

密级: 公开

编号: [学号]



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

硕士学位论文

中山大学研究生学位论文 L^AT_EX 模板

Title in English

学位申请人: _____ [学生姓名]

导师姓名及职称: _____ [姓名] [职称]

专业名称: _____ [专业名称]

2024 年 3 月 8 日

中山大学硕士学位论文

中山大学研究生学位论文 L^AT_EX 模
板

Title in English

专业:	[专业名称]
学位申请人:	[学生姓名]
指导教师:	[姓名] [职称]

论文答辩委员会主席:	
成员:	

二〇二四年三月

原创性及使用授权声明

论文原创性声明内容

本人郑重声明：所呈交的学位论文，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。对本文的研究作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。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

学位论文使用授权声明

本人完全了解中山大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文并向国家主管部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版；有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆、院系资料室被查阅；有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索；可以采用复印、缩印或其他方法保存学位论文；可以为存在馆际合作关系的兄弟高校用户提供文献传递服务和交换服务。

保密论文保密期满后，适用本声明。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

摘 要

字数规定：硕士学位论文摘要一般不超过 1200 字，博士学位论文一般不超过 2000 字

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 3 ~ 5 个，每个关键词中间用逗号分隔。

关键词：关键词 1，关键词 2，关键词 3，关键词 4，关键词 5

目 录

符号和缩略语说明

(请按照字母顺序 (A-Z) 排序)

AUC	ROC 曲线下面积 (Area under the ROC Curve)
BFS	广度优先搜索 (Breadth-first search)
CNN	卷积神经网络 (Convolutional neural network)
DFS	深度优先搜索 (Depth-first search)
ROC	接收者操作特征曲线 (Receiver operating characteristic curve)
SNP	单核苷酸多态性 (Single-nucleotide polymorphism)

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

区块链作为一种去中心化的分布式账本，随着技术的不断发展，受到越来越多的关注，正应用于许多领域，如金融部门，加密货币交易所，游戏，医疗保健和健康应用场景等。区块链技术最早是被引用于比特币中，它作为底层技术，提供了去中心化、不可篡改、透明性、匿名性等特性，让比特币能够在去中心化的环境中实现交易。由于区块链提供的这些特性，让其能够解决许多信任与安全的问题，引起了学术界和工业界广泛研究和应用。

同时随着区块链应用场景逐渐增多以及复杂，智能合约被引用到区块链中，如以太坊。智能合约作为一种基于区块链技术的自动化合约，其中包含了可以自动执行、操纵或验证合同条款的计算机程序。这些合约通过代码的形式被部署在区块链上，而不是传统合同中的法律文本。智能合约的执行是由区块链网络上的节点来完成的，保证了透明性、不可篡改性和去中心化的特性。因此，智能合约的引入为区块链技术带来了非常广阔的应用场景，也受到了各国的重视，比如我国的“十四五”规划纲要中强调了加强区块链技术创新，特别是智能合约、共识算法、加密算法和分布式系统等方面的创新。着重发展联盟链，并将区块链服务平台应用于金融科技、供应链管理、政务服务等领域。此外，规划还提出了完善监管机制，以确保区块链产业的健康发展。

随着区块链技术的广泛应用，当前区块链系统的可扩展性差的性能瓶颈问题逐渐暴露了出来，大大限制了区块链技术的进一步应用和发展。像我们熟知的比特币，每秒钟最多只能处理 7 笔交易。以太坊的吞吐量则大约为 17 笔交易每秒。区块链系统的低吞吐量显然无法满足日益增多的交易需求。相对于主流金融系统如微信支付、支付宝和 Visa 等，区块链的吞吐量较低，难以满足互联网规模的用户支付需求，更不用说在物联网场景下，对于高频数据交换所需的高吞吐量。因此，提升区块链的可扩展性对于加速实际应用的落地至关重要，以满足不断增多的用户和数据交换的需求。

