



# 本科生毕业论文（设计）

题目：多分支因子模型  
推理框架

姓 名 卢科州

学 号 21307335

院 系 计算机学院

专 业 计算机科学与技术

指导教师 卢宇彤 (教授)

2025 年 3 月 8 日

多分支因子模型

推理框架

Multi-Branch Factor Model

Inference Framework

姓 名	卢科州
学 号	21307335
院 系	计算机学院
专 业	计算机科学与技术
指导教师	卢宇彤 (教授)

2025 年 3 月 8 日

## 学术诚信声明

本人郑重声明：所呈交的毕业论文（设计），是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文（设计）不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本论文（设计）的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文（设计）的知识产权归属于培养单位。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】

量化交易过程中往往需要交易因子作为信号为交易决策提供依据，在现代高频交易场景下，交易因子大多表现为多分支机器学习模型的形式。在程序自动交易的关键路径中，交易因子模型的推理是交易延时的主要来源，因此提高因子模型推理效率成为降低延时的重要优化手段。然而当前广泛使用的开源模型推理框架多针对高并发场景下的推理服务进行优化，缺少针对高频交易中苛刻的低延时场景设计的优化方法。为此，本文提出了一种新的多分支因子模型推理框架，通过硬件/系统友好的底层优化设计、引入分支计算缓存机制和高效推理算子，显著提升了模型的推理效率。实验结果表明，该框架在高频交易场景下相较开源推理框架具有优越的性能，为交易系统中的因子计算提供了新的工具。

**关键词：** 机器学习，高性能计算，低延时

## [ABSTRACT]

In quantitative trading, trading factors are essential as signals for decision-making. In modern high-frequency trading (HFT) scenarios, these factors predominantly take the form of multi-branch machine learning models. Within the critical path of automated trading systems, the inference of factor models constitutes a major source of trading latency, making the improvement of inference efficiency a crucial optimization target. However, widely used open-source model inference frameworks are primarily optimized for high-concurrency inference services and lack tailored optimizations for the stringent low-latency requirements in HFT. To address this gap, this paper proposes a novel multi-branch factor model inference framework. By incorporating hardware/system-friendly low-level optimization designs, a branch computation caching mechanism, and highly efficient inference operators, the framework significantly enhances model inference efficiency. Experimental results demonstrate that the proposed framework outperforms existing open-source inference frameworks in HFT scenarios, providing a powerful new tool for factor computation in trading systems.

**Keywords:** machine learning, high-performance computing, low latency

## 目录

1	绪论	1
1.1	选题背景与意义	1
1.2	国内外研究现状和相关工作	1
1.3	本文的论文结构与章节安排	1
2	本科生毕业论文写作与印制规范	2
2.1	毕业论文的撰写内容与要求	2
2.2	毕业论文的撰写格式要求	5
3	L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X 模板配置与使用	11
3.1	使用 Overleaf 编写毕设	11
3.2	编译环境配置	13
3.3	写作环境配置	13
3.4	如何开始写毕业论文（设计）	14
4	简单的使用例子	16
4.1	图像的插入	16
4.2	表格的插入	19
4.3	公式	19
4.4	算法流程图	20
4.5	例子、定理与证明	20
4.6	代码	21
4.7	其他的一些用法	21
5	实验与结果	23
5.1	关于生僻字	23
	参考文献	24

附录 A 补充更多细节 . . . . .	25
A.1 补充图 . . . . .	25
致谢 . . . . .	26

## 插图目录

2.1	图片例子 . . . . .	9
3.1	在 Overleaf 上创建并上传压缩包。 . . . .	11
3.2	在 Overleaf 上调整编译工具 . . . . .	12
3.3	Overleaf 使用例子 . . . . .	12
3.4	vscode 配置好后的样例 . . . . .	14
4.1	镶嵌在文中的图像 . . . . .	16
4.2	单张图像 . . . . .	17
4.3	并排的多张图像 . . . . .	17
4.4	并排的多张图像加各自的注解 . . . . .	17
4.5	复杂的两列对象的插入 . . . . .	18
A.1	一个配有彩色表格的插图 . . . . .	25



## 表格目录

2.1	字体使用规范 . . . . .	5
2.2	表格例子 . . . . .	8
4.1	典型的实验对比表格 . . . . .	19
4.2	复杂一些的表格 . . . . .	19

# 1 绪论

## 1.1 选题背景与意义

引言是论文正文的开端，应包括毕业论文选题的背景、目的和意义；对国内外研究现状和相关领域中已有的研究成果的简要评述；介绍本项研究工作研究设想、研究方法或实验设计、理论依据或实验基础；涉及范围和预期结果等。要求言简意赅，注意不要与摘要雷同或成为摘要的注解。

## 1.2 国内外研究现状和相关工作

对国内外研究现状和相关领域中已有的研究成果的简要评述。

## 1.3 本文的论文结构与章节安排

本文共分为五章，各章节内容安排如下：

第一章：绪论。本章阐释了选题背景与研究意义，对国内外相关研究进展作分析，系统阐述了选题的研究方向和应用价值，并概述了本文的相关工作和贡献。

第二章：相关工程技术背景。本章阐述了实践中因子模型的设计逻辑，介绍了现代推理框架的实现原理，并针对选题的目标硬件加速方法作概括阐述

第三章：框架和算法设计方法。系统介绍了本文所作推理框架的工程设计和实现方法，并与当前多种开源推理框架作方案比较。同时阐述了针对选题模型结构特性和输入特点实现的创新算法。

第四章：实验结果与分析。本章介绍了实验环境，通过测试多种因子模型，对本文实现的因子模型推理框架的性能进行测试，并对实验结果作总结概括。

第五章：总结与展望。概括总结了本文的工作和贡献，分析阐释了本文工作的局限和可改进方面，同时展望进一步的研究方向。

## 2 本科生毕业论文写作与印制规范

该部分将学校规定中的毕业论文（设计）写作与印制规范复制了过来，并在其中展示相关例子表明格式的正确性。

### 2.1 毕业论文的撰写内容与要求

#### 2.1.1 封面

纸质版封面由学校统一印发（电子版请参见文后示例）。封面内容包括论文题目、所在院系专业、学生姓名学号、指导教师（姓名及职称）等信息。论文题目应以简短、明确的词语恰当概括整个论文的核心内容，避免使用不常见的缩略词、缩写字。读者通过题目可大致了解毕业论文的内容、专业特点和学科范畴。论文题目一般不宜超过 25 个字，必要时可增加副标题。

