**电 子 科 技 大 学**

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

**学士学位论文**

**BACHELOR THESIS**



论文题目

专 业

学 号

作者姓名

指导教师

**电 子 科 技 大 学**

**20 级本科毕业设计（论文）任务书**

**拟题单位** **审题人（签名）**

**题目及副标题**

**题目来源: 1.科研 2.生产 3.教学（含实验） 4.创新创业 （选择其中一种）**

**主要任务：**

**预期成果或目标：**

**预期成果形式： 1.硬件 2.硬件+软件 3.软件 4.理论研究 （选择其中一种）**

**指导教师签名:**

**起止时间： 年 月 日至 年 月 日**

**学生姓名** **专业**  **学号**

**指导单位**

**指导教师姓名、职称**

**设计地点**

**年 月 日**

**备注：**1.此任务书应由指导教师填写，签名处须由教师亲笔签名。

2.此任务书必须在学生毕业设计开始前下达给学生。

**电 子 科 技 大 学**

**20 级本科毕业设计（论文）开题报告表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **学号：** | | | **姓名：** | **学院：** | **专业：** |
| **论文题目** |  | | | | |
| **题目来源： 1.科研　 2.生产　 3.教学（含实验） 4.创新创业**  **（在选项上打勾选择）** | | | | | |
| **成果形式： 1.硬件 2.硬件+软件 3.软件 4.理论研究**  **（在选项上打勾选择）** | | | | | |
| **学位论文**  **研究内容** | | **1500-2000字，主要从以下五个方面进行阐述（参考毕业论文正文格式：宋体小4号，英文字体为Times New Rome，行间距固定20磅，可另加页）：**  **1．研究现状及发展态势**  **2．选题依据及意义**  **3．课题研究内容**  **4. 拟解决的关键问题和最终目标，以及拟采取的主要理论、技术路线和实施方案等**  **5．论文特色或创新点** | | | |
| **导师审查**  **意见** | | **签名：**  **日期： 年 月 日** | | | |

**电 子 科 技 大 学**

**20 级本科毕业设计（论文）进度计划表**

**学院名称： 填表日期： 年 月 日**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **学生姓名** |  | | **论文题目 (含副标题)** |  | | | |
| **学 号** |  | |
| **周 次** | | **主要工作计划**  **（内容）** | | | **完成情况** | **指导教师签字** | **备 注** |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |
|  | |  | | |  |  |  |

**说明:** 1.此表由指导教师填写，并与毕业设计任务书同时下达给学生；

2.该表作为专家组或指导教师对学生毕业设计进度检查的参考依据。

**电 子 科 技 大 学**

**20 级本科毕业设计（论文）初期检查表**

**学院名称： 填表日期： 年 月 日**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **以下内容由学生本人填写** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **学生姓名** |  | | | **题目名称** |  | | | | | | | | | | |
| **学号** |  | | | **题目性质** | **科研 生产 教学（含实验） 创新创业** | | | | | | | | | | |
| **指导教师** |  | | | **工作地点** | **校内：** | | | | | | **校外：** | | | | |
| **设计时间** | **20 年 月 日至 20 年 月 日** | | | | | | | | | | | | | | |
| **以下内容由检查教师填写** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **对课题的基本评价**（在备选项后面划勾） | | **课题工作量** | | | | **饱满** | |  | **适中** | | |  | **不够** | |  |
| **课题难度** | | | | **大** | |  | **适中** | | |  | **不够** | |  |
| **涉及知识点** | | | | **丰富** | |  | **比较丰富** | | |  | **较少** | |  |
| **课题价值** | | | | **很有价值** | |  | **价值一般** | | |  | **价值不大** | |  |
| **检查评语**  （学生毕业设计的准备工作及对设计任务的认识） | | **检查教师签名：** | | | | | | | | | | | | | |
| **当期完成情况成绩** | **优 秀** | | **良 好** | | | | **中 等** | | | **合 格** | | | | **不合格** | |
|  | |  | | | |  | | |  | | | |  | |

