

本科生毕业设计(论文)

**面向FPGA的软硬件结合异步状态机接⼝设计与实现**

The Subject of Undergraduate Graduation Project (Thesis) of Beijing Institute of Technology

|  |  |
| --- | --- |
| 学 院： | 计算机学院 |
| 专 业： | 人工智能 |
| 班 级： | 07162003 |
| 学生姓名： | 龚思衡 |
| 学 号： | 1120203280 |
| 指导教师： | 陆慧梅 |

20XX 年 月 日

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导老师的指导下独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文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。

特此申明。

本人签名： 日 期： 年 月 日

关于使用授权的声明

本人完全了解北京理工大学有关保管、使用毕业设计（论文）的规定，其中包括：①学校有权保管、并向有关部门送交本毕业设计（论文）的原件与复印件；②学校可以采用影印、缩印或其它复制手段复制并保存本毕业设计（论文）；③学校可允许本毕业设计（论文）被查阅或借阅；④学校可以学术交流为目的,复制赠送和交换本毕业设计（论文）；⑤学校可以公布本毕业设计（论文）的全部或部分内容。

本人签名： 日 期： 年 月 日

指导老师签名： 日 期： 年 月 日

北京理工大学本科生毕业设计（论文）题目

注：此处是中文题目，居中，字体：黑体，加黑，字号：小二，行距：单倍行距，间距：段前、段后均为1行，取消网格对齐选项。阅后删除此文本框。

摘　要

本文……。

摘要正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2个字符；或者手动设置成每段落首行缩进2个汉字，字体：宋体，字号：小四，行距：固定值22磅，间距：段前、段后均为0行。【阅后删除此段】

摘要是一篇具有独立性和完整性的短文，应概括而扼要地反映出本论文的主要内容。包括研究目的、研究方法、研究结果和结论等，特别要突出研究结果和结论。中文摘要力求语言精炼准确，本科生毕业设计（论文）摘要建议300-500字。摘要中不可出现参考文献、图、表、化学结构式、非公知公用的符号和术语。英文摘要与中文摘要的内容应一致。【阅后删除此段】

关键词：北京理工大学；本科生；毕业设计（论文）

注：此处字体：黑体、小四号、加粗；

一般选3-8个单词或专业术语，且中英文关键词须对应。阅后删除此文本框。

注：页脚内容为页码，宋体、五号，居中排列。阅后删除此文本框。

The Subject of Undergraduate Graduation Project (Thesis) of Beijing Institute of Technology

注：正文设置成每段落首行缩进2字符，字体：Times New Roman，字号：小四，行距：固定值22磅，间距：段前、段后均为0行。阅后删除此文本框。

注：此处是英文题目，居中，字体：Times New Roman，加黑，字号：三号，行距：单倍行距，间距：段前、段后均为1行，取消网格对齐选项。阅后删除此文本框。

Abstract

In order to study……

Key Words: BIT; Undergraduate; Graduation Project (Thesis)

注：Key Words与摘要正文之间空一行。Key Words与中文“关键词”一致（3-8个）。词间用分号间隔，末尾不加标点；Times New Roman，小四，加粗。阅后删除此文本框。

目　录

注：此处无需更改。阅后删除此文本框。

[摘　要 I](#_Toc8720747)

[Abstract II](#_Toc8720748)

[第1章 一级题目 1](#_Toc8720749)

[1.1 二级题目 1](#_Toc8720750)

[1.1.1 三级题目 1](#_Toc8720751)

[结　论 3](#_Toc8720752)

[参考文献 4](#_Toc8720753)

[附　录 6](#_Toc8720754)

[致　谢 7](#_Toc8720755)

注：在目录页面中点击鼠标右键，选择“更新域”，在弹出窗口中选择“更新整个目录”，确定即可自动生成目录。章、节标题和页码，字体：宋体，字号：小四，不加粗。阅后删除此文本框。