#### 2.1.2 扉页

扉页内容包括论文中英文题目、学生姓名、学号、院系、专业、指导教师（姓名及职称）等信息。格式详见文后示例。

#### 2.1.3 学术诚信声明

内容及格式详见文后示例。

#### 2.1.4 摘要和关键词

##### 1) 中文摘要和关键词

摘要应概括论文的主要信息，应具有独立性和自含性，即不阅读论文的全文，就能获得必要的信息。摘要内容一般应包括研究目的、内容、方法、成果和结论，要突出论文的创造性成果或新见解，不要与绪论相混淆。语言力求精练、准确，以 300-500 字为宜。关键词是供检索用的主题词条，应体现论文特色，具有语义性，在论文中有明确的出处，并应尽量采用《汉语主题词表》或各专业主题词表提供的规范词。关键词与摘要应在同一页，在摘要的下方另起一行注明，一般列 3-5 个，按词条的外延层次排列（外延大的排在前面）。

## 2) 英文摘要和关键词

英文摘要及关键词内容应与中文摘要及关键词内容相同。中英文摘要及其关键词各置一页内。

### 2.1.5 目录

目录是论文的提纲，也是论文各章节组成部分的小标题。要求标题层次清晰，目录中的标题要与正文中的标题一致。

### 2.1.6 正文

正文是毕业论文的主体和核心部分，不同学科专业和不同的选题可以有不同的写作方式。正文一般包括以下几个方面：

#### 1) 绪论

绪论应包括毕业论文选题的背景、目的和意义；对国内外研究现状和相关领域中已有的研究成果的简要评述；介绍本项研究工作研究设想、研究方法或实验设计、理论依据或实验基础；涉及范围和预期结果等。要求言简意赅，注意不要与摘要雷同或成为摘要的注解。

#### 2) 主体

论文主体是毕业论文的主要部分，必须言之成理，论据可靠，严格遵循本学科国际通行的学术规范。在写作上要注意结构合理、层次分明、重点突出，章节标题、公式图表符号必须规范统一。论文主体的内容根据不同学科有不同的特点，一般应包括以下几个方面：

- (a) 毕业论文总体方案或选题的论证；
- (b) 毕业论文各部分的设计实现，包括实验数据的获取、数据可行性及有效性的处理与分析、各部分的设计计算等；
- (c) 对研究内容及成果的客观阐述，包括理论依据、创新见解、创造性成果及其改进与实际应用价值等；
- (d) 论文主体的所有数据必须真实可靠，凡引用他人观点、方案、资料、数据等，无论曾否发表，无论来源于纸质或电子版材料，均应详加注释。自然科学论文应推理正确、结论清晰；人文和社会学科的论文应把握论点正确、论证充分、论据可靠，恰当运用系统分析和比较研究的方法进行模型或方案设计，注重实证研究和案例分析，根据分析结果提出建议和改进措施等。

### 3) 结论

结论是毕业论文的总结，是整篇论文的归宿，应精炼、准确、完整。结论应着重阐述自己的创造性成果及其在本研究领域中的意义和作用，还可进一步提出需要讨论的问题和建议。

#### 2.1.7 参考文献

参考文献是毕业论文不可缺少的组成部分，它反映毕业论文的取材来源、材料的广博和可靠程度，也是作者对他人知识成果的承认和尊重。凡有引用他人的著作、论文等，均应列于参考文献中。

#### 2.1.8 相关的科研成果目录

本科期间发表的与毕业论文相关的论文或被鉴定的技术成果、发明专利等，应在成果目录中列出。此项不是必需项，空缺时可以省略。

#### 2.1.9 附录

对于一些不宜放在正文中的重要支撑材料，可编入毕业论文的附录中，包括某些重要的原始数据、详细数学推导、程序全文及其说明、复杂的图表、设计图纸等一系列需要补充提供的说明材料。如果毕业论文中引用的实例、数据资料，实验结果等符号较多时，为了节约篇幅，便于读者查阅，可以编写一个符号说明，注明符号代表的意义。附录的篇幅不宜太多，一般不超过正文。此项不是必需项，空缺时可以省略。

#### 2.1.10 致谢

致谢应以简短的文字对课题研究与论文撰写过程中曾直接给予帮助的人员(例如指导教师、答疑教师及其他人员)表达自己的谢意，这不仅是一种礼貌，也是对他人劳动的尊重，是治学者应当遵循的学术规范。内容限一页。

表 2.1 字体使用规范

论文题目	黑体二号居中
中文摘要标题	黑体三号居中
中文摘要内容	宋体小四号
中文关键词	宋体小四号（标题“关键词”加粗）
英文摘要标题	Times New Roman 加粗三号全部大写
英文摘要内容	Times New Roman 小四号
英文关键词	Times New Roman 小四号（标题“Keywords”加粗）
目录标题	黑体三号居中
目录内容	宋体小四号
正文各章标题	黑体三号居中
正文各节一级标题	黑体四号左对齐
正文各节二级及以下标题	宋体小四号加粗左对齐空两格
正文内容	宋体小四号
参考文献标题	黑体三号居中
参考文献内容	宋体五号
致谢、附录标题	黑体三号居中
致谢、附录内容	宋体小四号
页眉与页脚	宋体五号居中
图题、表题	宋体五号
脚注、尾注	宋体小五号

## 2.2 毕业论文的撰写格式要求

### 2.2.1 文字和字数

除外国语言文学类专业外，其他专业的毕业论文须采用简化汉语文字撰写。论文正文部分一般不少于 8000 字，各专业可根据需要确定具体的字数要求，并报教务部备案。

### 2.2.2 字体和字号

标题一般用黑体，内容一般用宋体，数字和英文字母一般用 Times New Roman，具体如表 2.1。

字体样例可见如下（以居中形式展现）：

**黑体二号居中**

**黑体三号居中**

**黑体四号居中**

宋体四号居中

宋体小四号居中

宋体五号居中

宋体小五号居中

Times New Roman : Three 三号居中

Times New Roman : Small Four 小四号居中

### 2.2.3 页面设置

纸张大小：A4。

页边距：上边距 25 mm，下边距 20 mm，左右边距均为 30 mm。

行距：1.5 倍行距，章和节标题段前段后各空 0.5 行。

### 2.2.4 页码

页面底端居中，从摘要开始至绪论之前以大写罗马数字（I，II，III，…）单独编连续码，绪论开始至论文结尾，以阿拉伯数字（1，2，3…）编连续码。

### 2.2.5 关键词

摘要正文下方另起一行顶格打印“关键词”款项，后加冒号，多个关键词以逗号分隔。

### 2.2.6 目录

目录应另起一页，包括论文中的各级标题，按照“一……”、“（一）……”或“1……”、“1.1……”格式编写。

### 2.2.7 各级标题

正文各部分的标题应简明扼要，不使用标点符号。论文内文各大部分的标题用“一、二……（或 1、2……）”，次级标题为“（一）、（二）……（或 1.1、2.1……）”，三级标题用“1、2……（或 1.1.1、2.1.1……）”，四级标题用“（1）、（2）……（或 1.1.1.1、2.1.1.1……）”，不再使用五级以下标题。两类标题不要混编。

