**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

摘 要

随着国内居民生活水平的提升，我国汽车保有量也在与日俱增，出行越来越依靠汽车，全国各地的商场、公司单位等都修建了大量的停车场。传统的停车场管理方式效率低下，严重依赖于收费员手工操作，人工登记出错率高;车主入场后需要花大量时间寻找可停车的空闲车位，取车时有可能遗忘之前所停的车位位置。为了解决传统停车场管理方式带来的诸多缺点，本文设计并实现了一个基于PC端

的停车场缴费管理系统。

本文首先通过调研目前国内外停车场管理系统的现状和发展趋势，通过需求分析，规划并设计了该系统的功能模块、整体架构以及相关技术选型。

其次本文重点讨论了车牌识别功能的设计和实现原理。图像处理部分依赖于计算机视觉库OpenCV，并把车牌识别划分为车牌图块定位和车牌字符识别两个过程。其中车牌图块定位使用了SVM算法，以及HSV颜色空间模型、Sobel算子等图像处理技术;车牌字符识别使用了字符分割技术，并通过ANN人工神经网络对分割出的字符进行识别。

接着本文为了解决停车位调度的问题，将停车位分配问题抽象为迷宫中找最短可达路径问题，比较了多种最短路径算法，最后采用广度优先算法BFS实现了这一功能。同时为了方便车主找到之前所停的车位，本系统还实现了反向寻车功能。

**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 (TDIE), marching-on in-time (MOT) scheme, late·-time instability, plane wave time-domain (PWTD) algorithm

目 录

[第一章 绪 论 1](#_Toc466640616)

[1.1 研究工作的背景与意义 1](#_Toc466640617)

[1.2 时域积分方程方法的国内外研究历史与现状 1](#_Toc466640618)

[1.3 本文的主要贡献与创新 1](#_Toc466640619)

[1.4 本论文的结构安排 1](#_Toc466640620)

[第二章 时域积分方程基础 2](#_Toc466640621)

[2.1 时域积分方程的类型 2](#_Toc466640622)

[2.2空间基函数与时间基函数 2](#_Toc466640623)

[2.2.1 空间基函数 2](#_Toc466640624)

[2.2.2 时间基函数 3](#_Toc466640625)

[2.3 入射波 3](#_Toc466640626)

[2.4 本章小结 3](#_Toc466640627)

[第三章 时域积分方程数值方法研究 4](#_Toc466640628)

[3.1 时域积分方程时间步进算法的阻抗元素精确计算 4](#_Toc466640629)

[3.2 时域积分方程时间步进算法阻抗矩阵的存储 4](#_Toc466640630)

[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 4](#_Toc466640631)

[3.2.2 数值算例与分析 4](#_Toc466640632)

[3.3 时域积分方程时间步进算法矩阵方程的求解 5](#_Toc466640633)

[3.4 本章小结 5](#_Toc466640634)

[第四章 全文总结与展望 6](#_Toc466640635)

[4.1 全文总结 6](#_Toc466640636)

[4.2 后续工作展望 6](#_Toc466640637)

[致 谢 7](#_Toc466640638)

[参考文献 8](#_Toc466640639)

[外文资料原文 9](#_Toc466640640)

[外文资料译文 10](#_Toc466640641)

第一章 绪 论

1.1 研究工作的背景与意义

随着中国经济社会持续快速发展，汽车保有量继续保持快速增长态势。截至2017年底，全国机动车保有量达3.10亿辆。2017年在公安交通管理部门新注册登记的机动车3352万辆，其中新注册登记汽车2813万辆，均创历史新高。居民出行越来越依赖于汽车，与此同时，全国各地人流量大的地点，例如购物商场、公司单位等，均设立了相应的停车场，以应对日益增长的汽车出行停靠需求。

尽管停车场数量在不断地增多，但是传统的停车场管理方式存在高效率运营和降低成本等方面存在较多问题，具体表现在：

(1)车辆进出停车场时依赖于收费员肉眼识别车牌号码和手动录入系统，该过程费时费力，且凭照肉眼观察极容易出错，同时容易造成车辆在停车场出入口的拥堵，降低车主的停车用户体验。