**说明：**1、本表内容应如实填写；

2、本表应妥善保管，以便装订在毕业论文中；

3、学院教务科对检查情况分类汇总后，报送教务处实践教学科备案。

**电 子 科 技 大 学**

**20 级本科毕业设计（论文）中期检查表**

**学院名称： 填表日期： 年 月 日**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **以下内容由学生本人填写** | | | | | | | | | | |
| **学生姓名** | |  | | | **题目名称** |  | | | | |
| **学号** | |  | | | **题目性质** | **科研 生产 教学（含实验） 创新创业** | | | | |
| **指导教师** | |  | | | **工作地点** | **校内：** | | | **校外：** | |
| **设计时间** | | **20 年 月 日至 20 年 月 日** | | | | | | | | |
| **以下内容由检查教师填写** | | | | | | | | | | |
| **课题核心** |  | | | | | | | | | |
| **课题进展情况** |  | | | | | | | | | |
| **存在困难** |  | | | | | | | | | |
| **解决办法**  **或**  **建议** | **检查教师签名：** | | | | | | | | | |
| **当期完成情况成绩** | | | **优 秀** | **良 好** | | | **中 等** | **合 格** | | **不合格** |
|  |  | | |  |  | |  |

**说明：**1、本表内容应如实填写；

2、本表应妥善保管，以便装订在毕业论文中；

3、学院教务科对检查情况分类汇总后，报送教务处实践教学科备案。

**电 子 科 技 大 学**

**20 级本科毕业设计（论文）答辩提问记录表**

**学生姓名** **学号**

**学 院** **专业**

**回答问题情况记录：**

**答辩组提问一：**

**学生回答情况(请打勾)： 1.好（ ） 2.较好（ ） 3.一般（ ） 4.差（ ）**

**答辩组提问二：**

**学生回答情况(请打勾)： 1.好（ ） 2.较好（ ） 3.一般（ ） 4.差（ ）**

**答辩组提问三：**

**学生回答情况(请打勾)： 1.好（ ） 2.较好（ ） 3.一般（ ） 4.差（ ）**

**答辩组提问四：**

**学生回答情况(请打勾)： 1.好（ ） 2.较好（ ） 3.一般（ ） 4.差（ ）**

**答辩组提问五：**

**学生回答情况(请打勾)： 1.好（ ） 2.较好（ ） 3.一般（ ） 4.差（ ）**

**答辩组组长签名：**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**年 月 日**

**电 子 科 技 大 学**

**20 级本科毕业设计（论文）成绩考核表**

**学生姓名**   **专业**  **学号**

**题目全称**

**指导单位**

**指导教师**

**一、指导教师评语**

**1．课题工作量、难度及软硬件等方面能力锻炼**

**2．学生工作态度、进度执行及毕业设计任务完成等情况**

**3．论文中英文摘要、目录、正文、参考文献撰写及外文资料翻译情况**

**指导教师签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**年 月 日**

**二、论文评阅教师评语：**

**1．论文中英文摘要、目录、正文、参考文献及译文等内容的文法及逻辑思路**

**2．论文内容所反映出的学生本人的工作量、难度及任务完成等情况**

**3．对论文全文的总体评价（注明是否达到答辩要求）**

**评阅教师签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**年 月 日**

**三、毕业答辩专家组评语：**

**1．答辩报告的逻辑思路、语言表达、学生本人的工作量、难度及任务完成等情况**

**2．学生回答问题时所反映的逻辑思维、基本知识、基本技能和知识面等情况**

**答辩专家签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**年 月 日**

**四、毕业设计（论文）成果形式认定：**

**1.硬件 2.硬件+软件 3.软件 4.理论研究 （请选择其中一种）**

**学院授权专家签名：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**年 月 日**

**五、毕业设计（论文）成绩（总分100分）：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **设计过程** | **毕业论文** | **毕业答辩** | **总分** |
|  |  |  |  |

**年 月 日**

**注：成绩考核表要求如实填写，填写内容必须由教师亲笔手写。**

摘 要

虚拟存储技术和Cache是计算机存储系统的重要组成部分，它对操作系统的实现提供了硬件上的支持，近年来随着云计算技术的广泛应用，虚拟存储技术的研究日趋活跃。本文以虚拟存储系统的实现为课题，重点研究了虚拟存储器控制芯片以及Cache的Verilog实现，并实现了以组成完整计算机系统的MIPS架构的CPU，主要研究内容分为三部分。

**关键词：**虚拟存储器，高速缓存，Cache，虚拟存储器控制芯片，Verilog

ABSTRACT

Memory virtualization and cache are two crucial components of computer storage system, it provides hardware support to the operating systems.