### 2.2.8 名词术语

- 1) 科学技术名词术语尽量采用全国自然科学名词审定委员会公布的规范词或国家标准、部标准中规定的名称，尚未统一规定或叫法有争议的名词术语，

可采用惯用的名称。

- 2) 特定含义的名词术语或新名词、以及使用外文缩写代替某一名词术语时, 首次出现时应在括号内注明其含义, 如: 经济合作与发展组织 (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)。
- 3) 外国人名一般采用英文原名, 可不译成中文, 英文人名按姓前名后的原则书写, 如: CRAY P, 不可将外国人姓名中的名部分漏写, 例如: 不能只写 CRAY, 应写成 CRAY P。一般很熟知的外国人名 (如牛顿、爱因斯坦、达尔文、马克思等) 可按通常标准译法写译名。

### 2.2.9 物理量名称、符号与计量单位

- 1) 论文中某一物理量的名称和符号应统一, 应采用国务院发布的《中华人民共和国法定计量单位》、国际公认或各行业领域惯用的计量单位。单位名称和符号的书写方式, 应采用国际通用符号。
- 2) 在不涉及具体数据表达时允许使用中文计量单位如“千克”。
- 3) 表达时刻应采用中文计量单位, 如“下午 3 点 10 分”, 不能写成“3h10min”, 在表格中可以用“3:10PM”表示。
- 4) 物理量符号、物理量常量、变量符号用斜体, 计量单位符号均用正体。

### 2.2.10 数字

- 1) 无特别约定情况下, 一般均采用阿拉伯数字表示。
- 2) 年份一律使用 4 位数字表示。
- 3) 统计符号的格式: 一般除  $\mu$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\lambda$ 、 $\varepsilon$  以及  $V$  等符号外, 其余统计符号一律以斜体字呈现, 如 *ANCOVA*, *ANOVA*, *MANOVA*, *N*, *nl*, *M*, *SD*, *F*, *p*, *r* 等。

### 2.2.11 公式

- 1) 公式应另起一行写在稿纸中央。一行写不完的长公式, 最好在等号处转行, 如做不到这一点, 可在运算符号 (如“+”、“-”号) 处转行, 等号或运算符号应在转行后的行首。
- 2) 公式的编号用圆括号括起, 放在公式右边行末, 在公式和编号之间不加虚线。公式可按全文统编序号, 也可按章编独立序号, 如 (49)、(4.11)、(4-11) 等。采用哪一种序号应和图序、表序编法一致。不应出现某章里的公式编号



号，有的则不编序号。子公式可不编序号，需要引用时可加编 a、b、c……，重复引用的公式不得另编新序号。公式序号必须连续，不得重复或跳缺。

3) 文中引用某一公式时，可写成“由式（序号）”。

这是一个例子：

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (2.1)$$

如式 2.1 所示，为了求解该一元二次方程，我们可以推导得到该方程的求根公式。因此，由式 2.2 即可求解该方程的两个根。

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.2)$$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

### 2.2.12 表格

- 1) 表格必须与论文叙述有直接联系，不得出现与论文叙述脱节的表格。表格中的内容在技术上不得与正文矛盾。
- 2) 每个表格都应有自己的标题和序号。标题应写在表格上方正中，不加标点，序号写在标题左方。
- 3) 全文的表格可以统一编序，也可以逐章单独编序。采用哪一种方式应和插图、公式的编序方式统一。表序必须连续，不得跳缺。
- 4) 表格允许下页接写，接写时标题省略，表头应重复书写，并在右上方写“续表 ××”。多项大表可以分割成块，多页书写，接口处必须注明“接下页”、“接上页”、“接第 × 页”字样。
- 5) 表格应放在离正文首次出现处最近的地方，不应超前和过分拖后。

例子可见表 2.2。

表 2.2 表格例子

这是表格第一行第一列	这是表格第一行第二列
这是表格第二行第一列	这是表格第二行第二列

### 2.2.13 图

- 1) 插图应与文字内容相符，技术内容正确。所有制图应符合国家标准和专业标准。对无规定符号的图形应采用该行业的常用画法。
- 2) 每幅插图应有标题和序号，全文的插图可以统一编序，也可以逐章单独编序，采取哪一种方式应和表格、公式的编序方式统一。图序必须连续，不重复，不跳缺。
- 3) 由若干分图组成的插图，分图用 a、b、c……标序。分图的图名以及图中各种代号的意义，以图注形式写在图题下方，先写分图名，另起行写代号的意义。
- 4) 图与图标题、图序号为一个整体，不得拆开排版为两页。当页空白不够排版该图整体时，可将其后文字部分提前，将图移至次页最前面。
- 5) 对坐标轴必须进行文字标示，有数字标注的坐标图必须注明坐标单位。

例子可见图 2.1。

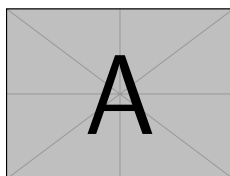


图 2.1 图片例子

### 2.2.14 注释

毕业论文（设计）中有个别名词或情况需要解释时，可加注说明。注释采用脚注或尾注，应根据注释的先后顺序编排序号。注释序号以“①、②”等数字形式标示在正文中被注释词条的右上角，脚注或尾注内容中的序号应与被注释词条序号保持一致。

脚注例子可见这里<sup>①</sup>。

### 2.2.15 参考文献

参考文献的序号左顶格，并用数字加方括号表示，如“[1]”。每一条参考文献著录均以“.”结束。各类参考文献的具体编排格式请参照国家标准《信息与文献参考文献著录规则》（GB/T 7714-2015）。

