



清华大学

# 综合论文训练

## 操作系统宏内核的任务管理组件设计与实现

系 别： 计算机科学与技术系

专 业： 计算机科学与技术

姓 名： 俞 颖 妍

指导教师： 戴 桂 兰 助理研究员

副指导教师： 陈 渝 副教授

二〇二五年四月



## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解清华大学有关保留、使用综合论文训练论文的规定，即：学校有权保留论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

作者签名：

导师签名：

日 期：

日 期：



## 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

第 1 章 引 言.....	1
1.1 课题背景 .....	1
1.2 相关研究工作 .....	1
1.3 组件化操作系统 .....	2
1.4 本文工作 .....	3
第 2 章 基座代码架构分析.....	4
2.1 整体架构概述 .....	4
2.2 基座代码的任务管理组件 .....	4
2.3 实现基础宏内核操作系统 .....	5
第 3 章 Starry-Next 框架分析.....	6
3.1 框架总体架构 .....	6
3.2 与基座代码的接口分析 .....	6
3.3 Starry-Next 中的任务管理模块 .....	6
第 4 章 任务管理组件设计与实现.....	7
4.1 开发环境与工具 .....	7
4.2 模块总体设计思路 .....	7
4.3 模块完成思路 .....	7
4.4 实现细节 .....	7
第 5 章 任务管理组件测试与分析.....	8
5.1 测试用例 .....	8
5.2 自己编写简单测例 .....	8
5.3 测试结果分析 .....	8
第 6 章 结 论.....	9
参考文献.....	10
附录 A 补充内容 .....	11
致 谢.....	13
声 明.....	14





# 第 1 章 引 言

## 1.1 课题背景

（课题背景与目标。）

操作系统（Operating System, OS）是计算机系统的核心软件，承担着管理和协调计算机硬件与软件资源的重任，其性能和功能直接影响着整个系统的运行效率和用户体验。而以 Linux 为代表的宏内核操作系统凭借其在资源管理和系统调用方面的高效性，在服务器、个人计算机等领域被广泛应用，支撑着大量业务的稳定运行与高效管理。但随着信息技术领域的快速发展，云计算、物联网等新兴技术不断涌现，计算机设备的应用场景日益复杂，对操作系统的灵活性和可扩展性提出了更高的要求。面对种类繁多、功能各异的设备，操作系统需要灵活适配、快速响应不同设备的多样化需求，而传统的宏内核操作系统将所有功能均放在单一的内核空间中实现，服务高度集中化，虽然能避开复杂的进程间通信机制，减少用户态和内核态之间的切换开销，提高系统调用效率，却也导致了内核代码规模庞大，可维护性和可扩展性较差，难以复用到资源差异较大的异构平台，而未熟练掌握内核开发技能的用户又难以针对不同场景需求开发适配的内核，因此一个能支持用户自由搭建所需功能的组件化宏内核操作系统便显得尤为重要（BrickOS: 面向异构硬件资源的积木式内核）。

任务管理作为宏内核操作系统的核心功能，负责高效调度任务、合理分配资源等关键工作，从而保障整个系统的有序运行，因此在搭建组件化操作系统的过程中首先且必须要实现的便是任务管理组件。（补充）

本课题旨在基于支持组件可重用设计的组件化操作系统基层架构 ArceOS，搭建其上层系统调用，从而设计并封装出能直接支持 Linux 应用的组件化宏内核操作系统的任务管理组件，帮助定制更便捷、高效、安全的宏内核操作系统。

## 1.2 相关研究工作

（1. 组件化操作系统的理论研究现状；

2. 对已有的 OS 实现现状（如 byteos、dragonos、新绽）进行简单分析与介绍。）

在组件化操作系统的理论研究方面，众多学者均对其架构方式、设计原则以及运行机制进行了深入的探讨。（待补充综述）

目前，已有多个操作系统对宏内核操作系统进行了各自的设计尝试与实现，其

中 ByteOS、DragonOS 以及星绽操作系统均使用 Rust 语言开发并提供了完备的宏内核相关功能，兼容 Linux 应用，他们的实现为本课题的设计研究提供了宝贵的借鉴经验。

