****

**毕 业 论 文**

题 目 面向GPGPU的节能型共享

缓存替换算法设计与实现

姓 名 张博文

学 号 13070031

指导教师 蔡旻

日 期

**北京工业大学**

毕业设计（论文）任务书

题目

专业 学号 姓名

主要内容、基本要求、主要参考资料等：

**主要内容：**

**基本要求：**

2、

3、

**时间安排：**

**参考文献：**

完成期限：201\*年\*\*月\*\*日

指导教师签章：

专业负责人签章：

201\*年 \*\* 月 \*\* 日

**独 创 性 声 明**

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名： 日期：

**关于论文使用授权的说明**

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，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。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签名： 导师签名： 日期：

**摘要**

最初处理器的体系结构，是cpu负责系统中一切的事务。后来诞生了GPU(Graphics Processing Unit)，即“图形处理单元”来负责处理浮点运算，3D图形处理等事务加快了系统的运行速度。GPU有着优秀的浮点计算能力与大量的计算单元并且随着GPU的通用性与处理性能的进一步提高以及，人们开始意识到GPU在通用计算领域中的巨大潜力。近些年来GPU被广泛的用于高性能的通用计算当中并且获得了良好的效果。这时现有的GPU，CPU分离并且独立运行的体系结构成了提升效率的瓶颈。原因是由于CPU和通用GPU是通过PCI-e总线互联，组成CPU-GPU分离的异构体系结构。传统的CPU-GPU分离的体系结构，CPU与GPU独立存在，CPU有自己的储存系统，GPU也有自己独立的储存结构称为显存，两者的通信通过PCI-e总线传输，而总线传输的带宽是有限的并且会消耗时间。所以PCI-e总线的数据传输带宽限制着CPU-GPU异构系统性能的提升。为了屏蔽传输延迟对性能提升造成的阻碍，CPU-GPU融合的体系结构被提出。CPU-GPU融合的体系结构是CPU与GPU被內建在同一块芯片上，突破了PCI-e总线限制，通过共享缓存（Cache）来实现数据的交互，极大加快CPU和GPU间数据交互，可以明显的提高运行的效率。然而新的体系结构就会出现新的问题，由于CPU与GPU本身的结构的不同，其运行的程序也有所不同，这就造成了CPU与GPU的访存特点存在着差异。此差异就会影响两者之间的共享缓存效率，会使整体效率提升不大，甚至降低效率。本课题主要对运行在gpu上的程序与gpu访存特性，与cpu-gpu融合异构的结构特点进行分析。研究cache的替换算法使共享缓存，提升效率

关键词：GPU ；(词) ；… ；(词)

*摘要是论文内容的简要陈述，应尽量反映论文的主要信息，内容包括研究目的、方法、成果和结论，不含图表，不加注释，具有独立性和完整性。中文摘要一般为400 字左右，英文摘要应与中文摘要内容完全相同。“摘要”字样位置居中。*

*关键词是反映毕业设计（论文）主题内容的名词，是供检索使用的。主题词条应为通用技术词汇，不得自造关键词，尽量从《汉语主题词表》中选用。关键词一般为3~5个，按词条外延层次（学科目录分类），由高至低顺序排列。关键词排在摘要正文部分下方。*

**Abstract**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*.

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*.