参考文献例子可见这里<sup>[1]</sup>。

---

<sup>①</sup> 这是一个脚注

## 2.2.16 附录

论文附录依次用大写字母“附录 A、附录 B、附录 C……”表示，附录内的分级序号可采用“附 A1、附 A1.1、附 A1.1.1”等表示，图、表、公式均依此类推为“图 A1、表 A1、式 A1”等。

### 3 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板配置与使用

本部分内容将让你能够通过本 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板生成一份可用的 pdf，并为后面修改源码撰写毕设做准备。

首先，我们会展示最简单的方法：直接使用 overleaf 进行编写。然后，我们整理了不同环境下 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 环境的配置指南与不同写作工具的配置技巧，方便各位同学使用本 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 模板。最后，我们说明了如何开始编写自己的毕业论文（设计）。

#### 3.1 使用 Overleaf 编写毕设

Overleaf<sup>①</sup>是一个在线的 Latex 文档协作平台。我们不需要配置任何环境，便能够在上面直接使用本模板进行写作。操作步骤如下：

第一步，下载本项目压缩包（从<https://github.com/SYSU-SCC/sysu-thesis/releases>处下载即可），注意需要下载 zip 格式的压缩包。然后，我们在 Overleaf 上新建项目，并上传该压缩包，可参考图 3.1。