ByteOS 是一个开源的操作系统项目，将进程管理、内存管理、文件系统等核心模块紧密集成，实现了较为简洁的宏内核架构。在任务管理方面，ByteOS 使用进程控制块（PCB）作为管理进程的数据结构，记录进程状态、优先级、程序计数器等关键信息，线程管理同样使用类似的线程控制块（TCB）来管理线程的上下文信息，包括陷阱帧、信号掩码、子线程退出标志、信号队列、退出信号和线程退出码等。ByteOS 支持多种硬件平台，如 riscv64、aarch64、x86\_64、loongarch64 等，并能在这些平台上运行 Linux 应用程序。

DragonOS 同样基于宏内核架构，是一个面向云计算轻量化场景的，完全自主内核的 64 位操作系统。其内核包含完备的宏内核操作系统所需功能，并实现了优秀的内存管理模块，对内核空间 and 用户空间的内存分配、释放、管理等进行了封装，在任务管理方面也实现了完善的进程管理和多核调度，并支持内核线程和 kthread 机制，为内核线程的创建和管理提供了方便的接口，保证系统能高效处理各种任务。

星绽操作系统则致力于充分发挥 Rust 潜力，以安全高效的方式实现 Linux ABI 并满足专有内核模块的业务需求。星绽操作系统的任务管理机制在任务创建、调度、同步与通信以及退出等方面都有其独特的设计和实现，在任务调度上也会根据任务的状态和资源需求进行动态调整。

### 1.3 组件化操作系统

- （1. 结合上面的研究现状，介绍什么是宏内核下的组件化操作系统；
2. 介绍任务管理模块：进程与线程、任务状态与生命周期、任务调度策略；
3. 简要描述宏内核架构下的任务管理地位，并说明任务管理是怎样参与到一个操作系统宏内核的构建与运行中去的。）

宏内核下的组件化操作系统在传统宏内核基础架构上进行创新发展，将操作系统的各个核心功能封装为独立的组件，各功能不再紧耦合，而是在通过组件间的标准化接口进行交互与协作。这种架构模式既能保留宏内核的高性能优势，又能赋予系统良好的可维护性与灵活的可扩展性，从而大幅拓展宏内核操作系统的应用范围。

任务管理模块作为组件化操作系统的关键组成部分，通过管理进程与线程、控制任务状态与生命周期以及灵活进行任务调度来实现对宏内核核心功能的支持。

进程作为系统资源分配和 CPU 调度的基本单位，是程序在计算机中的一次动态执行过程，每个进程都拥有独立的地址空间及系统资源，一般通过进程控制块来实现对进程状态、优先级、资源占用等信息的精确记录。而线程作为进程内的轻量级执行单元，则通过线程控制块来实现，通过共享进程的资源实现协同工作，但也拥有独立的线程栈和程序计数器以实现独立调度，保证资源的高效利用。任务状态描述了任务在执行过程中的不同阶段，常见的任务状态包括就绪态、运行态、阻塞态和终止态，任务状态的转换构成了任务的生命周期，通过任务管理模块进行监控和控制。而任务调度策略的核心目标是平衡公平性与效率，基于此存在一系列策略对任务的状态进行管理与切换，常见策略包括时间片轮转（Round-Robin, RR）、先来先服务（First Come First Serve, FCFS）、多级反馈队列调度（Multi-Level Feedback Queue, MLFQ）等，通过灵活运用各种调度策略，操作系统能根据任务特点和资源情况对 CPU 资源进行高效分配，提升系统效率，满足不同应用场景的需求。