1.2 国内外研究现状

区块链作为分布式账本，允许在互不信任的参与者之间实现共识和维护一致的状态。为了实现这一目标，区块链依赖于分布式共识协议，这些协议包括工作证明 (Proof-of-Work, PoW)，比如比特币和拜占庭容错 (Byzantine Fault Tolerance, BFT)，比如长安链等。这些共识机制确保了区块链网络的稳定性和安全性，使得参与者能够在无需相互信任的情况下共同维护整个系统的一致性状态。

共识协议一般可分为两个阶段：首先，一个区块提出者创建一个包含交易列表的新区块，并将其广播到网络；接着，其他节点验证接收到的区块，如果区块有效，就执行并将其记录到本地账本。通过共识协议，能够保证块提出者的状态和其他节点的状态是一致的，实现分布式账本。为了实现严格的一致性，传统的区块链系统以串行方式执行区块的交易，即按照交易在区块中的顺序，串行执行。然而，这种串行执行方案严重限制了处理事务的能力，导致系统性能较差。

因此，为了提高区块链的可扩展性，使得区块链的吞吐量不再是性能瓶颈，各界研究人员正积极探索并行执行区块链中的交易的解决方案。总的来说目前的解决方案可以分为两大类，一类是链上解决方案，另一类则是链下解决方案。

1.2.1 链上解决方案

传统的串行执行区块链交易并未充分利用现代计算机的多核 CPU 的性能，只利用了单核 CPU，降低了交易的执行速度。因此为了提升区块链中交易的执行速度，研究人员利用悲观或者乐观锁，以及交易调度关系图，让区块链中的交易可以并行执行，以此来充分利用 CPU 的多核能力。因此链上的解决方案的主要思想是在共识的第一阶段引入一种并发调度算法，通过该算法，块提出者可以生成一个交易的调度关系，用于验证器并发执行事务。

1.2.1.1 悲观锁解决方案

为了让交易能够并行执行，并且没有数据冲突，Dickerson 等人将抽象锁机制引入到了区块链的交易执行中，并且每个存储操作都有一个抽象锁，防止数据冲突。区块提出者将推测性地并行执行交易，并允许不冲突的合约并行执行。结合反向日志机制在执行过程中能够发现交易的可串行化的并发调度。调度信息被描述为一个有向无环图。验证节点结合调度信息以及 fork-join 程序来确定性的执行区块中的交易，保证节点之间状态的一致性。

1.2.1.2 乐观锁解决方案

除了利用悲观锁机制防止数据冲突外，[7][6] 等人利用乐观锁机制并发执行区块链的交易，即让交易先执行，当交易发现冲突后，回退有冲突的交易，防止交易的数据冲突。为了让主节点和其他验证节点之间状态一致，[7] 设计了交易拓扑关系图 (TDG, Transaction Dependency Graph)。[6] 设计了具有确定性中止的乐观并发控制 (OCC-DA, Optimistic Concurrency Control with Deterministic Aborts)，让乐观并发控制在公链中的应用成为了可能。

然而无论是使用悲观锁还是乐观锁，区块链中的每个节点仍然需要执行所有交易。当一个交易是计算密集型的，即对 CPU 的资源需求比较高（例如，智能合约交易 [19]），吞吐量的提高是有限的。因为计算时间最长的交易会限制最终节点提交的时间，如图所示。当 Tx1 的交易时间远远超过其他交易的时间的时候，并行执行交易对系统带来的吞吐量是有限的。

除此之外，热点账户的存在（即频繁访问的账户）可能导致高数据争用，如以太坊之前的加密猫 []，因此节点仍然需要串行执行事务。如图所示。当所有交易都是关于账户 a 的操作的时候，交易没有办法并行执行，只能串行执行，此时并行执行交易没有办法提升系统的吞吐量。

1.2.2 链下解决方案

为了更好地解决计算密集型交易和热点账户的问题，让交易能够更好的并发执行，其他工作 []，提出了链下并发执行方案。链下解决方案的核心思想是将一些交易放到链下节点中执行，通过这样的方法让链上节点和链下节点能够并行执行不冲突的交易。链上节点可以直接使用链下节点的执行结果来达成共识。为了让链上节点信任链下节点的执行结果，需要对链下节点执行智能合约的方法进行一定的设计，而不是和链上节点一样直接执行智能合约然后将结果返回给链上节点。一般执行方案可以分为两种，乐观链下扩容和悲观链下扩容。

