



本科毕业设计 (论文)



题 目: 湖南工商大学学位论文

学生姓名: 张三

学 号: 2212223334

专 业: 通信工程

班 级: 通信工程 2201 班

指导老师: 王五 教授

计算机学院

2023 年 5 月

湖南工商大学本科毕业设计诚信声明

本人郑重声明：所呈交的本科毕业设计 湖南工商大学学位论文 L^AT_EX 模板使用示例 v0.1 是本人在指导老师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，成果不存在知识产权争议，除文中已经注明引用的内容外，本设计不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本设计做出重要贡献的个人和集体均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名: _____
日 期: _____ 年 月 日

摘要

随着人工智能和自动驾驶技术的迅猛发展，传统的测试与验证方法已无法满足复杂多变的驾驶环境需求。数字孪生技术作为一种新兴的仿真手段，通过构建与现实世界相对应的虚拟模型，为自动驾驶系统提供了高效、安全的测试平台。数字孪生能够实时反映物理实体的状态，支持对车辆动态、环境变化等多方面的精准模拟，从而为自动驾驶算法的训练与优化提供丰富的数据支持。强化学习作为一种自我学习的智能算法，能够在不断变化的环境中优化决策过程。将数字孪生与强化学习相结合，不仅可以加速自动驾驶系统的开发与验证，还能提升其在复杂场景下的适应能力和安全性。研究基于数字孪生的自动驾驶强化学习仿真系统具有重要的理论意义和实际应用价值。

本文旨在探讨基于数字孪生的自动驾驶强化学习仿真系统的设计与实现。随着自动驾驶技术的快速发展，传统的测试与验证方法已无法满足日益复杂的驾驶环境和多样化的驾驶场景需求。数字孪生技术作为一种新兴的仿真手段，通过构建与现实世界相对应的虚拟模型，为自动驾驶系统提供了一个高效、安全的测试平台。本文首先回顾了自动驾驶技术的发展历程，分析了数字孪生的基本概念及其在自动驾驶领域的应用潜力。深入探讨了强化学习的基本原理及其在自动驾驶中的重要性，强调了通过强化学习算法优化自动驾驶决策的必要性。

在此基础上，本文提出了一种结合数字孪生与强化学习的仿真系统框架，详细描述了系统的架构设计、功能模块及实现过程。通过构建一个真实环境的数字孪生模型，系统能够在虚拟环境中进行大量的驾驶场景仿真，进而加速强化学习的训练过程。实验结果表明，该系统在提高自动驾驶决策的准确性与稳定性方面具有显著优势。本文还讨论了系统在实际应用中的挑战与未来发展方向，指出了数据稀缺、收敛性等问题的解决方案，为后续研究提供了参考。基于数字孪生的自动驾驶强化学习仿真系统不仅为自动驾驶技术的验证与优化提供了新的思路，也为相关领域的研究者提供了有价值的实践经验。

关键词：数字孪生 自动驾驶 强化学习 仿真系统 决策优化

ABSTRACT

With the rapid development of artificial intelligence and autonomous driving technology, traditional testing and validation methods can no longer meet the demands of complex and variable driving environments. Digital twin technology, as an emerging simulation method, provides an efficient and safe testing platform for autonomous driving systems by constructing virtual models that correspond to the real world. Digital twins can reflect the state of physical entities in real-time, supporting precise simulations of various aspects such as vehicle dynamics and environmental changes, thereby providing rich data support for the training and optimization of autonomous driving algorithms. Reinforcement learning, as a self-learning intelligent algorithm, can optimize decision-making processes in constantly changing environments. Combining digital twins with reinforcement learning can not only accelerate the development and validation of autonomous driving systems but also enhance their adaptability and safety in complex scenarios. Researching a digital twin-based reinforcement learning simulation system for autonomous driving has significant theoretical significance and practical application value.

This article aims to explore the design and implementation of a digital twin-based reinforcement learning simulation system for autonomous driving. With the rapid development of autonomous driving technology, traditional testing and validation methods can no longer meet the increasingly complex driving environments and diverse driving scenarios. Digital twin technology, as an emerging simulation method, provides an efficient and safe testing platform for autonomous driving systems by constructing virtual models corresponding to the real world. This article first reviews the development history of autonomous driving technology, analyzes the basic concepts of digital twins and their application potential in the field of autonomous driving. It delves into the basic principles of reinforcement learning and its importance in autonomous driving, emphasizing the necessity of optimizing autonomous driving decisions through reinforcement learning algorithms.