**Keywords：**\*\*\*\*\*;\*\*\*\*\*\*\*;\*\*\*\*

*注：英文摘要与中文摘要的内容应一致，在语法、用词上应准确无误。*

**目录**

**[摘要](#_Toc480468778)** [I](#_Toc480468778)

**[Abstract](#_Toc480468779)** [II](#_Toc480468779)

**[1.绪论](#_Toc480468780)** [1](#_Toc480468780)

**[1.1](#_Toc480468781)****[研究背景](#_Toc480468781)** [1](#_Toc480468781)

**[1.1.1](#_Toc480468783)****[处理器体系结构](#_Toc480468783)** [1](#_Toc480468783)

**[1.1.2](#_Toc480468784)****[CPU-GPU融合架构](#_Toc480468784)** [1](#_Toc480468784)

**[1.1.3](#_Toc480468784)****[末级高速缓存](#_Toc480468784)** [1](#_Toc480468784)

**[1.2](#_Toc480468782)****[研究问题和研究意义](#_Toc480468782)** [1](#_Toc480468782)

**[1.3](#_Toc480468785)****[论文组织结构](#_Toc480468785)** [1](#_Toc480468785)

**[2.相关背景](#_Toc480468788)** [2](#_Toc480468788)

**[2.1](#_Toc480468789)****[\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468789)** [2](#_Toc480468789)

**[2.1.1](#_Toc480468790)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468790)** [2](#_Toc480468790)

**[2.1.2](#_Toc480468791)****[\*\*\*\*\*](#_Toc480468791)** [2](#_Toc480468791)

**[2.1.3](#_Toc480468792)****[\*\*\*](#_Toc480468792)** [2](#_Toc480468792)

**[2.2](#_Toc480468793)****[\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468793)** [2](#_Toc480468793)

**[2.2.1](#_Toc480468794)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468794)** [2](#_Toc480468794)

**[2.2.2](#_Toc480468795)****[\*\*\*](#_Toc480468795)** [3](#_Toc480468795)

**[2.2.3](#_Toc480468796)****[\*\*\*](#_Toc480468796)** [4](#_Toc480468796)

**[2.3](#_Toc480468797)****[本章小结](#_Toc480468797)** [4](#_Toc480468797)

**[3.CPU，GPU访存行为分析](#_Toc480468798)** [5](#_Toc480468798)

**[3.1 Gem5-Gpu简介](#_Toc480468799)** [5](#_Toc480468799)

**[3.2](#_Toc480468800)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468800)** [5](#_Toc480468800)

**[3.3](#_Toc480468801)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468801)** [5](#_Toc480468801)

**[3.4](#_Toc480468802)****[本章小结](#_Toc480468802)** [5](#_Toc480468802)

**[4.](#_Toc480468803)****[\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468803)** [6](#_Toc480468803)

**[4.1](#_Toc480468804)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468804)** [6](#_Toc480468804)

**[4.1.1](#_Toc480468805)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468805)** [6](#_Toc480468805)

**[4.1.2](#_Toc480468806)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468806)** [6](#_Toc480468806)

**[4.2](#_Toc480468807)****[\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468807)** [6](#_Toc480468807)

**[4.2.1](#_Toc480468808)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468808)** [6](#_Toc480468808)

**[4.2.2](#_Toc480468809)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468809)** [6](#_Toc480468809)

**[4.3](#_Toc480468810)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468810)** [6](#_Toc480468810)

**[4.4](#_Toc480468811)****[本章小结](#_Toc480468811)** [6](#_Toc480468811)

**[5.](#_Toc480468812)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468812)** [7](#_Toc480468812)

**[5.1](#_Toc480468813)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468813)** [7](#_Toc480468813)

**[5.2](#_Toc480468814)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468814)** [7](#_Toc480468814)

**[5.3](#_Toc480468815)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468815)** [7](#_Toc480468815)

**[5.3.1](#_Toc480468816)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468816)** [7](#_Toc480468816)

**[5.3.2](#_Toc480468817)****[\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*](#_Toc480468817)** [7](#_Toc480468817)

