

整本论文页边距设置：上下左右 3cm

电子科技大学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

# 学士学位论文

BACHELOR THESIS



封面由文印中心统一印制。论文书写格式要求，请参考范文中的红笔批注及毕业设计管理办法。

放置顺序：封面，任务书，开题报告，进度计划表，初期检查表，中期检查表，答辩提问表，成绩考核表（双面），校外毕设申请表，摘要，目录，正文，外文资料原文，外文资料译文。

论文题目

25 个字以内

专 业

学 号

作者姓名

指导教师

校外毕设填写校外导师



页眉：中间不空格，中文宋体五号，居中。整本论文页眉页脚边距设置：2cm

摘要

设置段落：段前 24 磅，段后 18 磅

摘 要（中间空一格，黑体小三）

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

宋体小四加粗

从中文摘要到外文资料译文，所有英文、数字字体为 Times New Roman。行距为固定值 20 磅。

单面打印，共 150-200 字，关键词 3-5 个

中文摘要-目录，均采用罗马数字编页，Times New Roman 10.5 磅

设置段落: 段前 24 磅, 段后 18 磅

## ABSTRACT (Times New Roman, 小三, 居中)

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

行距: 固定值 20 磅

.....

**Keywords:** Times-domain electromagnetic scattering, Times-domain integral equation (TDIE), marching-on in-Times (MOT) scheme, late • -Times instability, plane wave Times-domain (PWTD) algorithm