第1章 引言

1.1 背景

在片上系统（System-on-Chip，SoC）的发展历程中，异构计算一直是一个重要的课题。片上系统的异构计算是指在一个芯片上集成多个不同类型的处理器和加速器，以实现高效、灵活和优化的计算。这种异构计算架构可以充分发挥各种处理器和加速器的优势，针对不同的计算任务进行分配和协同工作，以提高系统的性能和效能。

在异构计算中，常见的处理器和加速器包括以下几方面：一是中央处理器（CPU），CPU是片上系统中最常见的处理器，负责通用计算任务。它具有较强的单线程性能和复杂的控制逻辑，适用于运行操作系统、控制流程和执行串行任务等。二是图形处理器（GPU），GPU主要用于图形渲染和图像处理任务。它具有高并行计算能力和大规模并行处理单元，适合于同时处理大量数据的并行计算，如图像处理、计算机视觉和科学计算等。三是张量处理器（TPU），TPU是专门用于加速人工智能和机器学习任务的处理器。它具有高度优化的矩阵乘法和向量计算单元，能够高效执行深度神经网络的推断和训练任务。四是数字信号处理器（DSP），DSP主要用于数字信号处理和实时控制任务。它具有高效的乘法和累加运算单元，适合于音频处理、视频编解码和通信信号处理等领域。五是硬件加速器（例如FPGA、ASIC），硬件加速器是定制化的处理器，根据特定的计算需求进行设计和优化。FPGA具有可重构的逻辑和数据通路，适合于快速原型开发和灵活的定制化计算。ASIC是专门设计和定制的应用特定集成电路，具有更高的性能和能效，但开发和生产成本较高。

不同处理器和加速器之间通过高速互联通道进行通信和数据传输。根据具体的计算任务和需求，系统可以动态地分配任务给不同的处理器和加速器，以实现最优的计算效果。其中，集成了FPGA与CPU的SoC可同时具备FPGA的⼤规模并发式处理能⼒以及CPU的通⽤计算能⼒。但其也面临着一些问题，在FPGA程序设计中很难⾼效的使⽤到CPU的计算能⼒造成资源浪费。在需要用到大量浮点数及乘除法运算的步骤中，FPGA上计算元器件数量成为瓶颈。因此，可以通过编写FPGA高效使用CPU计算存储资源的异步接口，来提高对CPU计算资源的利用率。同时，CPU对FPGA方面也存在一定的局限性，如FPGA功能较为固定不够灵活。若采用库函数调用封装的方式，使得CPU对FPGA功能的使用更加多变。

本课题的目标是实现一种基于软硬件的FPGA与CPU通信接口，它在保留了CPU与FPGA通信的优势的前提下，一方面可以提高对CPU计算资源的利用率，节省FPGA资源损耗；另一方面可以增强CPU对FPGA调用的灵活程度，提高计算性能。同时，定义一个具备可移植性的接口规范，便于软件与硬件程序员的使用。

1.2 国内外研究现状

目前，基于FPGA的加速器设计主要关注性能和效率[1]。FPGA程序员可以进行如下操作：( 1 )创建由简单(通常是低位宽)计算单元组成的深度定制流水线，而不是完全成熟的ALU；( 2 )构建高度并行和分布式的控制逻辑和片上存储；( 3 )以显式的方式调度数据流，以尽量减少片外存储器访问，而不使用缓存。这与编程微处理器(即CPUs)和通用图形处理单元(也就是说, GPU)形成鲜明对比，后者的底层硬件架构(指令流水线、存储器层次结构等。)是固定的，软件程序的控制流驱动硬件基于指令的执行。FPGA可以针对特定的应用或应用领域进行重新配置/定制[8]，来利用其大规模的细粒度并行性和片上带宽。与CPU和GPU相比，这往往提供了更高的计算吞吐量，更低的能耗和更可预测的延迟。

Griffin Lacey等人指出[2]，对于卷积神经网络(CNN)的推理阶段，微软团队利用FPGA(Stratix V D5)实现了高性能的加速。目前，一些国内外知名公司，如亚马逊、微软、腾讯以及阿里巴巴等，也逐步尝试将FPGA部署到数据中心中，FPGA与CPU协同开发已成为发展的趋势。