**[5.3.3](#_Toc480468818)****[\*\*\*\*\*](#_Toc480468818)** [7](#_Toc480468818)

**[5.4](#_Toc480468819)****[本章小结](#_Toc480468819)** [7](#_Toc480468819)

**[结论](#_Toc480468820)** [8](#_Toc480468820)

**[参考文献](#_Toc480468821)** [9](#_Toc480468821)

**[致谢](#_Toc480468822)** [10](#_Toc480468822)

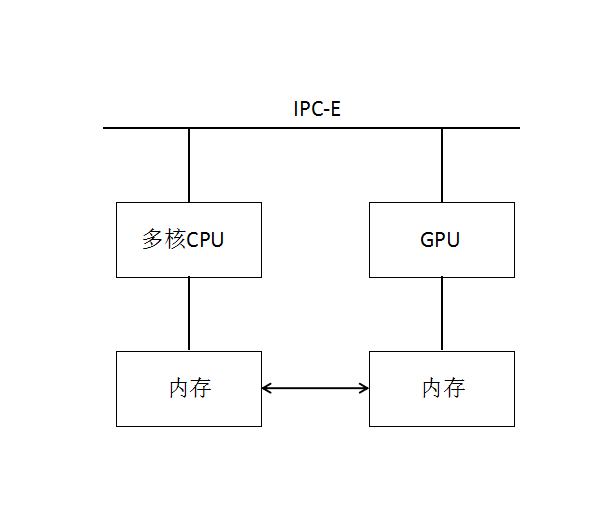
# 绪论

最初处理器的体系结构，是cpu负责系统中一切的事务。后来诞生了GPU(Graphics Processing Unit)，即“图形处理单元”来负责处理浮点运算，3D图形处理等事务加快了系统的运行速度。GPU有着优秀的浮点计算能力与大量的计算单元并且随着GPU的通用性与处理性能的进一步提高以及，人们开始意识到GPU在通用计算领域中的巨大潜力。近些年来GPU被广泛的用于高性能的通用计算当中并且获得了良好的效果。这时现有的GPU，CPU分离并且独立运行的体系结构成了提升效率的瓶颈。原因是由于CPU和通用GPU是通过PCI-e总线互联，组成CPU-GPU分离的异构体系结构。传统的CPU-GPU分离的体系结构，CPU与GPU独立存在，CPU有自己的储存系统，GPU也有自己独立的储存结构称为显存，两者的通信通过PCI-e总线传输，而总线传输的带宽是有限的并且会消耗时间。所以PCI-e总线的数据传输带宽限制着CPU-GPU异构系统性能的提升。为了屏蔽传输延迟对性能提升造成的阻碍，CPU-GPU融合的体系结构被提出。CPU-GPU融合的体系结构是CPU与GPU被內建在同一块芯片上，突破了PCI-e总线限制，通过共享缓存（Cache）来实现数据的交互，极大加快CPU和GPU间数据交互，可以明显的提高运行的效率。然而新的体系结构就会出现新的问题，由于CPU与GPU本身的结构的不同，其运行的程序也有所不同，这就造成了CPU与GPU的访存特点存在着差异。此差异就会影响两者之间的共享缓存效率，会使整体效率提升不大，甚至降低效率。