宋体小四加粗

同中文摘要内容一致

（页眉：中间不空格，中文宋体五号，居中）

目录

设置段落：段前 24 磅，段后 18 磅

目录（中间空一格，黑体小三）

第一章 绪论

第一章命名只能为绪论，中间空一格

1.1 研究工作的背景与意义

除章标题以外的小标题：宋体小四

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

空一格

第二章 时域积分方程基础

2.1 时域积分方程的类型

章标题：黑体小四

2.2 空间基函数与时间基函数

2.2.1 空间基函数

2.2.2 时间基函数

2.3 入射波

2.4 本章小结

英文、数字字体设置：Times New Roman

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

3.2 时域积分方程时间步进算法阻抗矩阵的存储

行距：固定值 20 磅

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

3.2.2 数值算例与分析

3.3 时域积分方程时间步进算法矩阵方程的求解

3.4 本章小结

第四章 结论

最后一章命名只能为结论，中间空一格

4.1 全文总结

4.2 后续工作展望

致谢

参考文献

外文资料原文

外文资料译文

1

1

1

1

1

2

2

2

2

3

3

3

4

4

4

4

4

5

5

6

6

6

7

8

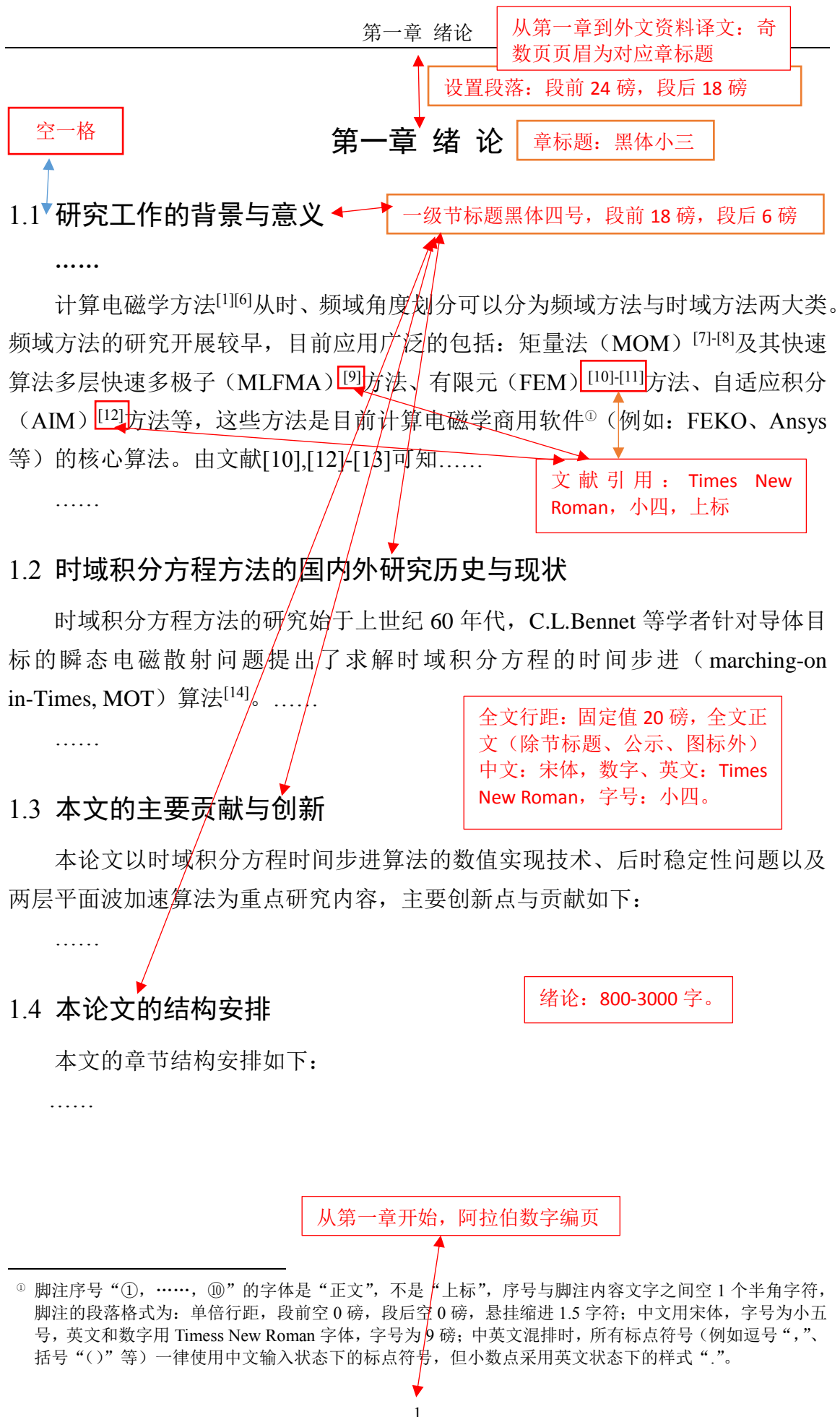
9

10

目录本身采取双面印制。第一章绪论：另起一张开始，到外文资料译文，采取连续双面印制。

III





## 第二章 时域积分方程基础

时域积分方程（TDIE）方法作为分析瞬态电磁波动现象最主要的数值算法之一，常用于求解均匀散射体和表面散射体的瞬态电磁散射问题。

### 2.1 时域积分方程的类型

两个标题之间没有正文，则第二个标题的段前设置为 0

### 2.2 空间基函数与时间基函数

利用数值算法求解时域积分方程，首先需要选取适当的空间基函数与时间基函数对待求感应电流进行离散<sup>①</sup>。

#### 2.2.1 空间基函数

二级标题黑体四号，段前 12 磅，段后 6 磅

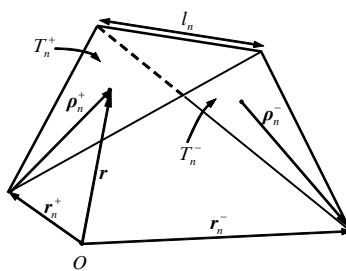
RWG 基函数是定义在三角形单元上的最具代表性的基函数。它的具体定义如下：

公式居中，编号右对齐。编号方式：（章号-x）顺序编号。如过长，在标点符号处换行。

$$f_n(\mathbf{r}) = \begin{cases} \frac{l_n}{2A_n^+} \rho_n^+ = \frac{l_n}{2A_n^+} (\mathbf{r} - \mathbf{r}_+) & \mathbf{r} \in T_n^+ \\ \frac{l_n}{2A_n^-} \rho_n^- = \frac{l_n}{2A_n^-} (\mathbf{r}_- - \mathbf{r}) & \mathbf{r} \in T_n^- \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (2-1)$$