**Keywords:**

目 录

[摘 要 I](#_Toc2028886388)

[ABSTRACT II](#_Toc141418176)

[第一章 绪 论 1](#_Toc1328597025)

[1.1 研究工作的背景与意义 1](#_Toc809231627)

[1.2 时域积分方程方法的国内外研究历史与现状 1](#_Toc213811448)

[1.3 本文的主要贡献与创新 1](#_Toc1680775611)

[1.4 本论文的结构安排 1](#_Toc1766270403)

[第二章 虚拟存储系统基本结构 2](#_Toc373491960)

[2.1 内存管理单元 2](#_Toc223386203)

[2.2.1 地址翻译 3](#_Toc1599004199)

[2.2.2 翻译缓存 3](#_Toc2146202996)

[2.2.3 多级页表 4](#_Toc1598922163)

[2.2 高速缓存 5](#_Toc1669291688)

[2.2.1 映射方法 5](#_Toc585638524)

[2.2.1 空间基函数 6](#_Toc1318675670)

[2.2.2 时间基函数 7](#_Toc424790677)

[2.3 入射波 7](#_Toc1742602324)

[2.4 本章小结 8](#_Toc624051104)

[第三章 时域积分方程数值方法研究 9](#_Toc390756504)

[3.1 时域积分方程时间步进算法的阻抗元素精确计算 9](#_Toc1632876986)

[3.2 时域积分方程时间步进算法阻抗矩阵的存储 9](#_Toc1324160270)

[3.2.1 时域积分方程时间步进算法产生的阻抗矩阵的特征 9](#_Toc2052603470)

[3.2.2 数值算例与分析 9](#_Toc653965531)

[3.3 时域积分方程时间步进算法矩阵方程的求解 10](#_Toc267155297)

[3.4 本章小结 10](#_Toc1902487886)

[第四章 全文总结与展望 11](#_Toc1025266055)

[4.1 全文总结 11](#_Toc1589931983)

[4.2 后续工作展望 11](#_Toc601274547)

[致 谢 12](#_Toc711997366)

[参考文献 13](#_Toc1640958870)

[外文资料原文 14](#_Toc1048395885)

[外文资料译文 15](#_Toc593400106)

第一章 绪 论

1.1 研究工作的背景与意义

……

1.2 时域积分方程方法的国内外研究历史与现状

1.3 本文的主要贡献与创新

1.4 本论文的结构安排

第二章 虚拟存储系统基本结构

为了提高执行的效率以及满足操作系统和应用程序的需求，现代计算机采用了虚拟存储器技术。处理器通过向存储器发出访存信号以及地址来完成指令的读取和数据的读写。存储器发出的地址称为虚拟地址，它要先经过内存管理单元（MMU）翻译成物理（或实际）地址，然后再传递给各个层级的存储器完成访存的操作，最终得到访存的结果。这样不仅可以将各个进程的内存区域隔离开，还可以使得虚拟的内存空间大于实际的内存大小。



图2-1 虚拟存储器的系统结构

2.1 内存管理单元

从虚拟地址到实际地址的转化操作往往是使用内存管理单元来实现的。这样的地址翻译过程使得用户可以把包含主存储器和大容量存储器的装置感觉成单个大容量的空间。当内存管理单元收到地址翻译请求后就会根据翻译的结果作出不同的响应：输出实际地址或触发异常，使得CPU完成不同的操作。



图2-2 内存管理单元

在操作系统中往往会对不同进程所能访问的内存单元做不同的限制，如有些内存区域是只读的，有些区域只允许内核进程访问。为了实现这些需求，MMU同样实现了内存访问的权限管理，对非法的内存访问触发异常。

2.2.1 地址翻译

为了实现虚拟地址到实际地址的翻译，MMU一般使用分页存储管理方式，即将虚拟地址空间和实际空间分成若干个大小相等的块，称为“页（page）”，并以页为单位来完成地址的映射。这样，虚拟地址和物理地址就都分别分成了页号和页内地址两部分，其中虚拟地址的页号被称为虚拟页（virtual page number, VPN），物理地址的页号被称为物理页（physical page number, PPN）。并使用一个页表来记录虚拟页号相对应的物理页号。