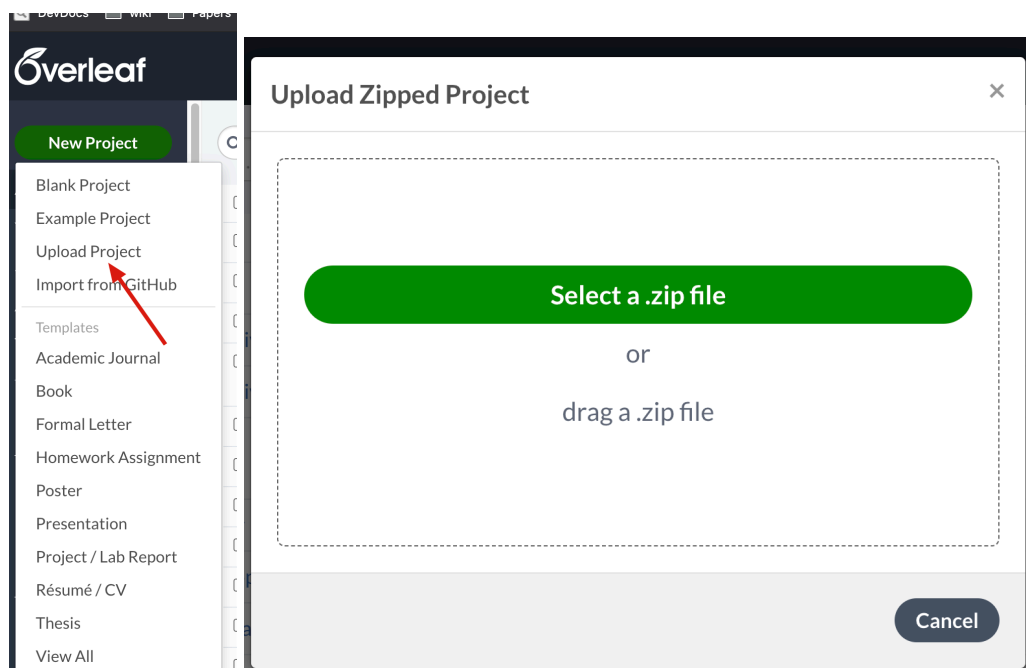


图 3.1 在 Overleaf 上创建并上传压缩包。

第二步，在 Overleaf 的菜单中调整编译工具为 `xelatex`，可参考图 3.2。

第三步，点击编译，得到本 pdf，可以开始修改 pdf 了！最终可见图 3.3。

<sup>①</sup> 网址可见<https://www.overleaf.com/>

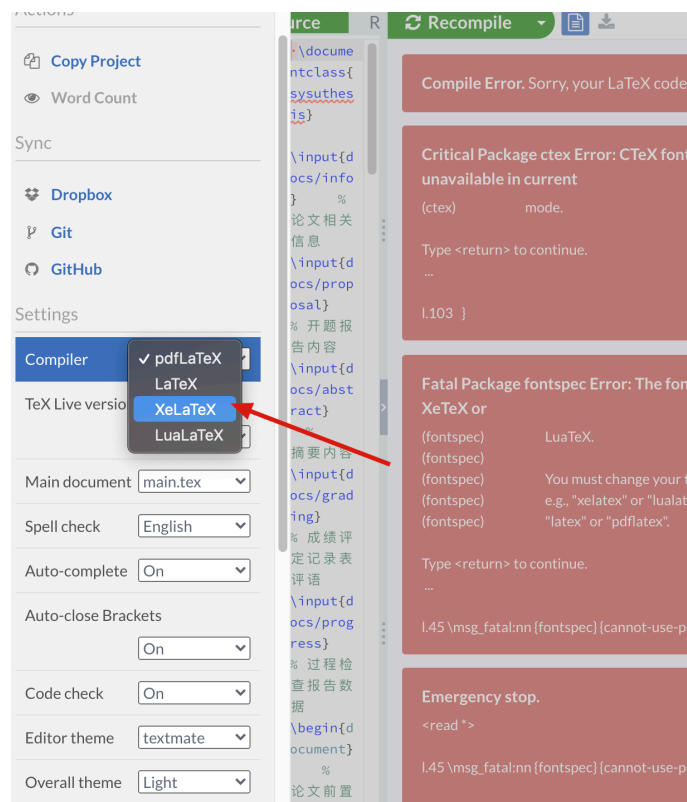


图 3.2 在 Overleaf 上调整编译工具

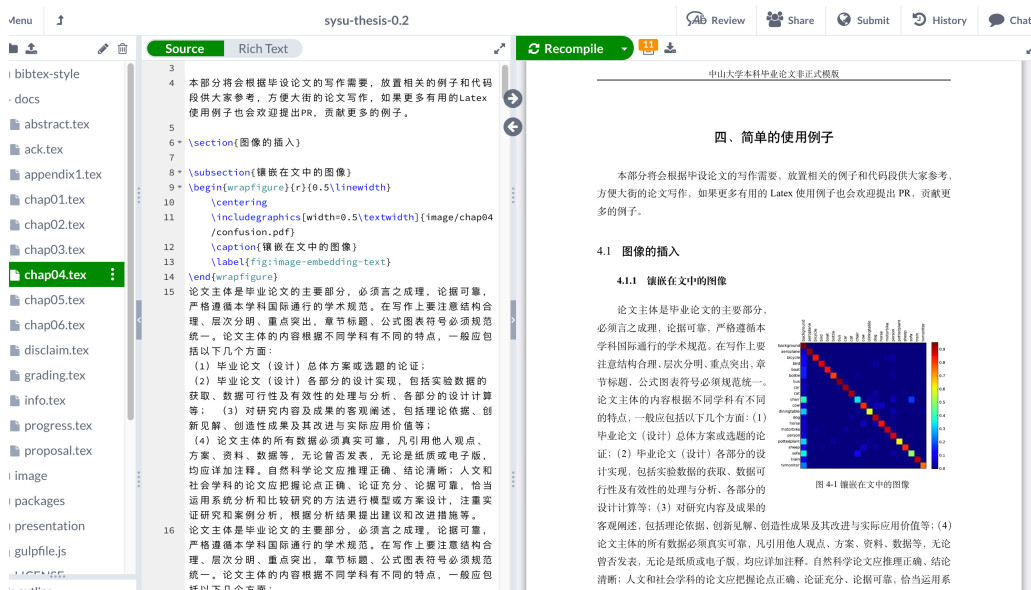


图 3.3 Overleaf 使用例子

## 3.2 编译环境配置

编译环境配置相对来说比较简单，下载 Tex Live2020 并如同一般的程序一样安装即可。

### 3.2.1 编译环境配置：Window 篇

在<https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/CTAN/systems/texlive/Images> /上下载 Tex Live2020 并参考教程<sup>①</sup>安装即可。

### 3.2.2 编译环境配置：Linux 篇

在<https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/CTAN/systems/texlive/Images> /上下载 Tex Live2020 并参考教程<sup>②</sup>安装即可。

### 3.2.3 编译环境配置：MacOS 篇

在 MacOS 上配置 Latex 的环境，这里我们使用的是 MacTex。

- 1) <https://www.tug.org/mactex/>下载 MacTex 安装。
- 2) 安装步骤：不详细展开，按照图形界面点击即可，傻瓜式安装。

TIPS: MacTex 文件比较大，有 2G 多，介意的话可以选择 MacTex\_Basic 包，只有 100M 以内，但是如果安装 MacTex\_Basic，后期可能会遇到各种缺包的问题。

安装完成之后，可以简单测试一下安装是否成功。如可以查看 Texshop 应用是否安装好，或者在命令行测试一下 `xelatex` 命令是否可用。

## 3.3 写作环境配置

不同的写作工具对应不同的写作环境。这里我们给出几个工具的配置例子以供参考。

### 3.3.1 模板编译流程

由于 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 的限制，本模板需要经过四次编译才能生成完整的论文：

- 1) 先使用 `xelatex` 编译一次
- 2) 再使用 `bibtex` 编译一次

---

<sup>①</sup> 可以参考<https://zhuanlan.zhihu.com/p/58811994>

<sup>②</sup> 可以参考<https://zhuanlan.zhihu.com/p/55894177>

### 3) 然后使用 xelatex 编译两次

本编译流程已经写在 Makefile 中，修改模板源码后只需要执行 `make pdf` 即可按照该流程进行编译并生成最终的 pdf。

## 3.3.2 写作环境配置：Visual Studio Code

Visual Studio Code 是微软公司推出的轻量代码编辑器，我们可以做一些简单的配置，便可以用该编辑器修改我们的  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  模板，并实现一键编译。

- 1) 安装 Visual Studio Code。
- 2) 安装 LaTeX Workshop 插件。

本项目的 `.vscode/setting.json` 下已经包含了与前面所述编译流程相同的配置。正常配置下，每次修改模板源码后按下保存 (`Ctrl+S`)，就能够自动进行编译产生 pdf。效果图如图 3.4 所示。

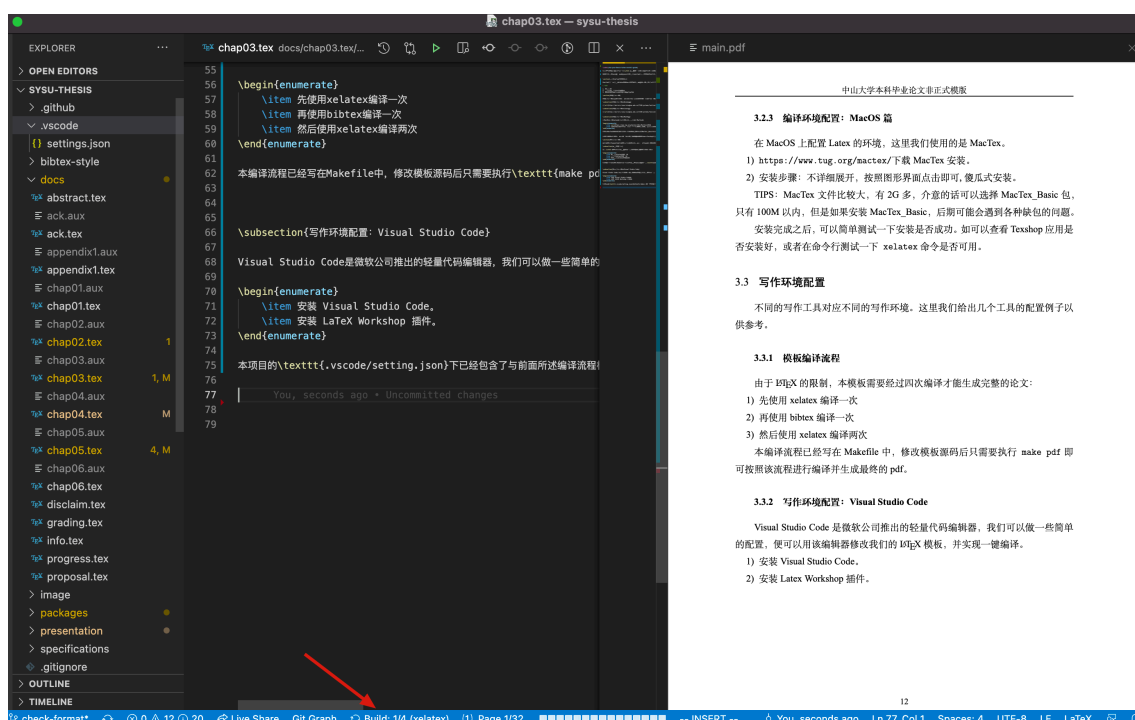


图 3.4 vscode 配置好后的样例

## 3.4 如何开始写毕业论文（设计）

首先将所有个人信息,包括学号、姓名、专业、论文题目等,在 `./docs/info.tex` 中逐项进行更新。

然后我们再编辑 `./docs/abstract.tex` 补充论文摘要。

到了论文主体部分,我们可以自行编辑`./docs/chap01.tex`,`./docs/chap02.tex`等文件进行编辑。如果章数不够,可以自行修改`main.tex`增加新的章节。