(2)车主在进场后需要花费大量时间寻找空闲车位进行停车。传统的停车场管理系统中，车主从停车场入口进入后，需要自己花费大量时间寻找未被占用的可用车位。同时，当车主返回停车场取车时，如果遗忘了先前所停的车位所在位置，又要花费大量时间在停车场内进行寻找。

(3)传统的停车场管理系统没有合理地对使用系统的用户进行权限控制，导致系统的安全性、可靠性和机密性得不到相关的保障。

(4)传统的停车场管理系统没有提供数据统计和分析模块。

鉴于上述列举出来的弊病，本文设计并实现了一个智能停车场缴费管理系统PC端。该停车场管理系统由车牌识别模块、停车位动态分配模块、停车场反向寻车模块、IC卡模块(IC卡发行、充值续期、注销挂失解挂等)、RBAC(Role Based Access Control，基于角色的权限控制)权限管理系统，以及数据分析功能。通过实现以上几个功能模块，可以较好地解决传统停车场管理中存在的弊病。

1.2 停车场缴费管理系统的国内外研究历史与现状

目前，国外停车场缴费管理系统经过多年的发展，已基本进入智能无人化收费的阶段。其使用的收费介质已由传统接触读写类型收费介质转变为非接触类型的新型收费介质。国外停车场收费系统一般采用高度智能化的专用设备，可以实现收费系统的无人化操作。设备制造工艺精良，系统稳定性和产品技术水平达到较高水平。

停车场缴费管理系统的一个显著特点是停车交易支付手段的电子化程度非常高，基本上不存在现金交易的现象。许多国外管理系统配备停车车位引导系统、停车车位查询系统等智能化设备，使停车场管理系统的功能更加丰富。

一些国外停车设备厂商正在研究能够实现‘网络化存车’的停车场管理系统。这种收费系统依靠INTERNET网络连接，能够实现在一个相对广阔的地域内（例如一座城市甚至一个国家）的多个停车场的随意停车。管理系统会统一调度车位资源，统一进行交易结算。停车用户在家中通过网络就可以预定停车车位，交纳停车费用，查询出行目的地的各类停车信息。这种新型停车场管理方式适应了INTERNET网络在人们日常生活中越来越重要的现状，使停车场管理系统的作用范围和功能得到了极大的扩展和延伸。

近几年来，国内停车场管理系统行业借鉴并汲取了国外先进的停车技术和理念，并结合自身国情研发出多种停车场管理技术，主要是顺着"取读卡-卡票结合-车牌识别"的过程不断发展进步。

取读卡方式是最早使用的停车场管理系统技术，车辆通过自助或者由工作人员发卡的方式取卡进入停车场，出场时将停车卡给工作人员，缴费之后即可出场。使用的停车卡主要分为以下几种：无源IC卡、无源IC中距离卡、有源中距离卡、有源远距离蓝牙卡等。

但是取读卡方式存在着一定的问题：①丢卡现象经常发生；②停车卡成本相对较高，且每台停车场管理设备能够容纳的停车场卡数量较少，一般为200~400张左右，无法适用于中大型停车场；③停车卡重复使用不卫生，尤其是在医院、卫生站等场所停车场应用中更为凸显。针对以上存在的问题，取读票方式应运而生。目前，使用较为广泛的还是卡票结合，即一套设备既可以使用读卡，又可以采用取票，内部车辆使用读卡方式，而临时车辆使用取读票的形式进出停车场。

取读票方式能够实现以下几个功能：①卫生安全。相比停车卡的反复使用，一次性停车票更加卫生安全，尤其适合医院这种存在病菌传染的区域，有效避免反复使用停车卡的病菌传播。②节约成本，轻松应对大流量。每卷纸票数量可达3000张，完全足以应对医院较大的车流量，并且纸票数量大，可以降低更换频率，节约成本；而使用停车卡需要经常开箱换卡，且成本相对较高。③停车信息在停车票上一目了然。控制机吐票前会自动将相关的停车信息打印在纸票上，如车牌号码、车辆类型、进入地点、进入时间和到期时间等信息，让车主一目了然，同时还减少了费用争议。