图2-2 虚拟地址与物理地址的组成

实际中页表往往是保存在具有缓存系统的存储器中，每个表项相对于页表起始地址的位置就是虚拟页号，这样使得给出一个虚拟地址立即就能知道其表项的地址。此外，每个表项还包含用于标明此项是否有效和用于控制内存访问的状态位。对于一个一般的MMU其地址翻译过程大概如下：

（1）根据虚拟页号找出与所给虚拟地址的页号相符项，检查有效位是否有效，如无效，则说明此虚拟页还没分配相应的物理页，触发缺页异常；

（2）根据匹配到的项中的状态位来检查此次访问是否合法，若非法，则触发异常；

（3）取出物理页号，将其与虚拟地址中的页内偏移连接得到转化后的物理地址。

必须指出，地址翻译过程对于不同架构其具体的过程是不同的，有些与以上的描述有所差异。

2.2.2 翻译缓存

为了提高地址转化的效率，MMU中保存了页表的一小段缓存，称为翻译后备缓冲区（Translation Lookaside Buffer, TLB）。对于有TLB的MMU其地址翻译过程应为先在TLB中查找，若找到则TLB命中，直接从TLB中取出表项做后续的处理，否则先从内存中的页表里取出相应的项填入TLB。TLB通常采用全相联的缓存，实际中可使用相联存储器（CAM）来实现。



图2-3 翻译后备缓冲区

不同架构对于TLB的实现以及操作方法是有所差异的。在TLB中查找相匹配的项一般都是硬件完成，而TLB不命中时从内存中调出表项则不同：对于x86、PowerPC等架构这部分操作是由硬件来完成的，软件只需要维护位于内存中的页表以及处理页表项无效时的缺页中断，并且将页表的起始（物理）地址写入相应的寄存器即可。MIPS架构则是需要软件维护TLB，当TLB不命中时会触发TLB Miss中断，由软件完成页表项的加载。此时便不存在缺页中断了，当软件发现位于内存中的表项无效时直接调用缺页处理程序完成物理页框的分配。而当软件在从内存中调入页表项的时候，如果页表的起始地址使用的也是虚地址此时就可能再次触发TLB Miss中断，而当此次中断处理完成后就会回到最初触发中断的地方，由于只更新了页表所在页的地址映射，这次访存还会触发TLB Miss异常。所以在最坏的情况下MIPS的一条访存指令会触发三次异常。但这样做的好处就是使得系统的编写更加灵活。

2.2.3 多级页表

单级页表占用的空间可能会很大，而在一般的应用中很少会将整个页表填满。为了节约页表所占的空间，可以采用多级页表。对于二级页表而言，第一级页表也叫页目录，用于保存第二级页表的起始地址，第二级页表则为页表，保存了相应的物理地址。这样虚拟地址被分成三个部分：页目录号、虚拟页号、页内偏移。在翻译地址的时候先根据页目录号查出页表的起始地址，然后在页表中找到物理页号。类似地，n级页表的前n - 1级保存的是下一级页表的起始地址，最后一级则是物理地址。



图2-4 二级分页的翻译过程

2.2高速缓存

高速缓存（Cache）是位于处理器和存储器之间的缓冲存储设备，其访存的速度是大于主存的。当处理器发出访存指令和地址时先会在Cache中查找该地址是否存在于缓存中，如果存在就立即访问并返回结果，否则再去访问主存，把主存中相应的数据块调入到Cache中。这个访问Cache的过程完全由硬件来完成，一般情况下对于用户（甚至处理器）来说是不可见的，当然也有例外，如MIPS就提供了操作Cache的指令。

Cache的结构一般是分为多个大小相等的数据块，内存中的块会通过一定的方式映射到Cache中的块，这个块称为行（line）。由于Cache不可能把整个内存都缓存下来，因此这个映射只能是内射（injection）。每个块都有相应的标记位，分别用于标明这个块是否有效、是否被修改过（脏位），以及用于匹配的标签位，因为一个Cache块可对应多个内存中的块。

Cache的依据是局部性原理，即相邻的几次访存操作的地址往往很接近。在这种情况下如果把内存中的一块数据加载到Cache中那么这几次的访存就都只需要访问缓存而不用访问主存，从而提高了程序执行的效率。