当论文主体编写完成后,我们再编辑`./docs/ack.tex`作为论文致谢。



## 4 简单的使用例子

本部分将会根据毕设论文的写作需要，放置相关的例子和代码段供大家参考，方便大家的论文写作，如果更多有用的 Latex 使用例子也会欢迎提出 PR，贡献更多的例子。

### 4.1 图像的插入

#### 4.1.1 镶嵌在文中的图像

论文主体是毕业论文的主要部分，必须言之成理，论据可靠，严格遵循本学科国际通行的学术规范。在写作上要注意结构合理、层次分明、重点突出，章节标题、公式图表符号必须规范统一。论文主体的内容根据不同学科有不同的特点，一般应包括以下几个方面：(1) 毕业论文（设计）总体方案或选题的论证；(2) 毕业论文（设计）各部分的设计实现，包括实验数据的获取、数据可行性及有效性的处理与分析、各部分的设计计算等；(3) 对研究内容及成果的

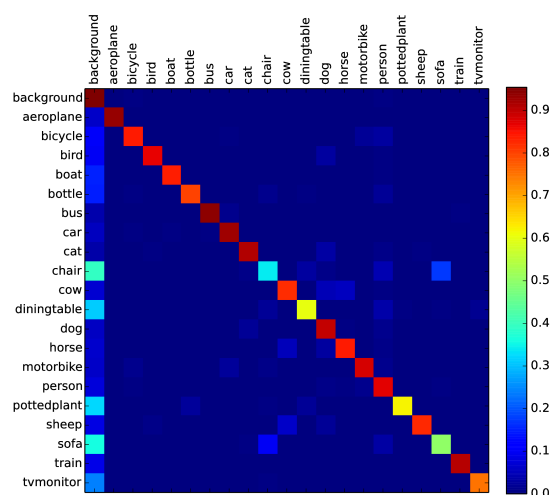


图 4.1 镶嵌在文中的图像

客观阐述，包括理论依据、创新见解、创造性成果及其改进与实际应用价值等；(4) 论文主体的所有数据必须真实可靠，凡引用他人观点、方案、资料、数据等，无论曾否发表，无论是纸质或电子版，均应详加注释。自然科学论文应推理正确、结论清晰；人文和社会学科的论文应把握论点正确、论证充分、论据可靠，恰当运用系统分析和比较研究的方法进行模型或方案设计，注重实证研究和案例分析，根据分析结果提出建议和改进措施等。论文主体是毕业论文的主要部分，必须言之成理，论据可靠，严格遵循本学科国际通行的学术规范。在写作上要注意结构合理、层次分明、重点突出，章节标题、公式图表符号必须规范统一。论文主体的内容根据不同学科有不同的特点，一般应包括以下几个方面：(1) 毕业论文（设计）总体方案或选题的论证；(2) 毕业论文（设计）各部分的设计实现，包括实验数据的获

取、数据可行性及有效性的处理与分析、各部分的设计计算等；(3) 对研究内容及成果的客观阐述，包括理论依据、创新见解、创造性成果及其改进与实际应用价值等；(4) 论文主体的所有数据必须真实可靠，凡引用他人观点、方案、资料、数据等，无论曾否发表，无论是纸质或电子版，均应详加注释。自然科学论文应推理正确、结论清晰；人文和社会学科的论文应把握论点正确、论证充分、论据可靠，恰当运用系统分析和比较研究的方法进行模型或方案设计，注重实证研究和案例分析，根据分析结果提出建议和改进措施等。