On this basis, the article proposes a simulation system framework that combines digital twins and reinforcement learning, detailing the system's architectural design, functional modules, and implementation process. By constructing a digital twin model of a real environment, the system can simulate a large number of driving scenarios in a virtual environment, thereby accelerating the reinforcement learning training process. Experimental results show that the

system has significant advantages in improving the accuracy and stability of autonomous driving decisions. The article also discusses the challenges and future development directions of the system in practical applications, pointing out solutions to issues such as data scarcity and convergence, providing references for subsequent research. The digital twin-based reinforcement learning simulation system for autonomous driving not only offers new ideas for the validation and optimization of autonomous driving technology but also provides valuable practical experience for researchers in related fields.

Key words: Digital Twin Autonomous Driving Reinforcement Learning Simulation System; Decision Optimization

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	1
1.2.1 理论意义	1
1.2.2 现实意义	1
1.3 国内外研究现状	2
1.3.1 目标检测研究现状	2
1.3.2 目标跟踪研究现状	3
1.3.3 意图分析研究现状	5
1.3.4 本文结构框架	5
第 2 章 图表示例	7
2.1 图片与布局	7
2.1.1 插图	7
2.1.2 横向布局	7
2.2 纵向布局	8
2.3 竖排多图横排布局	8
2.4 横排多图竖排布局	8
第 3 章 表格插入示例	10
第 4 章 公式插入示例	11
第 5 章 引用文献标注	12
5.1 顺序编码	12
5.2 获取 BibTeX 格式索引	12
5.3 参考文献插入示例	12
致谢	13
附录 A 附录代码	14
A.1 堆溢出检测算法	14
A.2 KMP 算法 C++ 描述	14
附录 B 康托尔辩辞录：数学的自由与制约	17

第1章 绪论

1.1 研究背景

随着人工智能和计算机视觉技术的飞速发展，自动驾驶逐渐成为交通运输领域的核心研究方向。车辆需要通过视觉感知系统实时获取周围环境信息，包括行人、车辆、交通信号灯及障碍物等，以为路径规划和车辆控制提供支持。目标检测与目标跟踪作为环境感知的重要组成部分，不仅需要高效识别目标的位置，还需结合目标轨迹与运动趋势进行深入分析，尤其是在复杂交通场景下对潜在危险的判断更为关键。

近年来，YOLO (You Only Look Once) 系列目标检测算法凭借高效的实时性能，成为自动驾驶领域广泛采用的技术。然而，在动态交通环境中，单纯的目标检测无法满足对目标行为的全面理解和预测需求。因此，将目标跟踪与意图分析结合，通过运动趋势和行为预测进一步增强系统的决策能力，是当前研究的热点方向。

在目标跟踪中，DeepSORT 等算法能够通过轨迹关联和状态估计，实时获取目标的位置、速度和运动方向，为行为意图的推断提供基础。在意图分析中，基于相对速度和轨迹趋势的计算，可以有效判断目标是否接近或远离本车，并结合时间到碰撞 (Time-to-Collision, TTC) 等指标量化潜在风险。此外，卡尔曼滤波、交互多模型 (IMM) 滤波器等经典方法在轨迹预测中表现出稳定性，而深度学习模型如 LSTM、Transformer 在复杂场景下具有更高的预测精度。

本文基于 YOLO 目标检测算法，结合多目标跟踪与意图分析，提出一种适用于自动驾驶场景的综合解决方案。通过实时检测和跟踪动态目标，并分析其运动趋势和潜在意图，为自动驾驶车辆的安全决策和路径优化提供有力支持。

1.2 研究意义

1.2.1 理论意义

基于 YOLO 目标检测的多目标跟踪与意图分析研究，将进一步深化深度学习技术在自动驾驶环境感知中的应用。通过结合目标检测、轨迹预测和意图分析，为目标行为预测提供新的理论框架和技术支撑。本研究将丰富计算机视觉领域中目标检测与跟踪的研究方法，尤其是将运动趋势和潜在危险分析纳入系统建模，为复杂动态场景下的多目标行为分析提供创新的解决方案。此外，通过引入高效的意图分析算法，推动自动驾驶车辆对潜在风险的准确识别和预测能力的优化，从而提高自动驾驶技术在实际场景中的适用性和可靠性。

1.2.2 现实意义

自动驾驶车辆在实际道路中面临多变且动态的环境，传统的单一目标检测方法难以满足复杂场景中的风险评估需求。本研究提出的多目标跟踪与意图分析算法，能够实时

获取动态目标的位置、速度和运动趋势，并预测其潜在行为，有效增强自动驾驶车辆对危险的感知和应对能力。通过这一研究，自动驾驶车辆可以更早地识别潜在风险并作出安全决策，从而减少交通事故，提升道路安全性。同时，这一研究将推动自动驾驶技术的工程化应用，为实现更智能、更安全的无人驾驶提供重要技术支持。当前的自动驾驶系统中，虽然有目标检测和跟踪的研究，但大多数研究侧重于单一任务，例如目标的实时检测或跟踪，缺乏对目标意图（如接近、远离、本车行为等）的综合分析。现有方法大多没有考虑如何将跟踪结果与目标行为预测相结合来提升决策质量。本文的研究可以结合 YOLO 目标检测与深度学习的多目标跟踪算法，如 DeepSORT，进一步将目标的运动轨迹与行为意图进行融合，从而提供一个全面的系统，既能实时检测和跟踪多目标，又能分析目标的意图（如是否接近本车、是否存在潜在碰撞等），填补目前在目标跟踪与意图分析综合算法方面的空白。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 目标检测研究现状