其中， $l_n$  为三角形单元  $T_n^+$  和  $T_n^-$  公共边的长度， $A_n^+$  和  $A_n^-$  分别为三角形单元  $T_n^+$  和  $T_n^-$  的面积（如图 2-1 所示）。

图、表，正文中必须有所提及



常量、变量符号用斜体

图 2-1 RWG 基函数几何参数示意图

.....

图与图题：居中，图题置于图下方，不能分页编排。格式：图章号-x 空格图名。X 为顺序编号。图题、图中字体字号均为：宋体/Times New Roman 五号字。

<sup>①</sup> 脚注序号“①，……，⑩”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“.”。



## 2.2.2 时间基函数

.....

## 2.2.2.1 时域方法特有的展开函数

三级标题：黑体小四，段前 12 磅，段后 6 磅

.....

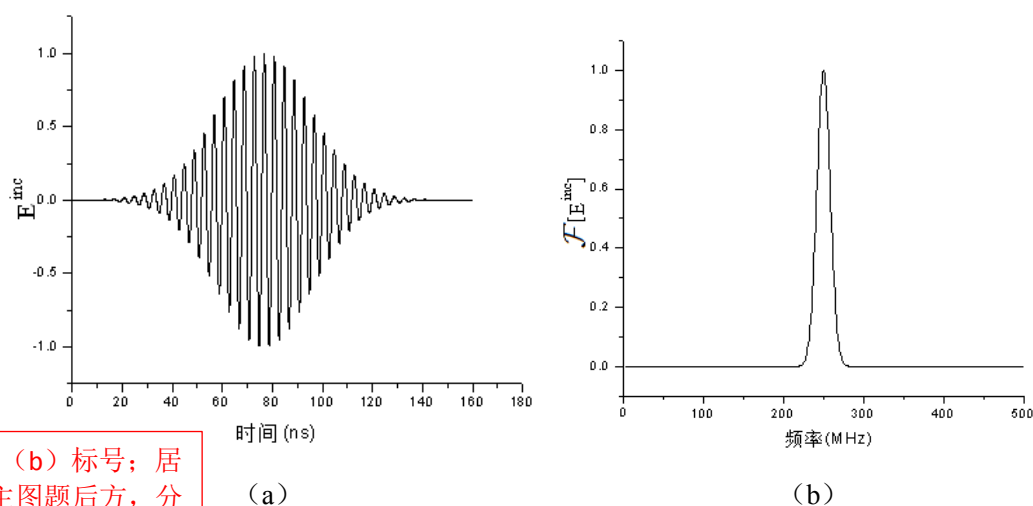
## 2.2.2.2 频域方法特有的展开函数

.....

## 2.3 入射波

.....

如图 2-5(a)和图 2-5(b)所示分别给出了参数  $\mathbf{E}_0 = \hat{\mathbf{x}}$  ,  $\mathbf{a}_n = -\hat{\mathbf{z}}$  ,  $f_0 = 250\text{MHz}$  ,  $f_w = 50\text{MHz}$  ,  $t_w = 4.2\sigma$  时, 调制高斯脉冲的时域与频域归一化波形图。



分图题：以 (a)、(b) 标号；居中，分图题置于主图题后方，分号隔开

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

除第一章绪论和最后一章结论外，每一章最后一节应为本章小结。

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<sup>[14]</sup>，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 所示阻抗矩阵存储方式的存储量大小。.....。