但是，在实际应用中，取读票方式的停车场管理系统也表现出一定的局限性：一方面没有解决读取卡丢卡的问题，丢票现象同样经常发生；另一方面停车凭证使用票据的形式在阴雨天气可能出现停车票被雨水打湿后无法读取相关的停车信息，影响到正常快速的收费。

近几年来，随着车牌识别技术的不断成熟，一套新型的停车场管理系统诞生，并获得了市场的认可，那便是目前流行于停车场行业中的车牌识别快速系统。车牌识别快速系统是一套先进的停车场管理系统，集摄像机、闪光灯和控制机等设备于一体，实现对车辆进出场进行快速地处理和收费。车辆靠近停车场入口并触发地感，快速系统控制机内的摄像机就会马上抓拍车牌，再由管理软件进行车牌数据处理和停车信息记录，并且道闸迅速抬杆放行，车主无需取卡/票进场。

车牌识别快速系统的优势主要表现为以下几个方面：（1）车辆进出免取卡（票），可支持不停车识别进出，大大缩短车辆在进出口逗留的时间，避免车辆拥堵。（2）车牌识别记录车辆停车相关信息。该停车场管理系统具有很高的车牌识别率，能够正确地快速地对车辆车牌号进行抓拍和信息提取并储存，很好地解决了取卡/票方式的弊端。

由于我国汽车保有量的不断增加，拥有的停车位数量有限，与不断上涨的停车需求形成鲜明的对比，为了解决停车位占地面积与有限土地面积的矛盾，智能立体车库以其平均单车占地面积小的独特特性，已被广大用户接受，并成为我国停车场管理系统的趋势。

智能立体车库是集设备、操作、安全、监控、维护、管理为一体的智能化停车场管理系统，触摸屏式的人机界面，操作和使用也极为方便，具备智能化管理及收费系统，主要优点有占地面积小，选型多样、可具体结合场地特点设计，也可与其他方式相结合来实施，自动化程度高，操作使用方便，管理和维护也较为容易，具有定量存车的特点。

目前，智能立体车库在国内的运用相对较少，该行业也正处于起步阶段。国外具有很多优秀的停车场经典成功案例可供借鉴，新加坡牛车水客纳街停车场就是其中之一。这个停车场耗资618万元，共有四层楼高，并有专门的管理公司管理。车主只需要将车子停放在入口处电梯内，然后再电梯外启动停车程序，即在触控屏幕上输入个人设置的密码，系统则会自动寻找空闲的车位，并将车子顺利地送到空车位上。取车时只需要再次输入密码便能够快速取车。

智能立体车库能够通过充分利用有限的空间来增加车位数，且大大缩减了停车场的占地面积，同时也为车主带来了很大的方便，目前广泛应用于国外多个国家和地区，也是我国停车场管理系统行业未来发展的一个趋势。

停车场管理系统设备应用领域非常广泛，各种大型超市大型商业收费停车场，中小型商业收费停车场、小区停车场等都有相应的应用。传统的停车场管理系统只解决了出入口控制的问题，对于停车场内部的停车引导、人工管理效率低下、存在收费漏洞等问题，更别说进行停车场整体的系统整合及资源优化配置了。智能停车场的发展趋势有以下几个方面：停车场实现联网共享数据，打破信息孤岛，建设智慧停车物联网平台，实现停车诱导、车位预定、电子自助付费、快速出入等功能。