1.2.2.1 悲观链下扩容

悲观链下扩容的核心思想是将交易放到链下执行，利用密码学或者硬件的方式，对链下执行的交易生成一定的执行证明。链上节点通过验证执行证明，来确认并保证链下节点是按照正确的执行过程执行交易，而没有恶意篡改交易执行结果。

常用的密码学实现悲观链下扩容的方式有零知识证明 (ZKPs, Zero-Knowledge Proofs)。它允许一方（证明者）向另一方（验证者）证明其拥有某个信息或某个声明是真实的，而无需透露实际的信息细节。ZK Rollup 是一种基于零知识证明的扩

容方案。在 ZK Rollup 中，链下交易被分批处理，并生成加密的有效性证明，以验证每批交易的真实性和有效性。这些有效性证明被添加到链上节点中，从而将批量交易合并到链上。一旦提交，这些证明可以由链上的智能合约迅速验证，从而有效地处理和确认交易批次。此外，ZK 扩容方案采用多种证明策略，例如 SNARK、STARK、PLONK 和 DARK。它们在数据足迹、证明时间、验证时间、协同风险等方面具有各自的安全性和风险特征。

除了使用密码学中的方法，还有依靠硬件可信执行环境 (TEE, Trusted Execution Environments)，如 intel 的 SGX(Software Guard Extensions) 和 ARM 的 TrustZone，来让帮助链上节点验证链下节点的执行结果。Ekiden[8] 为智能合约提供了保密性，并通过因特尔的 SGX 的 enclave 执行链下合约，将合约执行与共识流程脱钩。FASTKITTEN 利用可靠的执行环境 (TEE)，为任意复杂的智能合约提供了全面支持。FASTKITTEN 通过使用 TEE 来隔离 enclave 内的合同执行，保护其免受潜在恶意用户的攻击。

1.2.2.2 乐观链下扩容

乐观链下扩容借助密码学或者硬件，基于乐观机制，使用欺诈证明。在该方案中，系统乐观地相信交易数据的正确性，而无需对每笔交易进行验证。交易提交后会进入一个等待期，在等待期内，如果没有节点提出异议并提供证据证明存在恶意交易，那么交易将被自动确认并写入区块。乐观链下扩容比较突出的方案是 Arbitrum 和 Optimism，它们结构上相似，但在多方欺诈逻辑和处理兼容性问题上略有差异。

Optimism 采用的是单轮非交互式欺诈证明。验证者将不带可验证证明的状态承诺发送到以太坊上，并质押一定的保证金。这些承诺会有一个挑战期，在挑战期内视为待处理。如果有人对区块的交易数据提出异议，则需发起挑战且同样数量的质押保证金，即可以通过恶意证明流程使它无效。然后，协议将在链上重新计算所有交易以判定对错，错误方将被罚没保证金，而正确方将获得奖励。当挑战成功的时候它会从状态确认链中删除，然后被另一个状态承诺替代。即使挑战成功，Optimism 也不会回滚，Optimism 的状态和交易顺序不会因为恶意证明挑战成功而修改，只会发布链的状态承诺。如果这个承诺在挑战期内没有被挑战，那么这个承诺就会被视为已确认，以太坊上的智能合约就可以安全的接收基于该承诺的状态证明。

相比于 Optimism 采用单轮非交互欺诈证明，Arbitrum 采用多轮交互型欺诈证明。验证者同样将压缩后的数据同步到链上节点，并质押一定的保证金。当存在节点对区块的交易数据提出异议时，验证者和挑战者在链下通过二分法逐步拆分