目标检测是指将图像或者视频中的目标与其他不感兴趣区域进行区分，判断是否存在目标，以及确定目标位置和识别目标种类的计算机视觉任务。以是否使用深度学习为分界线，可以将目标检测算法分为传统的目标检测算法和基于深度学习的目标检测算法。传统的目标检测算法依赖于人工设计的特征算子，并采用特征提取加分类器的模式来实现。Viola 和 Jones [1] 提出了 Viola-Jones 人脸检测器，该检测器使用 Haar-like 特征提取算子，利用 Adaboost 分类器进行分类，并采用由多个分类器组成的 Cascade 级联分类器来提高识别率。Navneet Dalal 等人 [2] 提出方向梯度直方图（Histogram of Oriented Gradients, HOG），HOG 是一种用于目标检测的特征描述算子，通过计算图像中局部梯度的方向信息，对图像的浅层外观特征进行提取。由于 HOG 过度依赖局部梯度信息，因此在复杂场景下的特征提取能力较差。Felzenszwalb 等人 [3] 在 HOG 的基础上，提出了可变形组件模组（Deformable Part Model, DPM）。DPM 采用多组件策略，将目标分解为多个部分后进行建模，因此 DPM 对目标的形变具有很强的鲁棒性。传统的目标检测算法大多使用人工设置的特征提取算子来对图像进行特征提取，在面对多尺度、密集目标、极端天气等复杂环境时，算法的鲁棒性和准确率都会大大降低。同时采用滑动窗口来对图像特征进行逐一计算的方式，会使算法的计算复杂度过高。因此传统的目标检测方法无法满足实时检测需求，不能很好地在工业中进行应用。

随着深度学习的飞速发展，目标检测领域的研究取得了突破性的进展。与传统的目标检测算法相比，基于深度学习的目标检测模型在经过大量图像数据训练后，能“学会”如何提取目标特征，在面对不同尺度的目标以及复杂场景时，具有更好的鲁棒性和泛化能力。根据是否需要生成候选区域，可以将基于深度学习的目标检测算法分为单阶段（one-stage）与两阶段（two-stage）。两阶段的目标检测算法主要分为两步，首先筛选出图片中可能包含物体的候选区域，接着再对候选区域中的特征进行分类回归。Ross Girshick 等人 [4] 提出 R-CNN 目标检测算法，首先对输入图像使用选择搜索 [5]（selective

search) 网络获得大约 2000 个不同尺度的候选区域, 接着对所有的候选区域进行统一缩放, 将尺寸变为 227×227 。再通过卷积神经网络 (Convolutional Neural Networks, CNN) 对所有候选区域中的特征进行提取, 得到维度为 2000×4096 的特征向量。最后再利用 SVM 分类器对特征向量进行分类, 以及使用回归器来对边界框的位置进行调整。由于 R-CNN 目标检测算法需要对约 2000 个候选框逐一进行特征提取, 而候选框之间又存在许多包含相同特征的区域, 这就导致整个过程中存在大量冗余操作, 严重影响了检测速度。为了解决上述问题, Ross Girshick 等人 [6] 又提出了 Fast R-CNN, Fast R-CNN 首先对输入的图像进行卷积, 得到对应的特征图。接着将事先处理好的区域候选框投影到特征图上。采用这种方式只需要进行一次卷积, 可以减少大量冗余的卷积计算。而且与 R-CNN 所使用的分类任务 + 回归任务模式不同, Fast R-CNN 将二者融合在一个网络中, 不再需要对分类器和回归器进行单独训练。但是 Fast R-CNN 算法依然沿用了使用选择搜索算法的方式来获取候选区域, 该过程不仅操作耗时而且容易漏掉包含目标的区域。因此 Shaoqing Ren 等人 [7] 又提出了 Faster R-CNN, 算法采用区域建议网络 (Region Proposal Networks, RPN) 来获取区域候选框, 实现了生成候选区域过程与目标检测任务的融合。同时 Faster R-CNN 还提出了锚框 (Anchor) 这一重要思想, 锚框是指在图像上预先设置好多组尺寸比例不同的参照框, 来尽可能地包含物体出现的位置。He Kaiming[8] 等人在 Faster R-CNN 的基础上提出了 Mask R-CNN, 该算法使用 ROIAlign 替换 Faster R-CNN 中的 ROIPooling。ROIAlign 可以将任意尺寸感兴趣区域的特征图划分为具有固定尺寸的小特征图, 并使用双线性插值取代了 ROIPooling 中的直接取整操作, 解决了 ROIPooling 操作中因两次量化造成的区域不匹配 (mis-alignment) 问题。在目标检测任务中, 使用 IOU 阈值来区分正负样本。当 IOU 阈值越大, 正样本的数量就会减少, 而减小 IOU 阈值又会学习到大量无关特征。Cai 等人 [9] 为了解决上述问题, 提出了 Cascade R-CNN, 该算法采用级联式的结构, 通过对多个感知器使用递增的 IOU 阈值进行训练, 来解决因提高 IOU 阈值所引起的模型过拟合问题。