* 1. **研究背景**

### **处理器的体系结构**

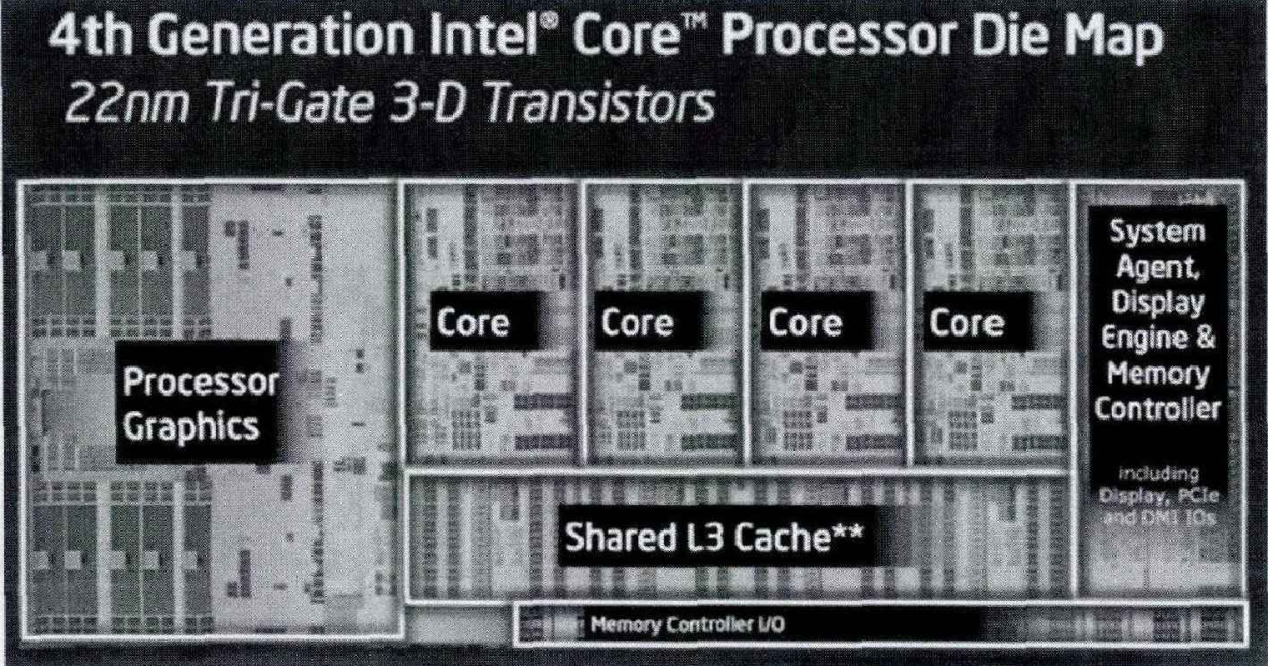
随着计算机领域的高速发展，作为计算核心的处理器的发展显得尤为重要。处理器发展呈现两种发展方向。其一是通用化方向的发展，其代表就是中央处理器CPU。CPU作为目前处理器的核心部件，需要负责复杂的算数逻辑运算的同时还需要负责协调系统内各个部件的运行。近些年来随着集成技术的发展与并行化的推进，CPU的处理器频率，集成度和并行化都得到了极大地提升。但由于CPU需要处理的事务复杂并且全面，所以对于一些特定的事务如图形处理和科学计算这类需要大量的浮点计算的事务的效率提升显得力不从心。这时就需要有特定的处理器来专门处理此类事务，这也是处理器发展方向的另一种目的及专业化。由于数字信号处理，图形处理等大处理量的处理需求，专业化处理器的代表性处理器，负责数字信号处理的DSP (Digital Singal Processer)，负责图形处理的GPU（Graphics Process Unit）也得到了极大的发展。**图形处理器GPU芯片与CPU芯片有着不同的结构设计，GPU上集成的晶体管数目一直超越摩尔定律的速度发展着，其性能的提升也日新月异。随着图形处理器GPU的发展，它不仅在3D图形处理，如纹理映射（Texture Mapping），图形的坐标位置变换与光照计算（Transforming＆Lighting）等方面得到长足的进步，其在可编程能力、浮点运算以及科学计算能力等方面也在快速的发展着。**需随着GPU在通用化的道路上发展的越来越好，GPU开始越来越频繁的被用于通用计算。GPGPU（General Purpose Graphics Process Unit）的概念也被提出即用于通用计算的GPU。但开始时，GPGPU并没有发挥他全部的实力，因为当时的计算机系统架构呈现是GPU，CPU分离的结构。当时的主流系统是GPU和CPU都有自己独立的储存系统，之间的通讯使用PCI-e总线连接，这是由于这种结构的可实现性与可扩展性很强大。这种系统在运行时CPU调用GPU执行大规模的并行计算，但必须在这一不前先将内存中的数据通过PCI-e总线传输到GPU的显存里面，GPU获得显存后，GPU再利用其非常强悍的并行处理能力完成大规模运算，之后以同样的方式利用PCI-e总线将显存中的数据返回到CPU的内存中。由此看来PCI-e的总线的带宽是影响系统运行效率的主要因素也是主要瓶颈。所以，将两者融合，共用储存系统，是突破数据传输PCI-e总线限制，加快CPU和GPU数据的交互的最明智的方法。