表与表题：居中，表题置于表上方，不能分页编排。格式：表章号-x 空格表名。X 为顺序编号。表题、表中字体字号均为：宋体/Times New Roman 五号字。

表 3-1 计算  $2m \times 2m$  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  $x$  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  $x$  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。

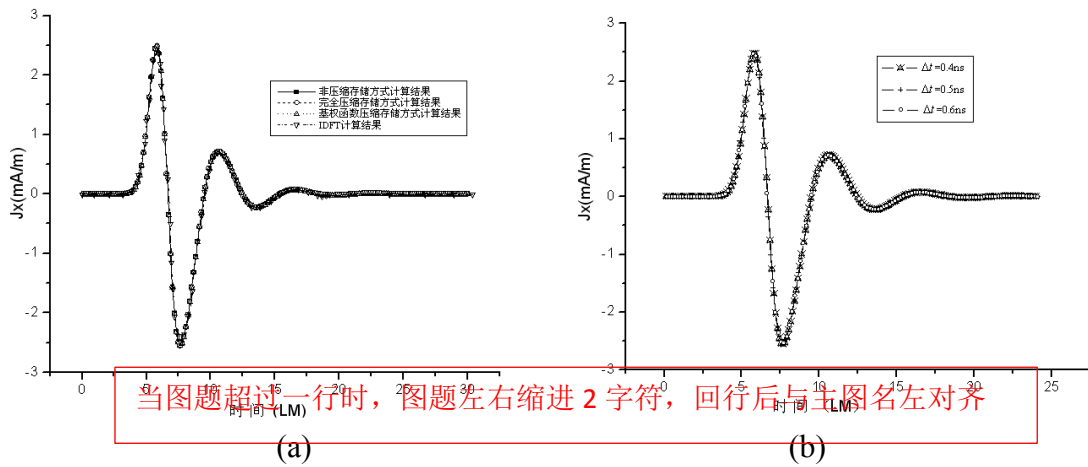


图 3-1  $2\text{m} \times 2\text{m}$  的理想导体平板中心处感应电流  $x$  分量随时间的变化关系。(a)不同存储方式的计算结果与 IDFT 方法结果比较；(b)不同时间步长计算结果比较

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 结 论

### 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：

.....

**第一章绪论到最后一章结论，字数不少于 2 万字，页数不少于 30 页。学生本人工作内容描述字数不少于 4000 字，页数不少于 10 页。**

## 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，……

……

致谢在参考文献前。致谢对象仅限在学术方面对论文完成有重要帮助的团体和个人，限 200 字内。

作者姓名只写前三, 余者写“等”  
或者“et al.”

英文作者姓名书写格式: 名在前, 缩写, 姓在后, 全拼, 首字母大写。

## 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/ps0/Fuzzy\\_Discrere\\_PSO/Fuzzy\\_DPSO.htm](http://clere.maurice.free.fr/ps0/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

编号方式: [x]空一格  
作者姓名……

参考文献书写格式: 详见毕业设计管理办法 P29

## 外文资料原文

奇数页，页眉对应章标题

1

# A Tight Upper Bound on Bit Error Rate of Joint OFDM and Multi-Carrier Index Keying

Youngwook Ko, *Member, IEEE*,

**Abstract**—This letter investigates the performance enhancement by the concept of multi-carrier index keying in orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems. For the performance evaluation, a tight closed-form approximation of the bit error rate (BER) is derived introducing the expression for the number of bit errors occurring in both the index domain and the complex domain, in the presence of both imperfect and perfect detection of active multi-carrier indices. The accuracy of the derived BER results for various cases are validated using simulations, which can provide the accuracy within 1 dB at favorable channels.

**Index Terms**—Multi-carrier index keying, orthogonal frequency division multiplexing, bit error rate.

## I. INTRODUCTION

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) has been adopted in the majority of today and future communication standards such as IEEE 802.11, 3GPP's LTE-Advanced, due to its robustness to multipath fading. The performance of these systems with increased sub-carriers is heavily dependent on an increased sensitivity to mismatched conditions such as frequency offset and phase noise [1] as well as transmission nonlinearity caused by the non-constant power ratio of OFDM symbols [2], [3].

