [24] 马辉, 李俭, 刘耀明, 等. 利用 REMPI 方法测量 BaF 高里德堡系列光谱[J]. 化学物理学报, 1995, 8: 308-311.
- [25] Carlson N W, Taylor A J, Jones K M, et al. Two-step polarization-labeling spectroscopy of excited states of Na2[J]. *Phys Rev A*, 1981, 24: 822-834.
- [26] Taylor A J, Jones K M, Schawlow A L. Scanning pulsed-polarization spectrometer applied to Na2[J]. *J Opt Soc Am*, 1983, 73: 994-998.
- [27] Taylor A J, Jones K M, Schawlow A L. A study of the excited $1\Sigma^+$ states in Na2[J]. *Opt Commun*, 1981, 39: 47-50.
- [28] Shimizu K, Shimizu F. Laser induced fluorescence spectra of the a $3\Pi_u$ -X $1\Sigma^+$ band of Na2 by molecular beam[J]. *J Chem Phys*, 1983, 78: 1126-1131.
- [29] Atkinson J B, Becker J, Demtröder W. Experimental observation of the a $3\Pi_u$ state of Na2[J]. *Chem Phys Lett*, 1982, 87: 92-97.
- [30] Kusch P, Hessel M M. Perturbations in the a $1\Sigma^+$ state of Na2[J]. *J Chem Phys*, 1975, 63: 4087-4088.
- [31] 广西壮族自治区林业厅. 广西自然保护区[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [32] 霍斯尼. 谷物科学与工艺学原理[M]. 李庆龙, 译. 2 版. 北京: 中国食品出版社, 1989: 15-20.
- [33] 王夫之. 宋论[M]. 刻本. 金陵: 曾氏, 1865 (清同治四年) .
- [34] 赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北: 天下文化出版社, 1998[1998-09-26]. <http://www.ie.nthu.edu.tw/info/ie.newie.htm>.
- [35] 全国信息与文献工作标准化技术委员会出版物格式分委员会. GB/T 12450-2001 图书书名页[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 1.
- [36] 全国出版专业职业资格考试办公室. 全国出版专业职业资格考试辅导教材: 出版专业理论与实务·中级[M]. 2014 版. 上海: 上海辞书出版社, 2004: 299-307.

- [37] World Health Organization. Factors regulating the immune response: Report of WHO Scientific Group[R]. Geneva: WHO, 1970.
- [38] Peebles P Z, Jr. Probability, random variables, and random signal principles[M]. 4th ed. New York: McGraw Hill, 2001.
- [39] 白书农. 植物开花研究[M]//李承森. 植物科学进展. 北京: 高等教育出版社, 1998: 146-163.
- [40] Weinstein L, Swertz M N. Pathogenic properties of invading microorganism[M]//Sodeman W A, Jr, Sodeman W A. Pathologic physiology: mechanisms of disease. Philadelphia: Saunders, 1974: 745-772.
- [41] 韩吉人. 论职工教育的特点[C]//中国职工教育研究会. 职工教育研究论文集. 北京: 人民教育出版社, 1985: 90-99.
- [42] 中国地质学会. 地质评论[J]. 1936, 1(1)–. 北京: 地质出版社, 1936–.
- [43] 中国图书馆学会. 图书馆学通讯[J]. 1957(1)–1990(4). 北京: 北京图书馆, 1957–1990.
- [44] American Association for the Advancement of Science. Science[J]. 1883, 1(1)–. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science, 1883–.
- [45] 傅刚, 赵承, 李佳路. 大风沙过后的思考[N/OL]. 北京青年报, 2000-04-12(14)[2002-03-06]. <http://www.bjyouth.com.cn/Bqb/20000412/B/4216%5ED0412B1401.htm>.
- [46] 萧钰. 出版业信息化迈入快车道[EB/OL]. (2001-12-19)[2002-04-15]. <http://www.creader.com/news/20011219/200112190019.htm>.
- [47] Online Computer Library Center, Inc. About OCLC: History of cooperation[EB/OL]. 2000 [2000-01-08]. <http://www.oclc.org/about/cooperation.en.htm>.
- [48] Scitor Corporation. Project scheduler[CP/DK]. Sunnyvale, Calif.: Scitor Corporation, 1983.

