

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

# 硕士学位论文

MASTER THESIS



论文题目 时域积分方程时间步进算法及其快速算法

学科专业 无线电物理

学 号 201421040223

作者姓名 王稳

指导老师                      赖生建    副教授

学 院 物理电子学院

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

UDC 注 1 \_\_\_\_\_

# 学 位 论 文

时域积分方程时间步进算法及其快速算法

(题名和副题名)

王稳

(作者姓名)

指导老师

赖生建 副教授

电子科技大学 成都

(姓名、职称、单位名称)

申请学位级别 硕士 学科专业 无线电物理

提交论文日期 \_\_\_\_\_ 论文答辩日期 \_\_\_\_\_

学位授予单位和日期 电子科技大学 年 月

答辩委员会主席 \_\_\_\_\_

评阅人 \_\_\_\_\_

注 1: 注明《国际十进分类法 UDC》的类号。

# **The Time Marching Scheme of Time Domain Integral Equation and Corresponding Fast Algorithm**

A Master Thesis Submitted to  
University of Electronic Science and Technology of China

Discipline:	<b>Radio Physics</b>
Author:	<b>Wang Wen</b>
Student ID:	<b>201421040223</b>
Supervisor:	<b>Dr. Shengjian Lai</b>
School:	<b>School of Physical Electronics</b>

## 摘 要

为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程方法研究日趋活跃。本文以时域积分方程时间步进算法及其快速算法为研究课题，重点研究了时间步进算法的数值实现技术、后时稳定性问题以及两层平面波算法加速计算等，主要研究内容分为四部分。

.....

**关键词：**时域电磁散射，时域积分方程，时间步进算法，后时不稳定性，时域平面波算法



## ABSTRACT

With the widespread engineering applications ranging from broadband signals and non-linear systems, time-domain integral equations (TDIE) methods for analyzing transient electromagnetic scattering problems are becoming widely used nowadays. TDIE-based marching-on-in-time (MOT) scheme and its fast algorithm are researched in this dissertation, including the numerical techniques of MOT scheme, late-time stability of MOT scheme, and two-level PWTD-enhanced MOT scheme. The contents are divided into four parts shown as follows.

**Keywords:** Time-domain Electromagnetic Scattering, Time-domain Integral Equation, Marching-on In-time (MOT) Scheme, Late-time Instability, Plane Wave Time-domain (PWTD) Algorithm



## 目 录

第一章 引 言.....	1
1.1 背景介绍.....	1
1.1.1 大语言模型（LLMs）的兴起.....	1
1.1.2 LLMs 的局限性 .....	1
1.2 检索增强生成（RAG）技术的诞生 .....	1
1.3 RALMs 的研究意义和应用前景 .....	2
第二章 RAG 技术详解.....	3
2.1 RAG 的核心范式 .....	3
2.1.1 检索增强生成（RAG） .....	3
2.1.2 检索增强理解（RAU） .....	3
2.2 RAG 的组成要素 .....	3
2.2.1 检索器 .....	3
2.2.2 语言模型.....	3
2.2.3 增强手段.....	3
2.3 RAG 的关键技术 .....	3
2.3.1 检索器类型 .....	3
2.3.2 语言模型的选择 .....	3
2.3.3 性能提升策略.....	3
第三章 研究进展.....	4
3.1 检索技术的改进.....	4
3.2 语言模型的优化.....	4
3.3 性能提升策略的创新 .....	4
第四章 未来研究方向 .....	5
4.1 多语言和多模态能力的提升.....	5
4.2 外部知识的质量控制 .....	5
4.3 计算效率的优化.....	5
第五章 结论.....	6
5.1 RALMs 的重要性的影响.....	6
5.2 RALMs 的未来展望 .....	6
致 谢 .....	7



附录 A 中心极限定理的证明 .....	8
A.1 高斯分布和伯努利实验 .....	8
参考文献 .....	9
攻读硕士学位期间取得的成果 .....	10
外文资料原文 .....	11
外文资料译文 .....	12

## 第一章 引言

### 1.1 背景介绍

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.

计算电磁学方法<sup>[1-6]</sup>从时、频域角度划分可以分为频域方法与时域方法两大类。频域方法的研究开展较早，目前应用广泛的包括：矩量法（MOM）<sup>[7,8]</sup>及其快速算法多层快速多极子（MLFMA）<sup>[9]</sup>方法、有限元（FEM）<sup>[1,3]</sup>方法、自适应积分（AIM）<sup>[5]</sup>方法等，这些方法是目前计算电磁学商用软件<sup>①</sup>（例如：FEKO、Ansys 等）的核心算法。由文献 [6,7,9] 可知