在宏内核架构中，任务管理模块贯穿操作系统的整个运行过程，在系统启动阶段负责任务相关数据结构与资源的初始化，在系统运行过程中则与内存管理、文件系统等模块协作，调度任务、管理资源，并在系统运行结束后回收相关资源，保障系统能够高效、稳定地运行。

## 1.4 本文工作

（概述本文主要工作，如何基于单位内核组件实现直接支持 Linux 应用的组件化宏内核。）

本文旨在实现高效、完备、可靠的宏内核任务管理组件，将基于基座代码 ArceOS 中的单位内核组件以及 Starry-Next 整体框架展开深入研究与实践，通过对任务管理相关数据结构的设计运用、系统调用接口的补全实现以及对整个任务管理组件功能与性能的集成测试，实现对组件化宏内核的核心支持。

此外，本课题同时为 ArceOS 及 Starry-Next 框架中的任务相关功能与接口提供了详细的说明文档，以供使用者参阅。

本文分为 6 个章节，在第一章介绍课题背景及组件化宏内核相关研究工作，在第二章将介绍本课题所使用的基座代码 ArceOS 的整体架构以及任务管理相关单元模块，在第三章则将对 Starry-Next 框架进行介绍、接口分析及任务管理模块的相关功能，在第四章将介绍任务管理组件的设计与实现，在第五、六章则将分别对组件进行测试分析以及最终总结。

## 第 2 章 基座代码架构分析

### 2.1 整体架构概述

（介绍 ArceOS，给出总体分析。）

ArceOS 是一个使用 Rust 语言编写的实验性模块化微虚拟机操作系统，它具有高度的可定制性和灵活性，旨在提供一个高效、安全且易于扩展的操作系统平台，为各种特定场景的应用提供可定制性的操作系统底层支撑。ArceOS 采用模块化设计，以比传统设计更细粒度的划分将操作系统拆分为多个独立的模块，如运行时模块、任务管理模块、设备驱动模块等，并依赖 Rust 语言的包管理机制来实现模块的组件化，为每个模块提供明确的功能和接口，模块之间通过接口进行良好交互。ArceOS 中的组件分为两类，与操作系统功能无关的称为元件，位于最底层，为其上层的组件提供可重用的数据结构、硬件处理等相关操作，而与操作系统相关的组件则称为模块，位于需要依赖特定操作系统的需求进行特定的修改，其位于元件的上层，通过调用元件层的基础功能实现对操作系统基本功能的支持。

由于 ArceOS 的底层元件具有高度的可定制性和灵活性，其可以针对不同的应用需求定制出轻量级的操作系统，提高资源利用率和性能，这也为本课题基于 ArceOS 开发组件化宏内核操作系统提供了便利的支撑，在实现过程中不再需要深入探究可复用的底层操作系统知识，而只需关注相关接口以及模块层提供的功能支持，针对宏内核的功能需求对模块层进行相关调用与修改，将其封装成完备的系统调用与宏内核操作系统进行交互，即可便利快捷地实现操作系统上层的任务管理组件，实现任务的创建、调度等管理需求。

### 2.2 基座代码的任务管理组件

（对 ArceOS 任务管理相关核心组件进行介绍，功能介绍与实现分析：

1. axruntime：运行时；
2. axtask：任务管理与调度；
3. axns：命名空间。）

axruntime 是 ArceOS 的运行时库，任何使用 ArceOS 的应用程序都需要链接该库。它负责在进入应用程序的 main 函数之前进行一系列的初始化工作，确保系统在一个合适的状态下运行用户程序。