DMA

### **CPU-GPU融合架构**

首先提出融合的是AMD公司，AMD收购了ATI图形处理器制造商后，就制定了将中央处理器CPU和图形处理器融合的计划“fusion”。在2009年下半年度的发布会，AMD发布了一种新概念处理器，APU即Accelerated Processing Unit加速处理器。这种处理器采用了45纳米工艺，继承了图形处理器和中央处理器。Intel也在不久后的2010年发布了第一代的融合GPU的处理器，同样是45纳米工艺的GPU，Intel采用了32纳米的CPU提升效率，两种处理器被封装在同一块芯片上，处理器之间使用高速的QPI总线连接，减少了CPU与GPU之间的通讯延迟。作为图形处理器领域的首席，NVIDIA也察觉到了AMD与Intel在选择融合GPU与CPU上的正确性，意识到了未来处理器的发展趋势。NVIDIA马上发力先后收购了ULi电子与stexar两家公司，目的是掌握芯片组与x86架构的整体设计能力，为更好地融合两种核心做好充分准备。一年后的六月份即2011年六月，NVIDIA正式宣布了致力于独立开发基于ARM的通用处理器的丹佛计划“Project Danver”。2012年六月，AMD联合ARM，德州仪器，联发科等芯片设计厂商，共同组建了非盈利组织“异构系统架构基金会”，提出了CPU-GPU融合中的新技术hUMA（hererogenrous Unformed Memory Access）。该技术能够实现融合架构中的CPU单元和GPU单元使用统一存储系统，统一寻址。极大的提高了CPU和GPU调度资源的灵活性和效率，极大的降低GPU和CPU因为独立内存寻址带来的数据交互延迟。2014年，AMD发布了的一款使用HSA架构的处理器Kaveri，这是第一次将hUMA技术实际应用于新一代的APU中，有效提高处理器的图形处理能力和工作效率。而CPU和GPU的共享存储层次结构，特别是末级高速缓存的高速共享是由Intel最早提出的。2013年Intel产品发布会上，其发布了经过几代发展的酷睿四代处理器Haswell，其架构为图 所示。



可以看到这代处理器已经集成了GPU，并且是Intel发展史上功能最为强大的锐炬（Iris）显卡。锐炬的执行单元由上一代的20个提升至40个，主频最高可到达1.3Ghz，双向带宽可以到达50GB/s。由此可见，将CPU和GPU融合，內建在同一块芯片上的这种架构，既可以为CPU和GPU之间的协同处理提供便利，还可以使两者共享片上的所有资源，成为处理器在未来的重要发展趋势。

CPU-GPU0融合架构不仅可以提供更低的数据传输延迟，还可以提高硬件的资源利用率，有效地降低系统总成本和能耗。在传统架构上运行的GPU程序，需要调用操作系统的接口服务，不断地与中央处理器CPU进行数据交换，增加了大量的数据交互延迟和操作系统调度产生的功耗。通过将CPU，GPU核心融合在一个芯片上，两者可以共享片上的大多数资源，如末级高速缓存缓存，内存控制器，还可以共享片外的内存，这样就可以突破了传输总线的带宽瓶颈，降低核心间的数据调用和交换延迟。方便的通信使CPU，GPU的合作更加的紧密，浪费更少，提高了系统资源的利用率。

因此，CPU和GPU內建在同一芯片上，共享资源的融合架构。可以实现共享储存资源以及高速紧密的核心间合作。这种架构可以说为芯片制造提供了新思路，提高芯片的计算能力，也将CPU和GPU带到了另一个新高度。

### **末级共享缓存**

随着处理器核心在以超过摩尔定律的速度加速发展的过程中，储存器的发展速度却无法追赶上处理器的发展速度。这一现象就导致了储存墙问题的出现，即指内存性能严重限制CPU性能发挥的现象。目前的主流多核CPU处理器为了解决这一问题大多采用多级储存层次的储存架构来平衡成本，容量和访存效率的存储设备。层次越低的储存层次，存储设备的容量就越大，速度也就越慢，单位价格也更加便宜。连接处理器与内存的就是高速缓存，做为二者之间的桥梁，虽然没有从根本解决储存墙的问题，但从一定程度上缓解了储存墙日益加深的问题。由于处理器和主存间有着很大的速度差距，只有一层高速缓存显然无法解决问题题，因此目前的处理器大多数使用多层次的高速缓存来缓解每层之间的速度差异。