争议步骤，最终在链上节点对该步骤进行判定，从而高效解决争议。因为 Arbitrum 需要使用二分法不断确认存在争议的步骤，具体而言对应的是 Arbitrum 虚拟机中的一条指令。并且在二分的过程中会增加交互次数，会增加系统的整体复杂度。除此之外，交互式欺诈证明需要多方参与，让最终挑战完成的时间大于 Optimism 挑战完成的时间。而 Arbitrum 的优点则在于只用验证单步，链上验证的工作量比较小，能够以较低的链上成本解决争议。

除了欺诈证明的链下扩容之外，Liu 等人基于传统的拜占庭容错 (BFT, Byzantine Fault Tolerance)[16] 设计了 Saber 范式，将执行与共识分开。不同组的执行节点可以并行执行交易；同时，共识节点可以异步排序交易和处理执行结果。而且，它不需要执行节点之间的协调，可以有效地防止活锁。Das 等人提出了一种支持异步执行合约调用的随机采样模型 YODA[17]。对于每个合约调用，随机选择一个矿工子集来独立于挖矿过程执行合约代码，并以新交易的形式返回结果。矿工子集的大小需要通过基于似然估计的多轮自适应一致性算法 (MIRACLE, Multi-Round Adaptive Consensus using Likelihood Estimation) 来确定。在 MIRACLE 算法中，矿工计算每个接收到的摘要的可能性，这主要取决于不同摘要的数目和拜占庭节点的数目。如果任何摘要的可能性超过特定阈值，MIRACLE 将宣布其相应的解决方案为正确的。否则，它迭代地选择额外的计算集合，直到某个摘要的可能性越过所需的阈值。

综上所述，能够发现，目前智能合约执行方案可以分成两类，一类是完全把智能合约放到链上执行，并根据区块链中智能合约需要两阶段执行的特点将数据库中的并行执行方案用到智能合约的执行中。这些相关工作分别考虑两个阶段，即它们简单地采用成熟的并发控制协议来发现冲突可序列化调度，而忽略调度信息的一些关键属性，例如有向无环图的并行性。例如，在 Dickerson[5] 的研究中，主节点可能会发现一个可序列化的顺序，其中每个交易都与其先前的交易发生冲突，即生成一个链图。除此之外，这些相关的工作并没有考虑系统中节点的性能。区块链系统中节点的性能不一定是均衡的，可能存在性能比较差的节点。即使引用针对区块链系统的并行技术，而若系统中节点的性能比较差，仍然无法提高系统的整体性能。这是因为区块链系统需要达成共识，而若要完成共识，则需要系统中参与共识的验证节点根据主节点的发布的区块重新执行一遍交易，来完成对主节点状态的验证。而若系统中存在性能较差的节点，当区块打包的交易数目多时，会导致性能较差的节点无法在设计的共识时间内完成投票，使得节点无法参与共识，并让区块验证无法通过，最终影响系统的性能。

另一类则是将智能合约的执行放到链下，减少链上节点的计算负担，提高系

统的性能。因为链下节点不参与链上的共识，并且链上的节点不再执行智能合约，此时要验证智能合约执行的结果是否正确，即链下节点是否诚实地执行智能合约，是链下计算的关键挑战点。然而目前设计的链下计算存在一定的问题。YODA 系统的主要限制是每个智能合约调用都需要由单独的子集执行多轮，并且采样的子集需要相对较大（例如，数百个节点）以减少作弊的可能性。与标准以太坊相比，这些方法可以降低所需的执行的重复程度（例如，从数千个节点到数百个节点），但它们仍然需要大量的冗余，多轮执行过程，这会导致巨大的通信开销，并且完整性破坏的概率不可忽略。此外，像 YODA 这样的系统需要一个无偏分布式随机信标，如 RandHound[19]，负担较大。在 Arbitrum 中如果所有指定的链下执行者都签署了相同的结果，则执行结果将被矿工接受。如果不是所有交易执行者都签署结果，则交易不会立即被接受，而是进入挑战期。签名的执行者和有争议的挑战者需要支付保证金，然后其中之一使用高效的二分法挑战机制证明其结果的正确性。在挑战期间内，合约不能取得进展。最严重的情况可能是在挑战期内，如一个月，合约都无法被调用。同时，在 Arbitrum 中跨合约调用不是原子执行的，不能保证可串行性，长调用链会产生高延迟。Optimism 虽然采用的是单轮非交互式欺诈证明，交互过程相比于 Arbitrum 简单了很多，但如果有挑战，则需要把区块中的所有交易都重放执行一遍，重放成本会比较高。当需要重新计算你的交易过多的时候，甚至可能会受到链上区块大小的限制。Ekiden 可以执行更复杂的合约，但 Ekiden 要求所有 enclave 都是可信的，因为破坏一个 enclave 会使对手可以任意地违反合约的完整性。除此之外，最近的研究表明，TEE 本身也存在一定的安全隐患 [20-24]。对于 Saber 而言，它改变了智能合约的编码范式：合约开发者在开发合约时需要枚举所有的依赖关系，这大大增加了智能合约的编码难度。