附录 A 补充内容

附录是与论文内容密切相关、但编入正文又影响整篇论文编排的条理和逻辑性的资料，例如某些重要的数据表格、计算程序、统计表等，是论文主体的补充内容，可根据需要设置。

附录中的图、表、数学表达式、参考文献等另行编序号，与正文分开，一律用阿拉伯数字编码，但在数码前冠以附录的序号，例如“图 A.1”，“表 A.1”，“式 (A.1)”等。

A.1 插图

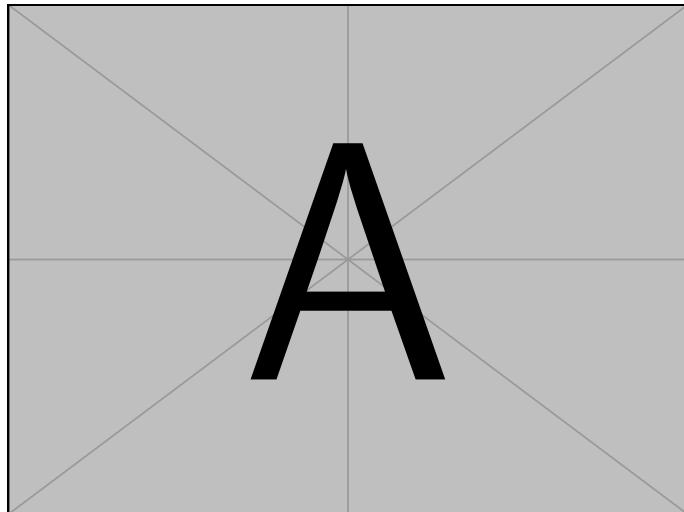


图 A.1 附录中的图片示例

A.2 表格

A.3 数学表达式

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} f = \sum_{k=1}^m n(\gamma; a_k) \mathcal{R}(f; a_k) \quad (\text{A.1})$$

A.4 文献引用

附录[A.1] 中的参考文献引用[A.2]示例[A.1-A.2]。

表 A.1 附录中的表格示例

文件名	描述
thuthesis.dtx	模板的源文件，包括文档和注释
thuthesis.cls	模板文件
thuthesis-*.bst	BibTeX 参考文献表样式文件
thuthesis-*.bbx	BibLaTeX 参考文献表样式文件
thuthesis-*.cbx	BibLaTeX 引用样式文件

参考文献

- [A.1] Dupont B. Bone marrow transplantation in severe combined immunodeficiency with an unrelated mlc compatible donor[C]//White H J, Smith R. Proceedings of the third annual meeting of the International Society for Experimental Hematology. Houston: International Society for Experimental Hematology, 1974: 44-46.
- [A.2] 郑开青. 通讯系统模拟及软件[D]. 北京: 清华大学无线电系, 1987.

个人简历、在学期间完成的相关学术成果

个人简历

2003 年 9 月 11 日出生于吉林省蛟河市。

2020 年 9 月考入吉林大学电子科学与工程学院电子信息科学与技术专业,2024 年 6 月本科毕业并获得理学学士学位。

2024 年 9 月考入清华大学深圳国际研究生院, 攻读电子与通信工程硕士至今。

在学期间完成的相关学术成果

学术论文：

- [1] **Liu Y**, Mu S, Chao X, et al. AVR: Active Vision-Driven Precise Robot Manipulation with Viewpoint and Focal Length Optimization.
- [2] Chao X, Mu S, **Liu Y**, et al. Exo-ViHa: A Cross-Platform Exoskeleton System with Visual and Haptic Feedback for Efficient Dexterous Skill Learning.
- [3] Li S, **Liu Y**, Chao X, et al. ALARMbot: Autonomous Laboratory Safety Inspection and Operable Hazard Intervention Robot Enabled by Foundation Models.