1.3.2 目标跟踪研究现状

多目标跟踪算法可以分为基于检测跟踪 (Tracking by Detection, TBD) 和联合检测跟踪 (Joint Detecting Tracking, JDT) 两种方式。TBD 目标跟踪算法是指先使用目标检测算法得到包含物体的边界框, 接着再获取目标的运动信息和外观信息等, 最后通过数据关联算法来计算目标间的亲和力并关联目标。Bewley[10] 等人提出了 SORT 算法, 作为经典的基于检测的目标跟踪算法, 采用 Faster R-CNN 作为检测器, 利用卡尔曼滤波来预测和更新物体的运动特征信息, 通过匈牙利算法进行数据关联, 以及使用 IOU 作为度量指标来建立关系, 从而实现对多目标进行追踪。Wojke 等人 [11] 提出了 DeepSORT 多目标跟踪算法, 该算法在 SORT 的基础上加入级联匹配, 引入了卷积神经网络来提取目标外观特征, 有效地减少了在面对遮挡情况下发生身份切换的问题。Yu 等人 [12] 提出了 POI 算法, 采用 Faster R-CNN 作为检测器, 并使用 skip pooling 和 multi-region 两种策略来提高检测精度, 利用改进的 GoogLeNet[13] 网络进行特征提取。Sun 等人 [14]

提出了深度亲和网络 (DAN), DAN 网络以端到端的方式对目标物体的外观特征进行学习, 通过物体和环境的分层特征计算出在不同帧中目标之间的亲和度。Chen 等人 [15] 将检测和跟踪结果组成一对候选框, 提出了一种得分函数用于衡量每一对候选框的匹配程度, 使用非极大值抑制算法依据得分情况进行筛选。Zhang 等人 [16] 将目标检测任务和特征提取融合到一个网络中完成。首先使用编码器-解码器模块对图像进行特征提取, 在进行分流后, 使用两个分支分别进行边界框预测以及目标外观特征提取, 最后使用预测目标中心点处的特征进行边界框时序联结。Liang 等人 [17] 提出 CSTrack 算法, 采用 CCN (交叉相关网络) 来改进检测与重识别间的协作学习。将目标检测和外观特征提取进行解耦, 通过使用自注意力的方式获得自注意力权重图和交叉相关性权重图, 并利用 SAAN[18] (尺度感知注意力网络) 对特征提取网络进行优化。Liang 等人 [19] 在 CSTrack 的基础上引入时间信息来修正检测器结果, 并提出了重检测网络来重新加载被错误分类的目标。Yu 等人 [20] 提出了 GCD (Global Context Disentangling) 模块, 该模块能将特征图解耦成检测特征和重识别特征两部分, 同时采用可变形注意力机制来学习目标和环境之间的关系。

联合检测跟踪算法是将检测任务与跟踪任务进行合并, 仅使用一个网络来实现多目标跟踪任务。Peng 等人 [21] 提出了一种 CTracker 算法, 该算法首次将目标检测、特征提取、数据关联三个模块集成到单个网络中, 实现了端到端的联合检测跟踪。同时还设计了一种联合注意力模块 (JAM, Joint Attention Module) 来突出检测框中的有效信息区域。Xu 等人 [22] 提出了 DHN (深度匈牙利算法), 以可微的方式对检测框和预测框进行匹配, 以及提出了一种新的损失函数用于训练联合检测跟踪范式的多目标跟踪器。Pang 等人 [23] 提出 QDTrack 算法, 通过采用多个正负样本同时计算损失的方式来对特征提取网络进行训练, 是一种只利用 ReID 特征而不需要位置和运动信息的多目标跟踪方法。Zhou 等人 [24] 提出了 CenterTrack 算法, 使用 CenterNet[25] 目标检测算法来对目标中心进行定位, CenterTrack 依据上一帧的检测结果得到热量图, 峰值代表目标中心点, 并采用高斯渲染的方法进行模糊处理。模型利用两个额外的并行分支来预测当前目标相对于上一帧时的水平和竖直方向偏移量。Wu 等人 [26] 提出了一种在线多目标联合检测追踪模型, 使用 CenterNet 提取图像特征, 利用 CVA 模块计算两帧图像中目标的偏移量, 得到目标之间的关联性, 通过 MFW 模块来传播和增强目标特征, 最后使用头部网络将传播特征和当前特征进行处理以实现检测和追踪。Wang 等人 [27] 提出了 CorrTracker 算法, 利用局部相关模块来构建目标与周围环境之间的拓扑关系, 从而加强模型在密集场景中的识别能力。Sun 等人 [28] 提出 TransTrack 算法, 该算法采用 transformer[29] 架构, 利用 Query-Key 机制来跟踪当前帧中已存在的目标以及对新目标进行检测。通过在一次拍摄中完成目标检测和目标关联, 建立了一种新的联合检测跟踪范式。Chu 等人 [30] 提出了 STGT 模型, 通过将追踪目标轨迹视作稀疏赋权图来构建目标间的空间关系。STGT 构建了一个空间图 transformer 编码器、时间 transformer 编码器和一个空间 transformer 解码器。利用稀疏图来提升训练和推理时的计算速度。并且由于获取了目标间的结构信息, 因此比一般的 transformer 也更加有效。