因此，目前智能合约的执行方案存在一定的问题，无法兼顾性能与安全，亟须提供一种能够让智能合约的安全和执行的性能得到更好的保障的方法。

1.3 研究内容与创新点

1.4 论文组织架构

第二章 背景知识介绍

2.1 区块链

学位论文一律采用 A4 纸张双面打印, 纸的四周留足空白边缘, 以便装订、复制和读者批注。

2.2 智能合约并行执行技术

硕士学位论文摘要一般不超过 1200 字, 博士学位论文一般不超过 2000 字。关键词三到五个, 用逗号分隔。

2.3 链下扩容技术

1. 目录应两端对齐;
2. 目录页排版只排到二级标题, 即章和节。

2.3.1 测试目录

三级标题 \subsection{} 不应出现在目录当中。

2.4 主体部分

1. 章的标题应居中, 采用小二号黑体; 节的标题左边空两格, 小三号宋体, 加粗。文章段落内容采用小四号宋体。
2. 章与节的题目之间空两行。
3. 节标题与段落内容之间空一行。
4. 关于使用文字、数字的书写法:
 - (a) 应用汉语简化字书写。
 - (b) 世纪、年份一概用阿拉伯数字书写, 并写全数。例: 20 世纪 90 年代; 1998 年不能写成 98 年。
 - (c) 公式均需标注公式号, 公式号用圆括号, 阿拉伯数字表示, 按章编排。例: 第二章第 1 公式编为:

$$X + Y = Z. \quad (2-1)$$

(d) 论文中的物理量、量纲及符号均采用国际标准 (SI) 和国家标准 (GB)。
关于公式, 符号的说明详见第??章。

第三章 智能合约并行执行方案

引用文献采用按照在文中被引用的顺序排序。下文介绍 BibTeX 配合 natbib 宏包的主要使用方法。

在顺序编码制下，默认的 \cite 命令同 \citep 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>	\Rightarrow	<code>[?]</code>
<code>\citett{zhangkun1994}</code>	\Rightarrow	<code>?]</code>
<code>\citep{zhangkun1994}</code>	\Rightarrow	<code>[?]</code>
<code>\cite[42]{zhangkun1994}</code>	\Rightarrow	<code>[?]42</code>
<code>\cite{zhangkun1994,zhugezhen1973}</code>	\Rightarrow	<code>[? ?]</code>

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。

```
\sysussetup{
  cite-style = inline,
}

\cite{zhangkun1994}            $\Rightarrow$  [?]
\citett{zhangkun1994}         $\Rightarrow$  ?]
\citep{zhangkun1994}          $\Rightarrow$  [?]
\cite[42]{zhangkun1994}       $\Rightarrow$  [?]42
\cite{zhangkun1994,zhugezhen1973}  $\Rightarrow$  [? ?]
```

注意，引文参考文献的每条都要在正文中标注`[????????????????????????????????????]`。

第四章 链上链下协同机制方案

4.1 数学符号

论文中使用的符号应符合国家标准《国际单位制及其应用》(GB 3100—1993)、《有关量、单位和符号的一般原则》(GB/T 3101—1993) 的规定。

要特别注意以下几点问题:

1. 数学公式结尾也不可缺少标点符号, 参见式(??), 式(??), 式(??).
2. 向量、矩阵和张量要求粗斜体, 应该使用 `unicode-math` 的 `\symbf` 命令, 如 `\symbf{A}`、`\symbf{\alpha}`。
3. 微分号和积分号使用使用正体, 比如: $\int f(x) dx$ 。
4. 公式中的括号应写作 $\left(\frac{a}{b+c}\right)$, $\left[\frac{a}{b+c}\right]$, $\left\{\frac{a}{b+c}\right\}$, $\left\langle\frac{a}{b+c}\right\rangle$, 而非 $(\frac{a}{b+c})$, $[\frac{a}{b+c}]$, $\{\frac{a}{b+c}\}$, $<\frac{a}{b+c}>$.
注意比较两种形式括号大小的区别. 在 `LaTeX` 可用 `\left(\cdot\right)`, `\left[\cdot\right]`, `\left\{\cdot\right\}`, `\left\langle\cdot\right\rangle` 来实现。
5. 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: $6.4 \times 10^6 \text{ m}$, $9 \mu\text{m}$, $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $10^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ 。

4.2 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, 建议使用 `\eqref` 命令, 比如式 (??),

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} f = \sum_{k=1}^m n(\gamma; a_k) \mathcal{R}(f; a_k). \quad (4-1)$$

多行公式尽可能在“=”处对齐, 可根据编号形式的需要使用 `align` 或 `equation+aligned` 环境, 请参考如下示例:

`align` 模式:

`\begin{align}`

`a \& = b + c + d + e \\\`

`\& = f + g.`

`\end{align}`

$$a = b + c + d + e \quad (4-2)$$

$$= f + g. \quad (4-3)$$

equation + aligned 模式:

```

\begin{equation}
  \begin{aligned}
    a &= b + c + d + e \\
    &= f + g.
  \end{aligned}
\end{equation}

```

$$\begin{aligned}
 a &= b + c + d + e \\
 &= f + g.
 \end{aligned}
 \tag{4-4}$$

4.3 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 `thoerem`、`proof` 等环境。

定理 4.1 (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

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\frac{\sqrt{n}(\bar{X}_n - \mu)}{\sigma} \leq z\right) = \Phi(z), \tag{4-5}$$

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`、`remar`、`problem`、`conjecture` 这些相关的环境。

第五章 总结与展望

5.1 插图

图片通常在 **figure** 环境中使用 `\includegraphics` 插入，如图 ?? 的源代码。建议矢量图片使用 PDF 格式，比如数据可视化的绘图；照片应使用 JPG 格式；其他的栅格图应使用无损的 PNG 格式。注意，LaTeX 不支持 TIFF 格式；EPS 格式已经过时。

图片的标题应置于图片下方。

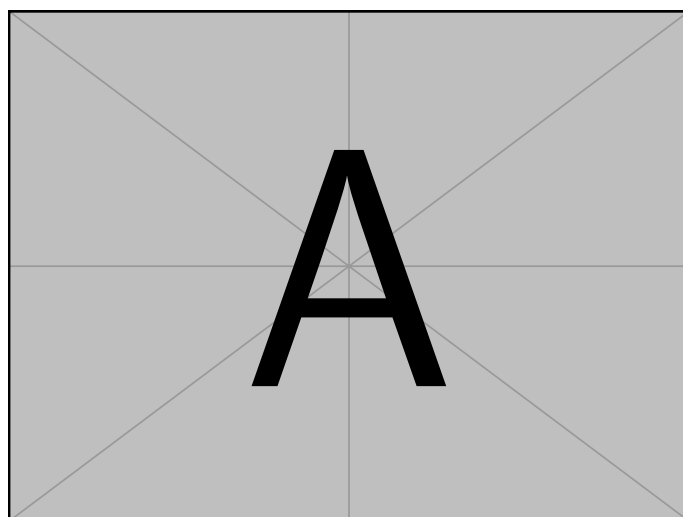


图 5-1 示例图片

若图或表中有附注，采用英文小写字母顺序编号，附注写在图或表的下方。

如果一个图由两个或两个以上分图组成时，各分图分别以 (a)、(b)、(c)..... 作为图序，并须有分图题。推荐使用 **subcaption** 宏包来处理，比如图 ?? 和图 ??。