## 2.3 实现基础宏内核操作系统

（如何使用基座框架实现基础宏内核操作系统并运行简单用户程序，这一部分之前总结过，需将其整理拟合成符合论文要求的表达。）

## 第 3 章 Starry-Next 框架分析

### 3.1 框架总体架构

描述 Starry-Next 框架的整体架构、模块分布及以组件为单位的功能、运行方式。

### 3.2 与基座代码的接口分析

1. 分析 Starry-Next 是基于什么与 ArceOS 交互的，都有哪些接口；
2. 描述这些接口是如何相互依赖、运行从而支持一个宏内核的。

### 3.3 Starry-Next 中的任务管理模块

1. 描述一开始 Starry-Next 框架中的任务管理模块，给出细化的功能描述以及如何成功运行以及如何与其他模块、基座代码交互；
2. 介绍本文如何基于 Starry-Next 框架完成任务管理相关功能与系统调用。

## 第 4 章 任务管理组件设计与实现

### 4.1 开发环境与工具

编程语言、开发工具、实验环境的搭建。

### 4.2 模块总体设计思路

描述任务管理组件这一个整体将如何运行（着重于新增的部分）：

1. 与其他组件的交互关系；
2. 任务数据结构设计；
3. 任务创建、销毁、切换设计。

### 4.3 模块完成思路

如何一步步实现相关系统调用：

1. 重要系统调用的介绍与分析；
2. 系统调用逐步实现安排；
3. 如何基于 arceOS 基座代码进行系统调用的实现与接入（着重于新增的部分）；
4. 不同（任务组件内以及不同组件间）系统调用如何相互影响和依赖。

### 4.4 实现细节

1. 如何在实际 Starry-Next 框架中实现相关系统调用（基于毕设进展文档，总结实现过程）；
2. 结合进展文档给出实现过程中的问题、挑战与解决方法。

## 第 5 章 任务管理组件测试与分析

### 5.1 测试用例

使用操作系统大赛测例作为测试用例与指标：

1. 介绍评价指标（测例）；
2. 介绍测试方式与主要测试内容。

### 5.2 自己编写简单测例

如何自己编写简单测例：过程与例子。

### 5.3 测试结果分析

测试过程与结果：

1. 功能测试；
2. 性能测试？



## 第 6 章 结 论

总结与展望。

## 参考文献

## 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

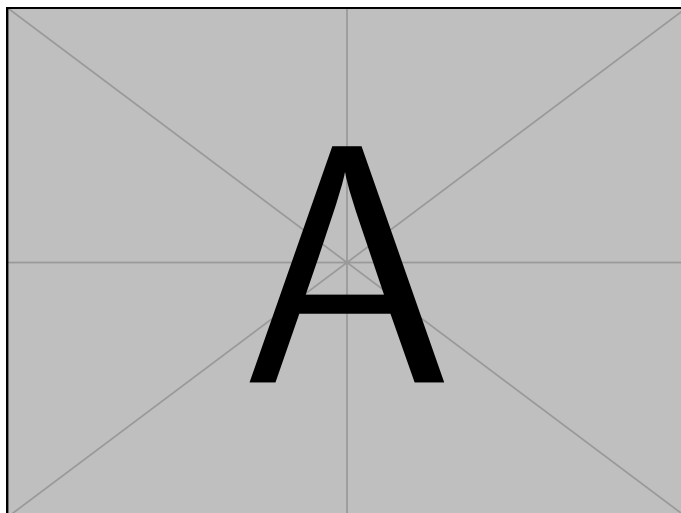


图 A.1 附录中的图片示例

### A.2 表格

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

### 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<sup>[1]</sup>中的参考文献引用<sup>[2]</sup>示例<sup>[1-2]</sup>。

#### 参考文献

- [1] Dupont B. Bone marrow transplantation in severe combined immunodeficiency with an unrelated mhc 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.
- [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.

## 致 谢

衷心感谢导师戴桂兰老师和陈渝副教授对本人的悉心指导，他们的言传身教和不懈的鼓励帮助将使我终生受益。

感谢软件所以及清华东升基地全体老师和同学们的热情帮助和支持！

## 声 明

本人郑重声明：所呈交的综合论文训练论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文的研究成果不包含任何他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

签 名：\_\_\_\_\_ 日 期：\_\_\_\_\_