在SoC FPGA中CPU和FPGA是紧耦合的[3]，即CPU和FPGA是封装在一个芯片中，通过总线连接，其中CPU通常分为两种：硬核和软核．目前FPGA供应商如Xilinx和Altera提供的最新SoC开发板使用的CPU通常为ARM硬核。SoC FPGA架构的主要特点是集成度高、功耗低及通信带宽较高，通常用于嵌入式应用中。

与SoC FPGA不同，标准FPGA与CPU是松 耦合结构，即FPGA和CPU不在一个芯片中，两者 一般通过PCIe(Peripheral Component Interconnect express)接口等进行连接．由于标准FPGA的芯片中未嵌入微处理器[7]，因此在同等芯片面积的情况下，标准FPGA相比于SoC FPGA中的FPGA逻辑部 分拥有更丰富的硬件资源，能实现更为复杂的应用。对于标准FPGA中CPU和FPGA之间的数据交互，目前常用的方式有两种：基与PCIe总线的数据交互和基于QPI(Quick Path Interconnect)总线的数据交互。

传统的FPGA设计工具主要针对硬件设计专家[4]，而不是软件编程人员。使用传统的寄存器传输级( RTL )方法手动创建和优化加速器架构需要花费大量的精力。人们必须与低级硬件描述语言( HDL )描述和计算机辅助设计( CAD )工具进行斗争，以实现丰富的硬件定制，如定点运算、流水线、存储单元和双缓冲。更糟糕的是，将RTL设计综合为比特流通常需要数小时，甚至数天[5]。这种漫长的编译周期使得FPGA上的设计空间探索( DSE )变得非常昂贵。如何降低FPGA与CPU协同开发的门槛，让软件与硬件程序员能使用友好的接口进行编程是一个需要重点关注的问题。

1.1.1 三级题目

正文……

正文部分：宋体、小四；正文行距：22磅；间距段前段后均为0行。【阅后删除此段】

图、表居中，图注标在图下方，表头标在表上方，宋体、五号、居中，1.25倍行距，间距段前段后均为0行，图表与上下文之间各空一行。【阅后删除此段】

图-示例：【阅后删除此段】



图1-1 标题序号

表-示例：【阅后删除此段】

表1-1 统计表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 产量 | 销量 | 产值 | 比重 |
| 手机 | 1000 | 10000 | 500 | 50% |
| 计算机 | 5500 | 5000 | 220 | 22% |
| 笔记本电脑 | 1100 | 1000 | 280 | 28% |
| 合计 | 17600 | 16000 | 1000 | 100% |

公式标注应于该公式所在行的最右侧。对于较长的公式只可在符号处（+、-、\*、/、≤≥等）转行。在文中引用公式时，在标号前加“式”，如式（1-2）。【阅后删除此段】

公式-示例：【阅后删除此段】

 (1-1)

结　论

注：此处无需更改。阅后删除此文本框。

本文结论……。

结论作为毕业设计（论文）正文的最后部分单独排写，但不加章号。结论是对整个论文主要结果的总结。在结论中应明确指出本研究的创新点，对其应用前景和社会、经济价值等加以预测和评价，并指出今后进一步在本研究方向进行研究工作的展望与设想。结论部分的撰写应简明扼要，突出创新性。【阅后删除此段】

结论正文样式与文章正文相同：宋体、小四；行距：22磅；间距段前段后均为0行。【阅后删除此段】

参考文献

注：此部分蓝色字体为注释，阅后可删除；黑色字体为具体示例。

阅后删除此文本框。

注：此处无需更改。阅后删除此文本框。

参考文献书写规范

参考国家标准《信息与文献参考文献著录规则》【GB/T 7714—2015】，参考文献书写规范如下：

1. 文献类型和标识代码

普通图书：M 会议录：C 汇编：G 报纸：N

期刊：J 学位论文：D 报告：R 标准：S

专利：P 数据库：DB 计算机程序：CP 电子公告：EB

档案：A 舆图：CM 数据集：DS 其他：Z

2. 不同类别文献书写规范要求

**期刊**

[序号] 主要责任者. 文献题名[J]. 刊名, 出版年份, 卷号(期号): 起止页码.