1.3.3 意图分析研究现状

最早关于识别驾驶意图的讨论可以追溯到 Andrew 等人的一项研究 [31]，他们认为可以通过分析驾驶员的行为动作来预测其意图，并在研究中仅使用车辆的动态数据，例如横摆角、横摆角速度和车速，来判断驾驶员是否有转弯或换道的意图。要对周围车辆的换道意图进行识别，需要结合感知、数据融合、数据处理等多种技术 [32]。感知与数据融合技术融合所有从传感设备传输的信号，生成周围所有交通和其他环境的信息。智能车辆将这些信息从自身的车辆坐标系转换为目标车辆坐标系，并处理为识别算法可以使用的特征变量。因此，在识别方法之外，特征变量的选择对识别的效果也影响重大。针对单个目标车辆，目前广泛使用的信号包括纵向/横向位置、速度和加速度 [33]。主车的意图识别可以通过车内传感器获得大量有效信息，比如方向盘和制动/油门踏板信号，甚至驾驶员本身的状态等。然而，在车联网技术尚未成熟的当下，目标车辆内的这些信息难以获取。Zhang 等 [34] 使用目标车辆及其四辆邻近交通车辆的信息，包括它们之间的相对速度和距离，来预测换道行为。Leonhardt 等 [35] 也采用了类似的特征变量来研究换道预测。部分研究使用了目标车辆周围的更多相邻车辆以及与每个相邻车辆相关的更多信息（比如状态量的历史记录）[36]。Altch 等 [37] 甚至考虑了九辆车来提高预测性能。

2016 年，日产研制出了前沿科技 ProPILOT，其安装的实力强劲的摄像机可以较为容易的检测出车相对道路的偏离距离 [38]。雪铁龙 LDWS 系统安装有 6 个电子传感器。汽车通过车道标记线的时候，光线的反射不一样，此时检测单元会将信息发送到车载控制中心，内置的振动马达会向驾驶员传递警告信息。这个系统的价格低廉，系统的适应性不错，但是在复杂的电子环境下的表现会受到影响，元器件的精度会降低，目前在 C5、C6 的车型上有应用。Google 也进行了相关研发，利用高性能的软件和智能探测装置，融合雷达和摄像技术，能够在复杂条件下全面的探测周围环境 [39]，其结合 GPS 技术的车道偏离技术可以及时矫正汽车的行驶轨迹，并且误差可以达到厘米级。Enache 等 [40] 提出了新的计算方法，通过预瞄偏差及车辆方向偏差综合信息来估计车路之间的相对距离；Cualain 等 [41] 利用卡尔曼滤波和霍夫变换建立了车道边界的模型，计算车辆本身的参数及建立新的预警规范来设计预警系统的阈值；Mammar 等 [42] 通过计算道路曲率、方向偏差等估计车辆跨过车道线的时间；Ulsoy 等 [43] 利用准确度较高的算法估计 TLC 的不确定，考虑到了不同方面的误差；Gaikwad 等 [44] 通过对感兴趣区域的划分，建立实际车道偏离的度量标准。

1.3.4 本文结构框架

本文首先对研究背景及研究意义进行了详细阐述，其中包括本研究在理论层面和实际应用层面的重要性。接着，通过对国内外相关文献的梳理，综合分析了目标识别、目标跟踪和意图分析领域的研究现状，重点关注深度学习技术在这些领域中的方法与应用，明确当前研究的主要成果与存在的不足，为后续研究提供支撑。针对本研究问题所需的关键理论与技术，本文进行了详细分析，包括深度学习的基础理论、YOLO 系列目