停车诱导、车位引导和反向寻车系统快速普及，目前在建的停车场越来越大，动辄几千个车位以上，这样大的停车场如果没有引导和寻车系统而靠人员疏导的话，对管理人员和客户都是一个灾难。无人化服务逐渐普及，由于我国的劳动力成本快速上升，过去靠人海战术管理停车场的方法越来越不行了，参照国外的发展经验，停车场的自动化程度将越来越高，管理人员逐渐减少，直至实现无人化服务。手机实现车位预定、支付、寻车等功能，智能手机和移动互联网这两年快速普及，移动互联网用户已经超过了固定互联网用户，利用手机订餐、购买电影票、下载优惠券、交友等已经普及，所以停车场中的这些应用将快速普及。

立体车库增多，我国城市人口多、密度大，土地成本高，参照日本等国的经验，立体车库具有占地少、利用率高、进出方便等优势，将会快速发展。智能停车场能够集中解决人们在停车过程中遇到的停车难、找车难、通行速度缓滞、缴费方式单一等等问题，充分满足人们切实需求的现代停车场。

目前国外停车场最新技术的应用主要有以下7种技术：

一、1.采用超声波技术来进行车位监测、车辆导引计数的这套系统，不仅在国外有，据了解在国内也有，这套系统的技术含量比较高，运行稳定性也很好，设备维护的投入量很小。

2.超声波传感器阵列用于导引计数，主要安装在坡道、楼层入口、区域等处，安装方法是总线制，吊顶安装，它的特点是工程量小、安装简单、性能稳定。二、视频车辆底盘检测技术用于安全防范，视频车辆底

盘检测技术对于一般单位意义不大，主要是针对一些比较敏感的单位，比如说机场、军队等安全防范级别比较高的单位。扫描单元（高度9cm/3.5”）包括高分辨率线阵摄像机、反射镜以及LED照明设备，从地面向上拍摄，获得移动车辆底盘的完整清晰图像。视频车辆底盘检测系统可以通过底盘图像进行判别是否有可疑物品。视频车辆底盘检测系统可以固定安装也可以移动安装。这套系统可与车牌识别、图像对比系统集成组合使用。

三、车牌识别技术用于出入口控制及寻车系统

四、网络摄像机用于车位监测：这是比较新的一项技术，就是在车位上方安装摄像机，每个摄像机可以监测3个车位，可以实时的知道每个停车位的使用情况，目前在德国已经应用。

五、咪表用于路面停车收费，咪表用于停车收费已经不是新的技术。

六、自动收费机用于场内、出口收费，自动收费机和咪表一样，也不能算是一种新的技术，但在国内来讲，市场越来越多的应用起来。它的付费方式多种多样有：硬币和纸币、多种纸币、硬币找零、信用卡、费率显示、场内付费、入口加出口付费等。国外也使用银行卡、信用卡等。

……

1.3 本文的主要贡献与创新

本论文详细论述了一个停车场缴费管理系统PC端的设计与实现过程，主要内容包括系统架构和模块分层设计、车牌号码识别、停车位自动分配和停车场反向寻车、RBAC(Role Based Access Control，基于角色的权限控制)权限控制、数据库表设计、系统具体设计、系统功能测试。

本文论述的主要创新点在于车牌号码识别、停车位自动分配和停车场反向寻车，以及RBAC(Role Based Access Control，基于角色的权限控制)权限控制。

车牌号码识别：车牌识别借助计算机视觉库OpenCV，分为车牌图块定位和车牌字符识别两个过程。其中车牌图块定位使用了HSV颜色空间模型、Sobel算子等图像处理技术，以及支持向量机SVM算法;车牌字符识别使用了字符分割技术，并通过KNN对分割出的字符进行识别。

停车位自动分配和停车场反向寻车：本文为了解决停车位调度的问题，将停车位分配问题抽象为迷宫中找最短可达路径问题，比较了多种最短路径算法，最后采用广度优先算法BFS实现了这一功能。同时为了方便车主找到之前所停的车位，本系统还实现了反向寻车功能。