#### 4.1.2 单张图像的插入

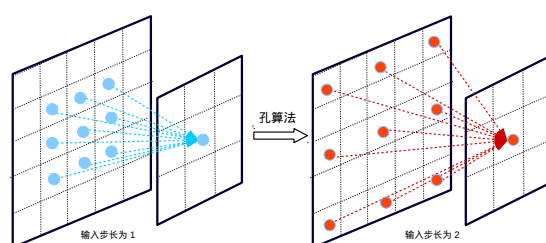


图 4.2 单张图像

#### 4.1.3 多张图像的并排插入

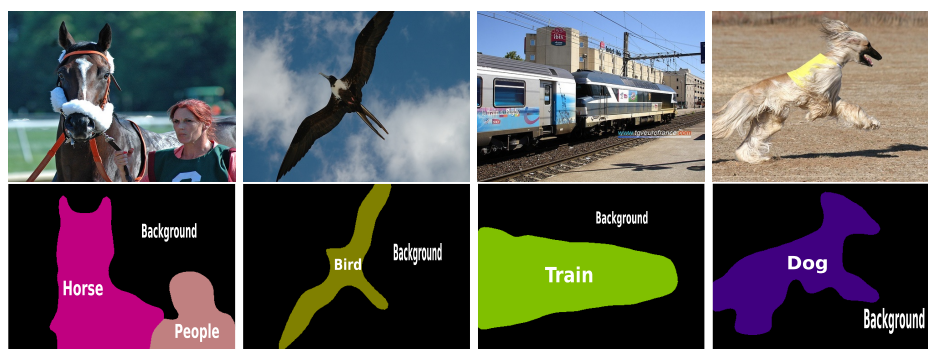


图 4.3 并排的多张图像

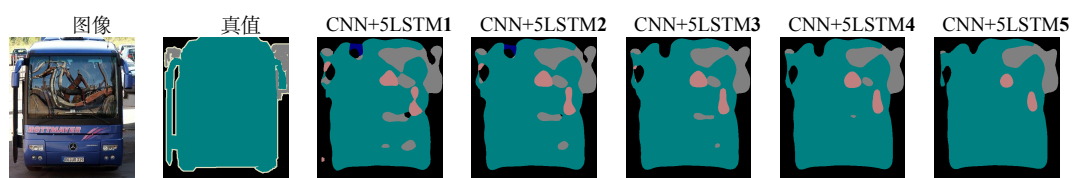


图 4.4 并排的多张图像加各自的注解

#### 4.1.4 两列图像的插入

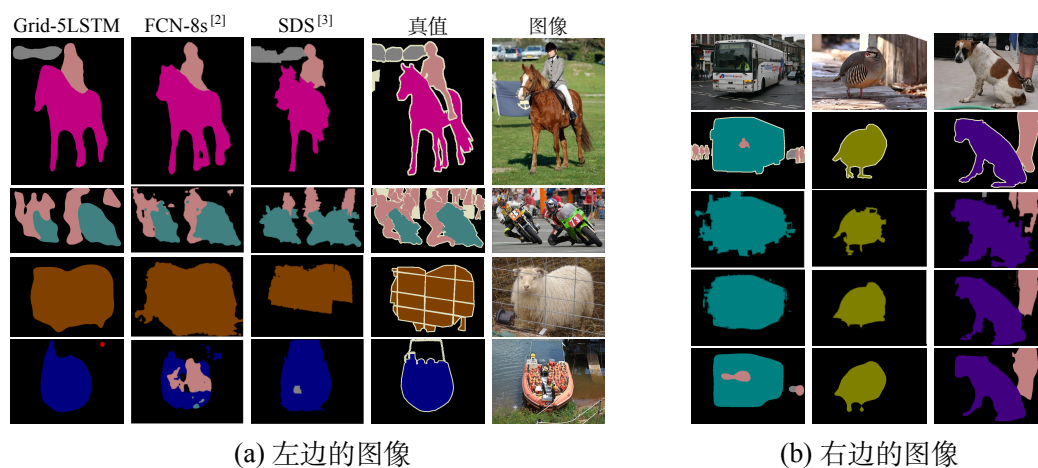


图 4.5 复杂的两列对象的插入

## 4.2 表格的插入

表 4.1 典型的实验对比表格

Method	Pixel Acc.	Mean Acc.	Mean Iu.
Liu 等人 <sup>[4]</sup>	76.7	-	-
Tighe 等人 <sup>[5]</sup>	78.6	39.2	-
FCN-16s <sup>[2]</sup>	85.2	<b>51.7</b>	39.5
Deeplab-LargeFOV <sup>[6]</sup>	85.6	51.2	39.7
Grid-LSTM5	<b>86.2</b>	51.0	<b>41.2</b>

表 4.2 复杂一些的表格

Method	aero	bike	bird	boat	bottle	bus	car	cat	chair	cow	table	dog	horse	mbike	person	plant	shep	sofa	train	tv	mIoU.
CNN	72.6	29.6	70.2	53.1	65.1	81.0	74.3	79.8	25.0	64.8	47.8	69.5	66.2	65.2	74.2	42.1	69.6	38.8	74.4	58.6	62.5
CNN+1LSTM	71.5	30.6	70.5	53.8	64.9	82.4	77.1	79.5	25.1	65.8	47.8	71.5	64.6	67.0	74.0	43.9	69.6	38.6	74.9	59.4	63.0
CNN+2LSTM	76.1	32.6	72.1	57.0	65.3	83.6	75.4	81.7	24.7	69.3	47.5	72.3	68.9	69.5	74.7	41.5	69.8	38.3	77.8	62.1	64.3
CNN+3LSTM	77.7	32.3	72.6	60.0	68.3	85.5	78.5	82.3	25.3	71.1	49.7	71.5	69.7	70.8	75.9	47.9	71.2	38.9	80.2	61.7	65.8
CNN+4LSTM	79.1	<b>33.7</b>	<b>73.6</b>	<b>62.0</b>	<b>70.4</b>	85.5	<b>80.9</b>	83.7	<b>24.1</b>	70.7	45.7	73.7	69.6	72.1	75.6	47.2	<b>76.0</b>	37.3	80.5	62.2	66.4
CNN+5LSTM	<b>79.9</b>	33.6	<b>73.6</b>	61.7	68.0	<b>88.5</b>	<b>80.9</b>	<b>84.0</b>	23.6	<b>71.3</b>	<b>49.7</b>	<b>73.1</b>	<b>71.3</b>	<b>72.9</b>	<b>76.4</b>	<b>48.9</b>	75.1	<b>38.1</b>	<b>84.5</b>	<b>63.8</b>	<b>67.2</b>
CNN+5LSTM <sup>†</sup>	84.8	36.4	82.0	69.4	73.0	87.2	81.8	86.1	34.5	82.4	53.1	81.5	77.4	79.0	81.3	54.8	81.1	47.0	84.3	67.3	72.3

## 4.3 公式

没有编号的公式

$$\mathbf{z}^{(l)} = \mathbf{W}^{(l)} \mathbf{a}^{(l-1)} + \mathbf{b}^{(l)}$$

$$\mathbf{a}^{(l)} = f(\mathbf{z}^{(l)})$$

公式中含有中文

$$\text{像素准确率} = \sum_{i=1}^{n_{cl}} n_{ii} / \sum_{i=1}^{n_{cl}} t_i$$

$$\text{平均像素准确率} = \frac{1}{n_{cl}} \sum_{i=1}^{n_{cl}} (n_{ii} / t_i) \quad (4.1)$$

$$\text{Mean IU} = \frac{1}{n_{cl}} \sum_{i=1}^{n_{cl}} \frac{n_{ii}}{t_i + \sum_j^{n_{cl}} n_{ji} - n_{ii}}$$

公式中含有矩阵

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} * \mathbf{x}_i \\ \mathbf{h} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

每行后面都有编号的公式

$$\frac{\partial}{\partial W_{ij}^{(l)}} J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y) = \frac{\partial J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y)}{\partial z_i^{(l+1)}} \cdot \frac{\partial z_i^{(l+1)}}{\partial W_{ij}^{(l)}} = \delta_i^{(l+1)} a_j^{(l)} \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial b_i^{(l)}} J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y) = \frac{\partial J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y)}{\partial z_i^{(l+1)}} \cdot \frac{\partial z_i^{(l+1)}}{\partial b_i^{(l)}} = \delta_i^{(l+1)} \quad (4.4)$$