In [4], [5], the so-called sub-carrier index modulation scheme modified the classical OFDM systems treating the sub-carrier index as additional resource to decrease the bit error rate (BER) faster than the classical OFDM at a low complexity with only a few sub-carrier activation. The effects of channel estimation errors on the approximate pairwise error probability (PEP) of the OFDM modulating the index of sub-carrier was more recently discussed in [6].

The contribution of this letter is twofold. We first generalize the BER expression of a joint multi-carrier index keying and OFDM (MCIK-OFDM) that is based on any number of active sub-carriers and includes expressions for the number of bit errors by both the MCIK and the

OFDM transmissions. In [4], [5], the BER is limited by a fixed number of active sub-carriers that differs from what we consider herein. For example, the approach in [5] cannot be used directly with both a small and a large number of active sub-carriers. Our contribution is secondly to analyze the performance of the MCIK-OFDM system deriving a tight upper bound on the BER in the presence of imperfect and perfect detection of active indices.

## II. JOINT MCIK-OFDM SYSTEM MODEL

We consider a peer-to-peer M-QAM OFDM transmission with  $N_c$  sub-carriers that consists of  $n$  clusters of  $N$  sub-carriers (i.e.,  $N_c = nN$ ). A stream of M-QAM symbols is first serial-to-parallel converted, where every  $n$  ( $\leq N_c$ ) symbols are grouped into a vector  $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T$  and  $s_i \in \mathcal{S}$  are used to modulate sub-carriers, as in the classical OFDM, but it differs from that the modulated sub-carriers are only those of  $n$  activated indices, similar to [4], [5]. For the  $n$  active indices, a different stream of  $m_0$  bits per cluster is used to randomly select one out of  $N$  indices of sub-carriers, and thus  $n$  randomly activated sub-carriers at every transmit interval. In this process, namely multi-carrier index keying (MCIK), the  $nm_0$  bits streams modulate a combination of the  $n$  indices of sub-carriers that are mutually modulated by the above  $n$  symbols streams. Note that there are  $L = N^n$  combinations available, where for the simplicity in analysis  $L$  is assumed to be  $L = 2^{\lceil \log_2 B(N_c, n) \rceil}$  and  $B(\cdot)$  denotes the binomial coefficient. After modulating both the active indices of sub-carriers (by MCIK) and the sub-carriers of the active indices (by OFDM),  $\mathbf{s}$  is mapped to  $n$  sub-carriers of the active indices. A combination of the active indices is denoted by  $\mathbf{x}_l$ , i.e.,  $\mathbf{x}_l = [i_1, \dots, i_n]$  where  $i_\beta \in \{1, \dots, N_c\}$  for  $\beta = 1, \dots, n$ . Note that  $N_c - n$  inactive sub-carriers are zero padded to represent no transmission of M-QAM symbols on these [5]. Taking into account both  $\mathbf{x}_l$  and  $\mathbf{s}$ , then the OFDM block to transmit forms

the  $N$  where  $s_F$  in eleme

外文资料原文，用截图或复印件都可以。但注意页边距，及图片大小应适中。内容须与毕业设计课题相关。需包括原文题目，作者，出处。

Youngwook Ko is with the Electronics, Communications and Information Technology Institute, Queen's University Belfast, Belfast, BT3 9DT United Kingdom, e-mail: y.ko@qub.ac.uk.

## 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,  $N_c$  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 ( $N_c = nN$ )。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  $s = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T$ ,  $s_i \in S$  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。……

……

翻译中文不少于 1000 字。格式同正文要求: 宋体/Times New Roman 小四。行距: 固定值 20 磅。

偶数页, 页眉为电子科技大学学士学位论文