* 1. **研究问题和研究意义**

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

*注：绪论是综合评述前人工作，说明论文工作的选题目的和意义，国内外文献综述，以及论文所要研究的内容。*

* 1. **论文组织结构**

本文开头介绍了研究背景与意义，对传统CPU-GPU架构，CPU-GPU融合的架构，以及末级高速缓存进行了详细的介绍，在第三章，对CPU,GPU的访存行为特点进行了模拟分析。在提出了为了提高效率的缓存替换算法。最后对本文进行总结。各章节的组织方式为：

1. 为绪论部分，展现了本文的研究背景，引出研究的重点得出研究的意义。通过简单介绍CPU，GPU的发展历史以及未来发展方向和传统的CPU-GPU架构的数据传输瓶颈的分析，讲解了CPU-GPU融合架构的必要性和发展的可行性。同时详细的介绍了末级共享缓存，以及其在各种架构中的重要性，重点分析了其在CPU-GPU融合架构中的重要意义以及如今面对的主要问题，最后给出了文章的组织结构。
2. 重点介绍了末级高速缓存的替换策略，重点介绍了缓存替换中的缓存划分和一些主流的替换策略。
3. ，分析了CPU和GPU的不同点与相同点，重点在访存行为上进行分析，简单的介绍了试验中采用的模拟器Gem5-Gpu模拟器。

**相关背景**

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\***

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*如图2.1所示：



图2.1 \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

*关于插图：*

*插图要精选。图序可以连续编序（如 图52），也可以逐章单独编序（如 图6.8），编序方式应与表格、公式的编序方式统一，图序必须连续，不得重复或跳跃。仅有一图时，在图题前加‘附图’字样。*

*由若干个分图组成的插图，分图用a,b,c,……标出。*

*图序和图题置于图下方中间位置。*

### **\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

### **\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\***

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*【1】。

*关于引用文献：*

*正文中引用文献的标示应置于所引内容最后一个字的右上角。当提及的参考文献为文中直接说明时，则用小4号字与正文排齐，如“由文献[8,10～14]可知”。*

*不得将引用文献标示置于各级标题处。*

表2.1 \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| \*\*\* | \*\* | \*\* | \*\*\*\* | \*\* | \*\*\* | \*\*\* |
| \*\* | \*\*\*\* | \*\*\*\* | \*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\* |

*关于插表：论文的表格可以统一编序（如：表15），也可以逐章单独编序（如：表2.5），编序方式应和插图及公式的编序方式统一。表序必须连续，不得重复或跳跃。*

*表格中各栏都应标注量和相应的单位。表格内数字须上下对齐，相邻栏内的数值相同时，不能用‘同上’、‘同左’和其它类似用词，应一一重新标注。*

*表格的结构应简洁。*

*表序和表题置于表格上方中间位置，无表题的表序置于表格的左上方或右上方（同一篇论文位置应一致）。*

### **\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

*数字用法：公历世纪、年代、年、月、日、时间和各种计数、计量，均用阿拉伯数字。年份不能简写，如1999年不能写成99年。*

*数值的有效数字应全部写出，如：0.50:2.00不能写作0.5:2。*

*软件：软件流程图和原程序清单要按软件文档格式附在论文后面。特殊情况可在答辩时展示，不附在论文内。*

*工程图按国标规定装订：图幅小于或等于3#图幅时应装订在论文内，大于3#图幅时按国标规定单独装订作为附图。*

*计量单位的定义和使用方法按国家计量局规定执行。*

### **\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **本章小结**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