标检测模型、多目标跟踪中的 DeepSORT 算法, 以及轨迹预测与意图分析相关的技术方法。这一部分的内容为算法设计和实验仿真提供了理论依据。

算法设计分为两部分: 一是视觉目标检测与多目标跟踪模块, 重点描述 YOLO 与 DeepSORT 算法的融合与改进; 二是基于目标轨迹与速度信息的意图分析模块, 使用预训练模型获得目标识别跟踪的结果对象后, 对此数据进行处理, 用于判断车辆接近或远离的危险程度。

在实验与仿真部分, 论文基于 Carla 仿真平台设计了实验环境。通过构建符合实际交通场景的数据集与仿真场景, 对算法的性能进行了全面验证。实验结果从目标检测与跟踪精度、意图分析准确性以及危险评估效果等方面进行了分析与评价, 展现了算法的有效性与应用潜力。

最后, 论文总结了研究工作, 梳理了取得的主要成果, 指出了研究中存在的不足, 并对未来的研方向进行了展望, 为自动驾驶场景下的视觉目标跟踪与意图分析提供了进一步发展的思路。

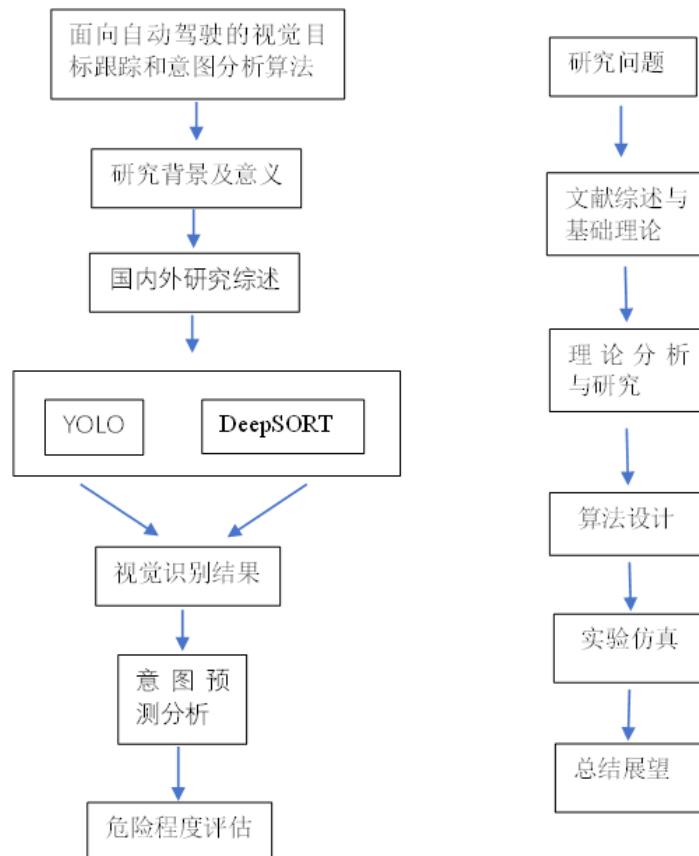


图 1-1 图 1 论文结构框架图

第 2 章 图表示例

2.1 图片与布局

2.1.1 插图

图片可以通过`\includegraphics` 指令插入，我们建议模板使用者将文章所需插入的图片源问卷放置在 `images` 目录中，另外，矢量图片应使用 PDF 格式，位图照片则应使用 JPG 格式（`LaTeX` 不支持 TIFF 格式）。具有透明背景的栅格图可以使用 PNG 格式。

下面是一个简单的插图示例。



图 2-1 插图示例

如果一个图由多个分图（子图）组成，应通过 (a),(b),(c) 进行标识并附注在分图（子图下方）。目前子图标识不居中问题没有解决，预计下个版本修复。

2.1.2 横向布局

模板提供常见的图片布局，比如单图布局2-1，另外还有横排布局如下：



(a) test



(b) test



(c) test



(d) test

图 2-2 图片横排布局示例

2.2 纵向布局

纵向布局如图2-3



(a) test



(b) test

图 2-3 图片纵向布局示例

2.3 坚排多图横排布局



(a) aaa

(b) bbb

图 2-4 图片坚排多图横排布局

坚排多图横排布局如图2-4所示。注意看 (a)、(b) 编号与图关系

2.4 横排多图竖排布局

潮涌湘江阔，鹏翔天地宽。湖南工商大学正以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，秉持“新工科+新商科+新文科”与理科融合发展的思路，努力形成一流的理念、一流的目标、一流的标准、一流的质量、一流的机制，打造创新工商、人文工商、艺术工商、体育工商、数智工商、绿色工商、幸福工商，建设读书求知的好园地，乘高等教育改革奋进的东风，朝着创新型一流工商大学的愿景扬帆远航。