2.2.1 映射方法

常用的映射方法有全相联、直接映射和组相联。

2.2.1.1 全相联

全相联是指一个数据块可以放在Cache中的任何块上，并通过标签来区别不同的内存块。整个Cache是一个相联存储器（CAM）。对于全相联，内存地址被分成两部分：标签和块内偏移量，其中偏移量的长度由块的大小决定。在访存操作中，将所给地址的标签部分与Cache中所有的块的标签作比较，如果发现有匹配的块即说明Cache命中，此时只需要对该块做相应的操作。



图2-5 全相联Cache

由于数据块可以被放在Cache中的任何地方，因此全相联是自由度最高的Cache，随之带来的问题就是使用的用于判断标签是否匹配的比较器较多，会占用很多电路空间。

2.2.1.2 直接映射

直接映射的Cache将地址分为三部分：标签、索引、块内地址，其对应成数据块直接就是索引所指的块，也就是说内存中的一个块对应一个固定的Cache块，Cache块的个数即为行数。



图2-6 直接映射

直接映射的Cache电路设计简单，资源少，但最大的问题就是一个内存行只能对应一个Cache行，如果出现程序交替访问两个标签不同，而索引相同的块的情况Cache将一直不命中，并且会一直从内存中调取块，造成极大的性能损耗。

2.2.1.3 组相联

组相联结合了全相联与直接映射，其地址结构与直接映射相同，但Cache中每个索引有多个块，这些具有相同索引的行组成的一个行组被称为一排（Row），每排具有的块数称为相联性（Associativity）。也就是说，在内存块到Cache中的排时采用直接映射，在一排内采用的是全相联映射。



图2-7 组相联

2.2.2 替换算法和写策略

对Cache的读操作没有对内存产生影响，因此不用考虑，而写操作则可能有如下的情况：

（1）若Cache不命中，就先更新主存。此时可以将块加载到Cache中（写分配），也可以不加载。

（2）若命中，则可以采取以下的方式之一：

写直达（write through）：同时将数据写入缓存和主存中。

回写（write back）：只写缓存，并且当要替换该块时并且块被修改过才将该块写回到内存中。这种方法有效地克服了前一种方法的缺陷，如程序包含对同一个内存变量的多次修改时，第一种方法便体现不出Cache的优势。不过，这种方法存在内存和Cache数据一致性的问题，特别是在DMA中，外设需要访问内存来实现和软件的通信，而如果此内存区域还在Cache中内存中的数据就还是旧的值，外设就会读取到错误的数据。克服这种缺陷的有效方法是允许软件对Cache直接操作，当需要使用DMA等来通信时手动地让Cache将数据写回，或者软件规定一个内存块能否经过Cache缓存。

2.2.3 虚拟存储器中的高速缓存

在使用虚拟存储器的系统中，由于存在虚拟地址和物理地址两种地址，Cache可以使用这两个地址中的一个来进行映射。根据映射使用的地址不同，Cache可以分成以下两种：

（1）物理地址Cache（physical address cache）：

2.2.1 空间基函数

RWG基函数是定义在三角形单元上的最具代表性的基函数。它的具体定义如下：

 (2-1)

其中，为三角形单元和公共边的长度，和分别为三角形单元和的面积（如图2-1所示）。



图2-1 RWG基函数几何参数示意图

……

2.2.2 时间基函数

……

2.2.2.1 时域方法特有的展开函数

……

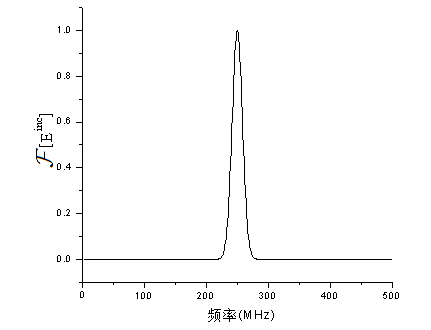
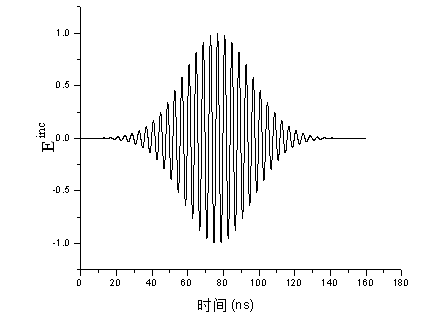
2.2.2.2 频域方法特有的展开函数