#### 1.1.1 大语言模型（LLMs）的兴起

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

#### 1.1.2 LLMs 的局限性

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 1.2 检索增强生成（RAG）技术的诞生

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

---

① 脚注序号“①，……，⑨”的字体是“正文”，不是“上标”，序号与脚注内容文字之间空 1 个半角字符，脚注的段落格式为：单倍行距，段前空 0 磅，段后空 0 磅，悬挂缩进 1.5 字符；中文用宋体，字号为小五号，英文和数字用 Times New Roman 字体，字号为 9 磅；中英文混排时，所有标点符号（例如逗号“，”、括号“（）”等）一律使用中文输入状态下的标点符号，但小数点采用英文状态下的样式“.”。

### 1.3 RALMs 的研究意义和应用前景

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

## 第二章 RAG 技术详解

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 2.1 RAG 的核心范式

#### 2.1.1 检索增强生成（RAG）

#### 2.1.2 检索增强理解（RAU）

### 2.2 RAG 的组成要素

#### 2.2.1 检索器

#### 2.2.2 语言模型

#### 2.2.3 增强手段

### 2.3 RAG 的关键技术

#### 2.3.1 检索器类型

##### 2.3.1.1 稀疏检索

##### 2.3.1.2 密集检索

##### 2.3.1.3 互联网检索

##### 2.3.1.4 混合检索

#### 2.3.2 语言模型的选择

##### 2.3.2.1 自编码器语言模型

##### 2.3.2.2 自回归语言模型

##### 2.3.2.3 编码器-解码器模型

#### 2.3.3 性能提升策略

##### 2.3.3.1 检索精准性控制

##### 2.3.3.2 知识蒸馏

##### 2.3.3.3 互联网检索的即插即用

## 第三章 研究进展

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 3.1 检索技术的改进

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 3.2 语言模型的优化

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 3.3 性能提升策略的创新

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

## 第四章 未来研究方向

### 4.1 多语言和多模态能力的提升

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 4.2 外部知识的质量控制

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 4.3 计算效率的优化

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

## 第五章 结论

### 5.1 RALMs 的重要性的影响

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

### 5.2 RALMs 的未来展望

这是一个测试文本，用于模拟真实内容的效果。它可以帮助设计师和开发者在没有实际内容的情况下进行排版和布局测试。这个文本没有实际意义，只是为了展示字体、段落和页面布局的效果。

## 致 谢

在攻读博士学位期间，首先衷心感谢我的导师 XXX 教授



## 附录 A 中心极限定理的证明

### A.1 高斯分布和伯努利实验

## 参考文献

- [1] 王浩刚, 聂在平. 三维矢量散射积分方程中奇异性分析 [J]. 电子学报, 1999, 27(12): 68-71.
- [2] Liu X F, Wang B Z, Shao W, et al. 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.
- [3] 竺可桢. 物理学 [M]. 北京: 科学出版社, 1973, 56-60.
- [4] 陈念永. 毫米波细胞生物效应及抗肿瘤研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2001, 50-60.
- [5] 顾春. 牢牢把握稳中求进的总基调 [N]. 人民日报, 2012 年 3 月 31 日.
- [6] 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 年 6 月 25 日.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Clerc M. Discrete particle swarm optimization: a fuzzy combinatorial box[EB/OL]. July 16, 2010, [http://clere.maurice.free.fr/psa/Fuzzy\\_Discrere\\_PSO/Fuzzy\\_DPSO.htm](http://clere.maurice.free.fr/psa/Fuzzy_Discrere_PSO/Fuzzy_DPSO.htm).

## 攻读硕士学位期间取得的成果

- [1] Li J Y, **Zhang S**, Zhao Y W, et al. New memory method of impedance elements for marching-on-in-time solution of time-domain integral equation[J]. Electromagnetics, 2010, 30(5): 448-462.
- [2] 李四, **张三**. 时间步进算法中阻抗矩阵的高效存储新方法 [J]. 电波科学学报, 2010, 25(4): 624-631.
- [3] 李四, **张三**. 时域磁场积分方程时间步进算法稳定性研究 [J]. 物理学报, 2013, 62(9): 090206-1-090206-6.
- [4] **张三**, 李四. 时域磁场积分方程时间步进算法后时稳定性研究. 电子科技大学学报 [J] (已录用, 待刊).
- [5] **Zhang S**. Parameters discussion in two-level plane wave time-domain algorithm[C]. 2012 IEEE International Workshop on Electromagnetics, Chengdu, 2012: 38-39.
- [6] **张三**, 李四. 时域积分方程时间步进算法研究 [C]. 电子科技大学电子科学技术研究院第四届学术交流会, 成都, 2008: 164-168.
- [7] **张三** (4). 人工介质雷达罩技术研究. 国防科技进步二等奖, 2008 年.
- [8] XXX, XXX, XXX, XXX, 王升. XXX 的陶瓷研究. 四川省科技进步三等奖, 2003 年 12 月.

## 外文资料原文

### 1 The OFDM Model of Multiple Carrier Waves

## 外文资料译文

### 1 基于多载波索引键控的正交频分多路复用系统模型