5.2 表格

表应具有自明性。为使表格简洁易读，尽可能采用三线表，如表 ??。三条线可以使用 **booktabs** 宏包提供的命令生成。

表格的标题应置于表格上方。

表格如果有附注，尤其是需要在表格中进行标注时，可以使用 **threeparttable** 宏包，用英文小写字母 a、b、c.....顺序编号。

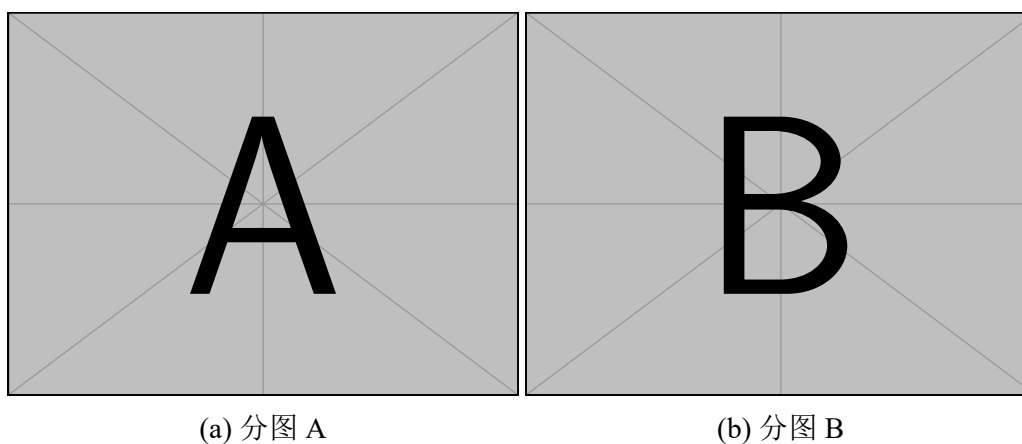


图 5-2 多个分图的示例

表 5-1 三线表示例

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

表 5-2 带附注的表格示例

文件名	描述
thuthesis.dtx ^a	模板的源文件，包括文档和注释
thuthesis.cls ^b	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

^a 可以通过 xelatex 编译生成模板的使用说明文档；使用 xetex 编译 thuthesis.ins 时则会从 .dtx 中去除掉文档和注释，得到精简的 .cls 文件。

^b 更新模板时，一定要记得编译生成 .cls 文件，否则编译论文时载入的依然是旧版的模板。

第六章 L^AT_EX 模板使用指南

6.1 环境配置

1. 本地环境
下载安装最新版 TexLive 或 MikTeX。
2. 在线环境
Overleaf。

6.2 编辑文件

1. sysusetup.tex: 填写标题、作者、导师、学位名称等信息。
2. data/abstract.tex: 填写中英文摘要。
3. data/denotation.tex: 填写符号与缩略语, 注意按音序排序。
4. data/chapxx.tex: 各章内容, 如有章节增删请在 main.tex 中修改相关记录。
5. data/appendix.tex: 附录。
6. data/works.tex: 学术成果。
7. data/acknowledgements.tex: 致谢。
8. ref/refs.bib: 引文数据库。
9. main.tex: 主文件, 用于控制文档选项 (字体, 学位类别):