#### 4.4 算法流程图

---

##### 算法 4.1: 梯度下降算法

---

输入:  $m$  个训练样本

- 1 对于  $l = 1$  转到  $n_l$  进行 初始化:  $\Delta \mathbf{W}^{(l)} = 0, \Delta \mathbf{b}^{(l)} = 0$ ;
- 2 对于每个 训练样本 进行
- 3     对于  $l = 1$  转到  $n_l - 1$  进行 前向传播:  $\mathbf{z}^{(l+1)} = \mathbf{W}^l \mathbf{a}^l + \mathbf{b}^l, \mathbf{a}^{(l+1)} = f(\mathbf{z}^{(l+1)})$ ;
- 4     输出误差计算:  $\delta^{(m)} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{z}^{(m)}} J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y)$ ;
- 5     对于  $l = n_l - 1$  转到 1 进行 后向传播:  $\delta^{(l)} = ((\mathbf{W}^{(l)})^T \delta^{(l+1)}) f'(\mathbf{z}^{(l)})$ ;
- 6     对于所有 层  $l$  进行
- 7         计算梯度:  $\nabla_{\mathbf{W}^{(l)}} J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y) = \delta^{(l+1)} (\mathbf{a}^{(l)})^T$
- 8          $\nabla_{\mathbf{b}^{(l)}} J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y) = \delta^{(l+1)}$ ;
- 9         累加梯度:  $\Delta \mathbf{W}^{(l)} \leftarrow \Delta \mathbf{W}^{(l)} + \nabla_{\mathbf{W}^{(l)}} J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y)$ ;
- 10          $\Delta \mathbf{b}^{(l)} \leftarrow \Delta \mathbf{b}^{(l)} + \nabla_{\mathbf{b}^{(l)}} J(\mathbf{W}, \mathbf{b}; \mathbf{x}, y)$ ;
- 11 对于所有 层  $l$  进行
- 12     更新权重:  $\mathbf{W}^{(l)} \leftarrow \mathbf{W}^{(l)} - \alpha \left[ \frac{1}{m} \Delta \mathbf{W}^{(l)} \right]$
- 13      $\mathbf{b}^{(l)} \leftarrow \mathbf{b}^{(l)} - \alpha \left[ \frac{1}{m} \Delta \mathbf{b}^{(l)} \right]$

---

#### 4.5 例子、定理与证明

例 4.1 这是一个例子, 用以验证特殊环境的字体成功更改为楷体。

定理 4.1 (定理例子) 这是一个定理。

推论 4.1 (推论例子) 这是一个推论。

引理 4.1 (引理例子) 这是一个引理。

这里我们先给出定理 4.2

定理 4.2 (中山大学毕业论文模板定理) 中山大学 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 毕业论文模板<sup>[1]</sup>可以用于写各种证明。

下面我们对定理 4.2 进行证明:

**证明** 下面我们开始证明：

由本定理的证明可见，我可以引用定理 4.1和引理4.1以及推论4.1来证明我这个 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 可以用来写各种证明。

定理 4.2得证。

□

## 4.6 代码

本模版支持在论文中插入代码片段，或直接从源码文件进行插入。例如，在论文中插入代码片段的效果为：

```
def func():
    print("hello_world")
    with open('./output.txt', 'w') as f:
        L = f.readlines()

    if __name__ == "__main__":
        # this is a comment line
    func()
```

也可在行内插入代码片段，例如：Python 中重载加法运算符的函数为`__add__`，类的标识符为`class`。此外，还可直接插入代码文件，例如插入`./code/demo.cpp`的效果为：

```
#include <iostream>
int main()
{
    ::std::cout << "hello_world" << ::std::endl;
    return 0;
}
```

## 4.7 其他的一些用法

### 4.7.1 子章节编号

#### 4.7.1.1 更小的章节

更小的章节编号也是支持的。

可以如此引用章节：

- 章 4
- 节 4.7

- 小节 4.7.1
- 小小节 4.7.1.1

## 4.7.2 列表的使用

这是一个无序列表

- 引用文献<sup>[2]</sup>
- 引用文献作者Long et al.
- 引用文献年份2015
- 字体变红，**粗体**，斜体，下划线。

这是一个有序列表

- 1) 索引前面的节 4.3、图像4.5、表格4.1
- 2) 加脚注<sup>①</sup>

---

<sup>①</sup> 测试一下脚注和 URL <http://cs231n.github.io/transfer-learning/>

## 5 实验与结果

## 5.1 关于生僻字

## 测试生僻字

[illegible]



## 参考文献

- [1] CHEN S, HUANG J, YONGFENG W. 中山大学毕业论文 Latex 模板[EB/OL]. 2020. <https://github.com/SYSU-SCC/sysu-thesis>.
- [2] LONG J, SHEHMER E, DARRELL T. Fully convolutional networks for semantic segmentation[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015: 3431-3440.
- [3] HARIHARAN B, ARBELÁEZ P, GIRSHICK R, et al. Simultaneous detection and segmentation [M]//Computer vision—ECCV 2014. Springer, 2014: 297-312.
- [4] LIU C, YUEN J, TORRALBA A. Sift flow: Dense correspondence across scenes and its applications[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2011, 33(5): 978-994.
- [5] TIGHE J, LAZEBNIK S. Finding things: Image parsing with regions and per-exemplar detectors [C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2013: 3001-3008.
- [6] CHEN L C, PAPANDREOU G, KOKKINOS I, et al. Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected crfs[C/OL]//ICLR. 2015. <http://arxiv.org/abs/1412.7062>.

附录 A 补充更多细节

A.1 补充图

A.1.1 补充图

这是附录内容，应该用宋体小四号字体。



图 A.1 一个配有彩色表格的插图

## 致谢

四年时间转眼即逝，青涩而美好的本科生活快告一段落了。回首这段时间，我不仅学习到了很多知识和技能，而且提高了分析和解决问题的能力与养成了一定的科学素养。虽然走过了一些弯路，但更加坚定我后来选择学术研究的道路，实在是获益良多。这一切与老师的教诲和同学们的帮助是分不开的，在此对他们表达诚挚的谢意。

首先要感谢的是我的指导老师卢宇彤教授。我作为一名本科生，缺少学术研究经验，不能很好地弄清所研究问题的重点、难点和热点，也很难分析自己的工作所能够达到的层次。卢老师对整个研究领域有很好的理解，以其渊博的知识和敏锐的洞察力给了我非常有帮助的方向性指导。她严谨的治学态度与辛勤的工作方式也是我学习的榜样，在此向卢老师致以崇高的敬意和衷心的感谢。

最后我要感谢我的家人，正是他们的无私的奉献和支持，我才有了不断拼搏的信心和勇气，才能取得现在的成果。

卢宇彤

2025 年 3 月 8 日