[1] 余雄庆. 飞机总体多学科设计优化的现状与发展方向[J]. 南京航空航天大学学报, 2008, 40(4): 417-426.

[2] Hajela P, Bloebaumj C L, Sobieszczanski-Sobieski J. Application of Global Sensitivity Equations in Multidisciplinary Aircraft Synthesis[J]. Journal of Aircraft, 1990, 27(12): 1002-110.

**普通图书**

[序号] 主要责任者. 文献题名[M]. 出版地: 出版者, 出版年: 起止页码.

[3] 张伯伟. 全唐五代诗格会考[M]. 南京: 江苏古籍出版社, 2002: 288.

[4] O’BRIEN J A. Introduction to information systems[M]. 7th ed. Burr Ridge, III: Irwin, 1994.

**会议论文集**

[序号] 主要责任者．题名:其他题名信息[C]. 出版地: 出版者, 出版年.

[5] 雷光春. 综合湿地管理: 综合湿地管理国际研讨会论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2012.

**专著中析出的文献**

[序号] 析出文献主要责任者. 析出题名[M]//专著主要责任者. 专著题名. 出版地: 出版者, 出版年: 起止页码.

[6] 白书农. 植物开花研究[M]//李承森. 植物科学进展. 北京: 高等教育出版社, 1998: 146-163.

**学位论文**

[序号] 主要责任者. 文献题名[D]. 保存地: 保存单位, 年份.

[7] 张和生. 嵌入式单片机系统设计[D]. 北京: 北京理工大学, 1998.

[8] Sobieski I P. Multidisciplinary Design Using Collaborative Optimization[D]. United States -- California: Stanford University, 1998.

**报告**

[序号] 主要责任者. 文献题名[R]. 报告地: 报告会主办单位, 年份.

[9] 冯西桥. 核反应堆压力容器的LBB分析[R]. 北京: 清华大学核能技术设计研究院, 1997.

[10] Sobieszczanski-Sobieski J. Optimization by Decomposition: A Step from Hierarchic to Non-Hierarchic Systems[R]. NASA CP-3031, 1989.

**专利文献**

[序号] 专利所有者. 专利题名:专利号[P]. 公告日期或公开日期[引用日期]. 获取和访问路径. 数字对象唯一标识符.

[11] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案: 881056078 [P]. 1983-08-12.

**国际、国家标准**

[序号] 主要责任人. 题名: 其他题名信息[S]. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码.

[12] 全国信息与文献标准化技术委员会. 文献著录: 第4部分 非书资料: GB/T 3792.4-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 3.

**报纸文章**

[序号] 主要责任者. 文献题名[N]. 报纸名, 年(期): 页码.

[13] 谢希德. 创造学习的思路[N]. 人民日报, 1998-12-25(10).

**电子文献**

[序号] 主要责任者. 电子文献题名[文献类型/载体类型]. (发表或更新日期) [引用日期]. 获取和访问路径. 数字对象唯一标识符.

[14] 姚伯元. 毕业设计(论文)规范化管理与培养学生综合素质[EB/OL]. [2005-02-02]. 中国高等教育网教学研究.

关于参考文献的未尽事项可参考国家标准《信息与文献参考文献著录规则》（GB/T 7714—2015）

附　录

注：此处无需更改。阅后删除此文本框。

附录相关内容…

附录是毕业设计（论文）主体的补充项目，为了体现整篇文章的完整性，写入正文又可能有损于论文的条理性、逻辑性和精炼性，这些材料可以写入附录段，但对于每一篇文章并不是必须的。附录依次用大写正体英文字母A、B、C……编序号，如附录A、附录B。【阅后删除此段】

附录正文样式与文章正文相同：宋体、小四；行距：22磅；间距段前段后均为0行。【阅后删除此段】

致　谢

注：此处无需更改。阅后删除此文本框。

值此论文完成之际，首先向我的导师……

致谢正文样式与文章正文相同：宋体、小四；行距：22磅；间距段前段后均为0行。【阅后删除此段】