……

2.3 入射波

……

如图2-5(a)和图2-5(b)所示分别给出了参数，，，，时，调制高斯脉冲的时域与频域归一化波形图。



（a） （b）

图2-5 调制高斯脉冲时域与频率波形。(a)调制高斯脉冲时域波形；(b)调制高斯脉冲频域波形

2.4 本章小结

本章首先从时域麦克斯韦方程组出发推导得到了时域电场、磁场以及混合场积分方程。……

第三章 时域积分方程数值方法研究

3.1 时域积分方程时间步进算法的阻抗元素精确计算

时域积分方程时间步进算法的阻抗元素直接影响算法的后时稳定性，因此阻抗元素的计算是算法的关键之一，采用精度高效的方法计算时域阻抗元素是时域积分方程时间步进算法研究的重点之一。

……

3.2 时域积分方程时间步进算法阻抗矩阵的存储

时域阻抗元素的存储技术也是时间步进算法并行化的关键技术之一[14]，采用合适的阻抗元素存储方式可以很大的提高并行时间步进算法的计算效率。

3.2.1 时域积分方程时间步进算法产生的阻抗矩阵的特征

……

由于时域混合场积分方程是时域电场积分方程与时域磁场积分方程的线性组合，因此时域混合场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征与时域电场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征相同。

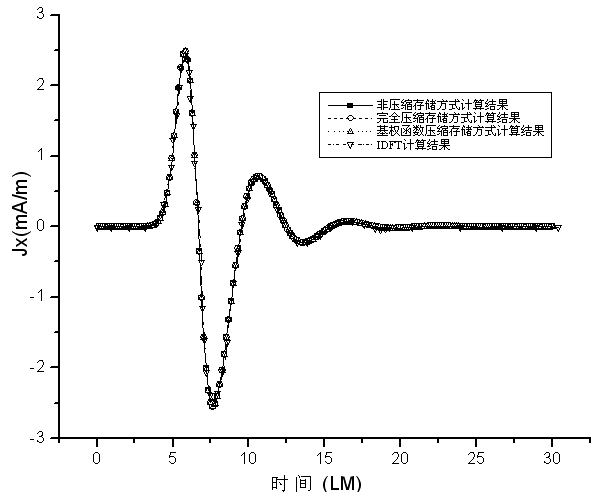
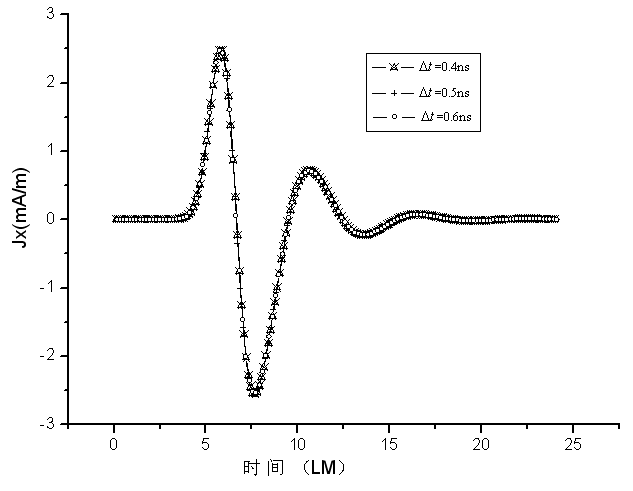
3.2.2 数值算例与分析

……。如表3-1所示给出了时间步长分别取0.4ns、0.5ns、0.6ns时的三种存储方式的存储量大小。……。

表3-1 计算理想导体平板时域感应电流采用的三种存储方式的存储量比较

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 存储方式  时间步长 | 非压缩存储方式 | 完全  压缩存储方式 | 基权函数  压缩存储方式 |
| 0.4ns | 11.96 MB | 5.59 MB | 6.78 MB |
| 0.5ns | 10.17 MB | 5.06 MB | 5.58 MB |
| 0.6ns | 8.38 MB | 4.65 MB | 4.98 MB |