*注：论文主体各章后应有一节“本章小结”。*

**CPU，GPU访存行为分析**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **Gem5-Gpu简介**

Gem5-gpu是一款由University of Wisconsin-Madison开发的模拟器。它集成了gem5模拟器与gpgpu-sim模拟器。Gem5结合了m5与gems中最优秀的部分。他是一款可以自由配置，可模块化的离散事件驱动全系统模拟器。并且集成了多种ISA指令集和多种CPU模型。他结合了michigan M5模拟器和Wisconsin GEMS模拟器的优点，包括对存储层次结构的详细模拟，对多种高速缓存一致性等等。GPGPU-sim是由University of British Columbia 大学的Tor Aamodt等人开发，用于仿真GPU体系结构的模拟器。GPGPU-sim重定义了CUDA Runtime函数库中的大部分函数，实现了一个自定义的库文件libcuda.a这样CUDA应用程序中的kernel函数经过NVCC编译形成PTX代码，通过替换CUDA SDK中的common.mk文件，GPGPU-sim允许在模拟器上直接运行大部分CUDA程序。

因此Gem5-GPU将基于Gem5的CPU模拟器和基于GPGPU-Sim的GPU模拟器，整合在一起。Gem5-GPU继承了Gem5大部分的优点，包括用ruby来 模拟片上储存层次结构的互联网络，这养方便用户对模拟器上的互联网络进行修改和配置；用SLICC脚本语言来描述一致性协议，保证CPU和GPU内核间共享数据一致性。相对于其他基于踪迹追踪（trace-driven）的CPU-GPU融合模拟器，例如MacSim，Multi2SIm，FusionSim，Gem5-GPU是基于执行追踪的模拟器。基于踪迹追踪的模拟器是先对程序进行插装，在目标机器上执行生成trace，然后由模拟器执行trace统计信息，所以虽然基于总计追踪的模拟器运行速度快，但是不够准确，对TLB miss等信息无法模拟。基于执行追踪的没模拟器是将每条目标指令解释执行并收集性能信息，模拟详细，准确度高，但是速度相对于踪迹追踪的模拟器要慢。另外Gem5-gpu能完整地模拟GPU程序执行的过程，比GPGPU-sim执行单纯的指令更加准确。

。

 （3.1）

*关于公式：*

*论文中重要的或者后文中须重新提及的公式应注序号并加圆括号，序号一律用阿拉伯数字连续编序（如：（45））或逐章编序（如（6.10）），编序方式应和插图及表格编序方式统一。序号排在版面右侧，且距右边距离相等。公式与序号之间不加虚线。编序方式应和插图及公式编序方式统一。*

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **本章小结**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

**\*\*\*\*\*\*\***

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\***

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **本章小结**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

**\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

### **\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

### **\*\*\*\*\***

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

* 1. **本章小结**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

**结论**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

*注：结论（或结束语）作为单独一章排列，但标题前不加“第XXX章”字样。结论是整个论文的总结，应以简练的文字说明论文所做的工作，一般不超过两页。*

**参考文献**

1. \*\*\*\*.\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*
2. \*\*\*.\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* \*\*\*\*\*\*\*\*\*
3. \*\*\*.\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*
4. \*\*.\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

*注：为了反映论文的科学依据和作者尊重他人研究成果的严肃态度，同时向读者提供有关信息的出处，正文之后一般应刊出主要参考文献。列出的只限于那些作者亲自阅读过的，最重要的且发表在公开出版物上的文献或网上下载的资料。参考文献表上的著作按论文中引用顺序排列，著作按如下格式著录：序号 著者. 书名(期刊). 出版地: 出版社，出版年顺序列出(据GB 7714-87《文后参考文献著录规则》)。*

**致谢**

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

*注：对导师和给予指导或协助完成毕业设计（论文）工作的组织和个人表示感谢。文字要简捷、实事求是，切忌浮夸和庸俗之词。*

**【特别提醒】本模版仅供参考，如因版本等原因发生变化以及其他未尽事宜，请以《北京工业大学本科生毕业设计（论文）撰写规范》为准。**