(a) 学术硕士: `\documentclass[degree=master]{sysuthesis};`

(b) 专业硕士: `\documentclass[degree=master,degree-type=professional]{sysuthesis};`

(c) 博士: `\documentclass[degree=doctor]{sysuthesis}。`

指定论文要包括的部分, 如摘要、目录、正文各章节、附录、引文数据库等等。(注意插入每章内容之后要加 `\cleardoublepage` 以保证在打印版中各章都从右边开始):

```
\input{data/chap01}
\cleardoublepage
\input{data/chap02}
\cleardoublepage
```

```
\input{data/chap03}  
\cleardoublepage
```

除上述文件外，如无必要请勿修改其他重要文件，如 `sysuthesis-numeric.bst`（用于控制引文格式），`sysuthesis.cls`（文档类，用于控制文档显示的样式）等。

6.3 编译文档

可直接在命令行中使用 `latexmk` 命令，也可自己在编辑器中设置快捷键等。

为保证字体严格符合学校规定，建议终版文档在 Windows 平台上编译或在其他平台上安装 Windows 字体并修改 `main.tex` 中的文档选项，指定使用 Windows 字体。

```
\documentclass[degree=doctor, fontset=windows]{sysuthesis}
```

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。

A.1 图表示例

A.1.1 图

附录中的图片示例（图 ??）。

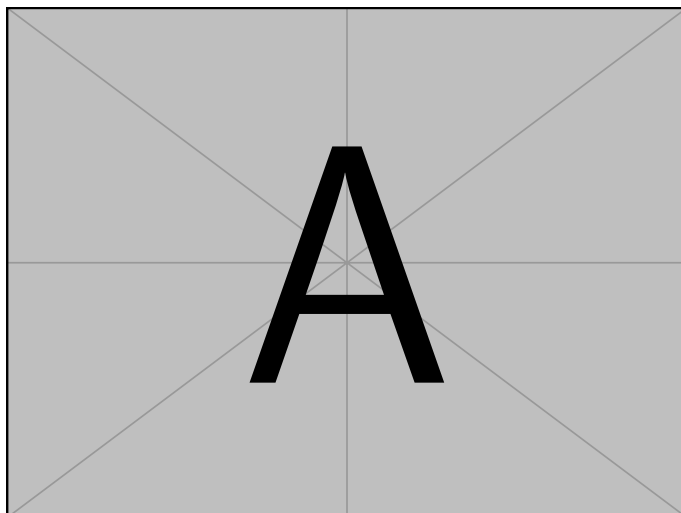


图 1-1 附录中的图片示例

A.1.2 表格

附录中的表格示例（表 ??）。

A.2 数学公式

附录中的数学公式示例（公式 ??）：

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

表 1-1 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

在学期间完成的相关学术成果

学术论文:

- [1] Yang Y, Ren T L, Zhang L T, et al. Miniature microphone with silicon-based ferroelectric thin films[J]. Integrated Ferroelectrics, 2003, 52:229-235.
- [2] 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 硅基铁电微声学器件中薄膜残余应力的研究 [J]. 中国机械工程, 2005, 16(14):1289-1291.
- [3] 杨轶, 张宁欣, 任天令, 等. 集成铁电器件中的关键工艺研究 [J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(S4):192-193.
- [4] Yang Y, Ren T L, Zhu Y P, et al. PMUTs for handwriting recognition. In press[J]. (已被 Integrated Ferroelectrics 录用)

专利:

- [5] 任天令, 杨轶, 朱一平, 等. 硅基铁电微声学传感器畴极化区域控制和电极连接的方法: 中国, CN1602118A[P]. 2005-03-30.
- [6] Ren T L, Yang Y, Zhu Y P, et al. Piezoelectric micro acoustic sensor based on ferroelectric materials: USA, No.11/215, 102[P]. (美国发明专利申请号)

致 谢

衷心感谢导师 ××× 教授和物理系 ×× 副教授对本人的精心指导。他们的言传身教将使我终生受益。

在美国麻省理工学院化学系进行九个月的合作研究期间，承蒙 Robert Field 教授热心指导与帮助，不胜感激。

感谢 ××××× 实验室主任 ××× 教授，以及实验室全体老师和同窗们学的热情帮助和支持！

本课题承蒙国家自然科学基金资助，特此致谢。