横排多图竖排布局如图2-5所示。注意看 (a)、(b) 编号与图关系。



图 2-5 图片横排多图竖排布局

第3章 表格插入示例

表3-1 学校文件里对表格的要求不是很高，不过按照学术论文的一般规范，表格为三线表。

	A	B	C	D	E
1	212	414	4	23	fgw
2	212	414	v	23	fgw
3	212	414	vfwe	23	嗯
4	212	414	4fwe	23	嗯
5	af2	4vx	4	23	fgw
6	af2	4vx	4	23	fgw
7	212	414	4	23	fgw

表格如表3-1所示，**latex** 表格技巧很多，这里不再详细介绍。

潮涌湘江阔，鹏翔天地宽。湖南工商大学正以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，秉持“新工科+新商科+新文科”与理科融合发展的思路，努力形成一流的理念、一流的目标、一流的标准、一流的品质、一流的机制，打造创新工商、人文工商、艺术工商、体育工商、数智工商、绿色工商、幸福工商，建设读书求知的好园地，乘高等教育改革奋进的东风，朝着创新型一流工商大学的愿景扬帆远航。

第4章 公式插入示例

潮涌湘江阔，鹏翔天地宽。湖南工商大学正以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，秉持“新工科+新商科+新文科”与理科融合发展的思路，努力形成一流的理念、一流的目标、一流的标准、一流的质量、一流的机制，打造创新工商、人文工商、艺术工商、体育工商、数智工商、绿色工商、幸福工商，建设读书求知的好园地，乘高等教育改革奋进的东风，朝着创新型一流工商大学的愿景扬帆远航。

公式插入示例如公式 (4.1) 所示。

$$\gamma_x = \begin{cases} 0, & \text{if } |x| \leq \delta \\ x, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.1)$$

第 5 章 引用文献标注

文献标注和索引的处理一直是学术写作的一个麻烦事，特别是在 word 环境下。`latex` 中我们只需要编辑（或直接获取）BibTeX 格式索引文件然后在正文中使用`\cite` `\citet` 等指令进行引用标注就可以。下面介绍在文章中引用指令的具体使用方法。

5.1 顺序编码

根据学校要求，参考文献标注用中括号上标形式进行标注。使用方式与效果如下表所展示

<code>\cite{knuth1984texbook}</code>	⇒ <code>knuth1984texbook</code>
<code>\citet{knuth1984texbook}</code>	⇒ <code>knuth1984texbook<empty c</code>
<code>\citep{knuth1984texbook}</code>	⇒ <code>knuth1984texbook</code>
<code>\cite{knuth1984texbook, lamport1994latex}</code>	⇒ <code>knuth1984texbook, lamport1994latex</code>

5.2 获取 BibTeX 格式索引

获取参考文献的 BibTeX 格式索引有两种方式

- 通过 Google Scholar 或者百度学术等学术文献搜索引擎获取，自行编辑.bib 文件
- 通过 Zotero 等学术文献整理软件，添加所有的引用文献至库中，导出对应的.bib 文件

编译带参考文献的文章时，我们需要两次编译过程。我们提供了对应的自动化脚本，以及配合 vscode latex 插件的任务流程，帮助模板使用者进行编译。

5.3 参考文献插入示例

LaTeX^{lamport1994latex} 插入参考文献最方便的方式是使用 `bibliography{pritchard1969statistical}`，大多数出版商的论文页面^{lamport1994latex,pritchard1969statistical}都会有导出 bib 格式参考文献的链接，把每个文献的 bib 放入“`hutbthesis_main.bib`”，然后用 `bibkey` 即可插入参考文献。

潮涌湘江阔，鹏翔天地宽。湖南工商大学正以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，秉持“新工科+新商科+新文科”与理科融合发展的思路，努力形成一流的理念、一流的目标、一流的标准、一流的质量、一流的机制，打造创新工商、人文工商、艺术工商、体育工商、数智工商、绿色工商、幸福工商，建设读书求知的好园地，乘高等教育改革奋进的东风，朝着创新型一流工商大学的愿景扬帆远航。

致谢

感谢制作出中南大学本科学位论文 LaTeX 模板的 edwardzcn。

感谢制作出中南大学博士学位论文 LaTeX 模板的郭大侠 @CSGrandeur。

感谢添加本科学位论文样式支持的 @BlurryLight。

感谢帮助重构项目并进行测试的 @burst-bao 以及为独立使用 LaTeX 进行毕业论文写作提供宝贵经验的 16 级的姜析阅学长。

感谢 CTeX-kit 提供了 LaTeX 的中文支持。

感谢上海交通大学学位论文 LaTeX 模板的维护者们 @sjtug 和清华大学学位论文 LaTeX 模板的维护者们 @tuna 给予的宝贵设计经验。

感谢所有为模板贡献过代码的同学们！

附录 A 附录代码

附录部分用于存放这里用来存放不适合放置在正文的大篇幅内容、典型如代码、图纸、完整数学证明过程等内容。

A.1 堆溢出检测算法

算法 A.1 堆溢出检测算法

- 1: **if** $\beta \in \mathbb{N}^* \wedge \Delta_\beta = \Delta_{\beta-1} \wedge \beta < S$ **then**
 - 2: 正常写入
 - 3: **else if** $\beta \in \mathbb{N}^* \wedge \Delta_\beta \neq \Delta_{\beta-1} \wedge \beta \geq S$ **then**
 - 4: 发生堆溢出
 - 5: **end if**
-