如图3-1(a)所示给出了时间步长选取为0.5ns时采用三种不同存储方式计算的平板中心处方向的感应电流值与IDFT方法计算结果的比较，……。如图3-1(b)所示给出了存储方式为基权函数压缩存储方式，时间步长分别取0.4ns、0.5ns、0.6ns时平板中心处方向的感应电流计算结果，从图中可以看出不同时间步长的计算结果基本相同。

(a) (b)

图3-1 的理想导体平板中心处感应电流*x*分量随时间的变化关系。(a)不同存储方式的计算结果与IDFT方法的结果比较；(b)不同时间步长的计算结果比较

由于时域混合场积分方程是时域电场积分方程与时域磁场积分方程的线性组合，因此时域混合场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征与时域电场积分方程时间步进算法的阻抗矩阵特征相同。

3.3 时域积分方程时间步进算法矩阵方程的求解

……

定理 3.1 如果时域混合场积分方程是时域电场积分方程与时域磁场积分方程的线性组合……

证明：

首先，由于……

……

根据……，结论得证

3.4 本章小结

本章首先研究了时域积分方程时间步进算法的阻抗元素精确计算技术，分别采用DUFFY变换法与卷积积分精度计算法计算时域阻抗元素，通过算例验证了计算方法的高精度。……

第四章 全文总结与展望

4.1 全文总结

本文以时域积分方程方法为研究背景，主要对求解时域积分方程的时间步进算法以及两层平面波快速算法进行了研究。

……

4.2 后续工作展望

时域积分方程方法的研究近几年发展迅速，在本文研究工作的基础上，仍有以下方向值得进一步研究：

……

致 谢

本论文的工作是在我的导师XX老师悉心指导下完成的，……

……

参考文献

1. W. C. Chew, J. M. Jin, E. Michielssen, et al. Fast and efficient algorithms in computational electromagnetics[M]. Boston: Artech House, 2000
2. 盛新庆.计算电磁学要论[M].北京:科学出版社, 2004
3. 王秉中.计算电磁学[M].北京:科学出版社, 2001
4. 吕英华.计算电磁学的数值方法[M].北京:清华大学出版社, 2006
5. 王长清.现代计算电磁学基础[M].北京:北京大学出版社, 2005
6. 潘小敏.计算电磁学中的并行技术及其应用[D].北京:中国科学院电子学研究所, 2006
7. 中华人民共和国国家技术监督局.GB3100-3102.中华人民共和国国家标准--量与单位[S]. 北京:中国标准出版社, 1994年11月1日
8. W. C. Gibson. The method of moments in electromagnetics[M]. New York: Chapman and Hall/CRC, 2008
9. 胡俊.复杂目标矢量电磁散射的高效算法——快速多极子方法及其应用[D].成都:电子科技大学, 2000
10. H. C. Martin, G. F. Carey. Introduction to finite element analysis: theory and application [M]. New York: McGraw Hill, 1973
11. 金建铭 (著), 王建国 (译).电磁场有限元方法[M].西安:西安电子科技大学出版社, 1998
12. M. Clerc. Discrete particle swarm optimization: a fuzzy combinatorial box[EB/OL]. http://clere.maurice.free.fr/pso/Fuzzy\_Discrere\_PSO/Fuzzy\_DPSO.htm, July 16, 2010
13. S. P. Walker, C. Y. Leung. Parallel computation of integral equation methods for three-dimensional transient wave propagation[J]. Communications in Numerical Methods in Engineering, 1997, 11(6): 515-524
14. 肖珍新.一种新型排渣阀调节降温装置[P].中国,实用新型专利,ZL201120085830.0, 2012年4月25日
15. X. F. Liu, B. Z. Wang, W. Shao. A marching-on-in-order scheme for exact attenuation constant extraction of lossy transmission lines[C]. China-Japan Joint Microwave Conference Proceedings, Chengdu, 2006, 527-529

外文资料原文



外文资料译文

基于多载波索引键控的正交多路复用系统的误码率上界

二．基于多载波索引键控的正交频分多路复用系统模型

我们考虑一个端到端的M-QAM，Nc子载波的基于多载波索引键控的正交频分多路复用系统有n个簇，每个簇有N个子载波（Nc=nN）。M-QAM的符号流经过串并转换之后每n个符号组成一个相量，是和传统正交频分多路复用一样是用来调制子载波的，但是不同的是只有这n个活跃子载波进行了调制。……

……