……

1.4 本论文的结构安排

本文的章节结构安排如下：

第一章：绪论

分析了传统停车场管理方式的各种弊病，探讨了停车场缴费管理系统的国内外研究现状，说明了本文实现的停车场缴费管理系统的主要贡献与创新，最后给出了本论文的章节组织结构。

第二章 系统总体方案设计

本文实现的停车场缴费管理系统PC端主要是利用了计算机图像处理技术和机器学习算法，通过停车场入口安装的摄像头抓拍车牌照片，并自动识别号码，系统自动分配距离当前入口最近的空余车位并给出具体路径，然后车主刷IC卡后系统开闸放行。车辆出场时系统比对出入场抓拍照片，自动完成停车费用结算，然后开闸放行。该系统实现了停车场日常管理的自动化，减低了人力成本和出错几率。

2.1 时域积分方程的类型

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[[1]](#footnote-1)。

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

……

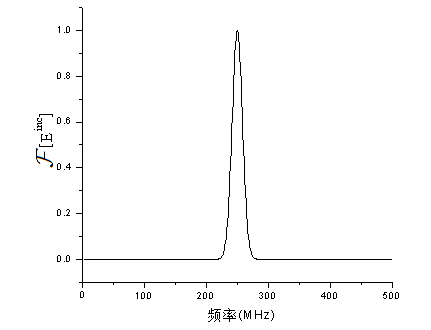
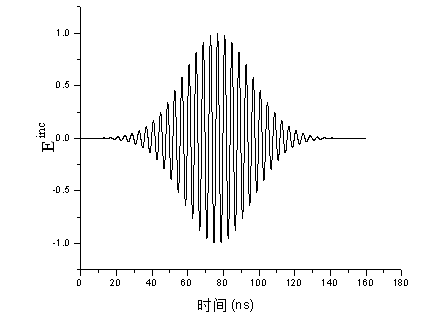
2.2.2.2 频域方法特有的展开函数

……

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。

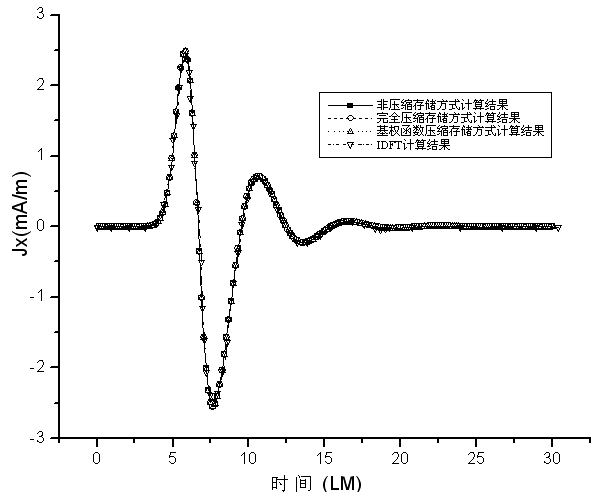
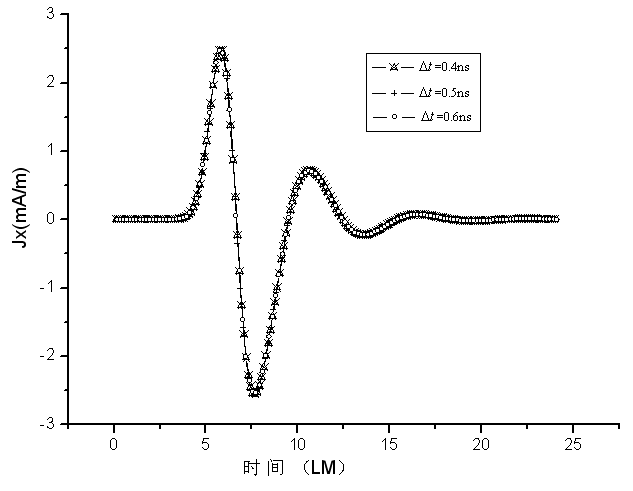
3.2.2 数值算例与分析

……。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。……

……

1. 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“.”。 [↑](#footnote-ref-1)