A.2 KMP 算法 C++ 描述

```
const int maxn=2e5+5;
int nt[maxn];
int aa[maxn], bb[maxn];
int a[maxn], b[maxn];
int n;
//参数为模板串和next数组
//字符串均从下标0开始
void kmpGetNext(int *s, int *Next)
{
    Next[0]=0;
    //    int len=strlen(s);
    for( int i=1, j=0; i<n; i++)
    {
        while( j&&s[i]!=s[j]) j=Next[j];
        if( s[i]==s[j]) j++;
        Next[i+1]=j;
    }
    //    Next[len]=0;
}
```

```
int kmp( int *ss , int *s , int *Next)
{
    kmpGetNext(s , Next);
    // 调试输出 Next 数组
    // int len=strlen(s);
    // for( int i=0;i<=n; i++)
    //     cout<<Next[i]<<" ";
    // cout<<endl;

    // int ans=0;
    // int len1=strlen(ss);
    // int len2=strlen(s);
    for( int i=0,j=0;i<2*n; i++) // 倍长
    {
        while( j&&ss[ i%n ]!=s[ j ]) j=Next[ j ];
        if( ss[ i%n ]==s[ j ]) j++;
        if( j==n ){
            return 1;
        }
    }

    return 0;
}

int main( void )
{
    while( cin>>n)
    {
        memset(a,0 , sizeof(a));
        memset(b,0 , sizeof(b));
        rep( i , 0 , n) cin>>aa[ i ];
        rep( i , 0 , n) cin>>bb[ i ];
        sort(aa , aa+n);
        sort(bb , bb+n);
        rep( i , 0 , n-1){
            a[ i ]=aa[ i+1 ]-aa[ i ];
            b[ i ]=bb[ i+1 ]-bb[ i ];
        }
    }
}
```

```
a[n-1]=360000+aa[0]-aa[n-1];
//      rep(i,0,n) cout<<a[i]<<" ";
//      cout<<endl;
b[n-1]=360000+bb[0]-bb[n-1];
//      rep(i,0,n) cout<<b[i]<<" ";
//      cout<<endl;
if(kmp(a,b,nt))
    cout<<"possible"<<endl;
else cout<<"impossible"<<endl;
}
return 0;
}
```

附录 B 康托尔辩辞录：数学的自由与制约

（录自康托尔：《一般集合论基础》，1883）

数学在其发展中是完全自由的，它只受下述自明的关注所制约，即它的概念既要内在地不存在矛盾，还要参与确定与此前形成的，已经存在着地和已被证明地概念之关系（借助定义贯穿起来）。特别地，在引入新数时，数学只遵循：在给出它们地定义时使之具有某种确定性，并且在某些情况下，使之与老数有某种关系，在特定地场合中这种关系一定会使它们（新数和老数）互相区别开来，只要一个数满足这些条件，数学只能而且必须把它看作是存在的和实在的东西，这正是我……关于为什么必须把有理数、无理数和复数看作与有限正整数一样是实在的所建议的理由。

我相信，没有必要害怕，许多人是害怕，这些原则含有对于科学的危险，一方面，实行造出新数的自由必须服从所设计的条件，但这些条件给任意性留下的活动空间是非常小的。而且，每一数学概念在其自身之中也带有必要的矫正物；如果它没有收获也不合适（它的无用很快就会表明这一点），那么它将由于没有成功而被丢弃。另一方面，在我看来，对于数学研究工作的任何多余的限制只会随之而带来更大的危险，由于实际上并没有任何理由可说明它是由科学的本质推断出来的，它的危险就更大了，而数学的本质恰恰在于它的自由。

如果高斯、柯西、阿贝尔、雅可比、狄利克雷、魏尔斯特拉斯、埃尔米特和黎曼总是被束缚而拿他们的新想法去臣服于形而上学的控制，那么，我们今日就不可能为现代函数论的雄伟建筑而高兴，现代函数论的设计和矗立是完全自由的，毫无短视的瞬间目的……。如果福克斯、庞加莱和其他许多杰出的智者受外来影响所包围和限制，我们就会见不到他们带给微分方程论的巨大的推动，还有，如果枯莫尔不是斗胆地（大有成效者）把所谓的“理想”数引入数论，我们今天也无从去羡慕钦佩克罗内克和戴德金在代数和算术上十分重要和杰出的工作。

因此，如已说明的，数学是要脱离形而上学的桎梏而完全自由地发展 …