

本科毕业设计开题报告

**（2022届）**



论文题目 基于Arduino的三阶魔方复原系统的实现

作者姓名 林 泽

指导教师 潘 翔

学科(专业) 计算机科学与技术1802

所在学院 计算机科学与技术学院

提交日期 　 2022年6月

**基于Arduino的三阶魔方复原系统的实现**

一、选题的背景与意义

1.1 研究开发的目的

魔方作为凝聚了人类智慧的玩具，不仅可以培养人们的空间想象力、记忆力等，更可以锻炼手脑协同工作能力，其还原的过程代表着人类的三维空间想象能力及逻辑推理运算等方面的智力行为。再者，如今出现以不同方式还原魔方的竞技运动，例如单手还原魔方、双手还原魔方等。可见在解魔方这个过程中，人们有各式各样的办法与招式。而标准三阶魔方可称得上是所有魔方类型中的经典。

Arduino是一个单芯片微控制器，即单片机。其采用基于开放源代码的软硬件平台，软件平台指的是其具有使用类似Java、C语言的Process/Wiring开发平台，硬件平台指的是其构建简易输入输出的接口板。因此，利用Arduino嵌入式系统开发魔方还原系统[1][2]可以极大地简化开发步骤。

为了提高魔方还原效率及尽可能的缩短魔方还原时间，拟开发一套结合摄像头并且基于Arduino的三阶魔方还原系统。本系统经过复杂的计算与推理，建立还原步骤简化规律，可快速寻找到最优的还原步骤；同时依次使用准确无误的颜色识别模块、稳定快速的电机转动模块和高效可靠的串口通讯模块可实现对魔方快速又精准地还原。

1.2 国内外研究发展现状

早在1978年，匈牙利的数学家们把魔方介绍给当年国际数学家代表会的专家学者，这是魔方在数学家面前的首次正式亮相，同时也引起了极大的反响，受到了人们的广泛关注。在随后的一段时间里英国便出现了历史上第一批的魔方理论研究小组。在1981年3月，魔方首次登上了《科学美国人》的封面。在魔方领域的众多概念中，魔方复原所需的最小转动次数称为“上帝之数”，也就是至少需要经过多少旋转操作能够复原一个打乱的魔方[3]。“上帝之数”的具体数值吸引了非常多的魔方研究者[4]，其中有相当一部分是数学家。数学家们用几十年的研究证明，任何打乱都可以在二十步内解决，即上帝之数为二十[5]。

近年来，魔方复原系统机器人引起了国内外研究人员的广泛兴趣。在国外，最早出现的魔方复原系统是在2010年世界制造者博览会上展出的名为“The Cubinator”的双臂魔方还原机器人，这款机器人是皮特-雷蒙德设计的，其工作原理是由相互垂直、呈九十度角的两个机械手臂旋转配合，通过一系列机械手臂对魔方的松紧操作，从而完成魔方复原。2011年，斯威本科技大学的一个学生小组研制了一款名为Ruby的魔方复原机器人，被人们誉为“最快魔方机械手”，该魔方机器人以10.96 s的成绩打破当时机器人复原魔方的最快纪录。2014年，由ARM的两位工程师完成的CubeStormer3机器人还原魔方仅需3.253秒，而上一代产品CubeStormer2需要5.27秒，并且当时人类复原魔方的记录则为5.5秒，机器人复原魔方的水平已远远领先人类的水平，该机器人的旋转部分采用的是四个与乐高机器人配对的伺服电机，机器人采用ARM驱动的三星Galaxy S4智能手机，由三星Exynos 5 Octa应用处理器驱动，分析立方体，并指导四个机器人手进行旋转操作，ARM9处理器还为八块乐高 MINDSTORMS EV3积木提供动力，执行电机排序和控制。2019年，日本工程师Human Controller制作了一款自还原的魔方，该工程师把魔方内部“魔改”了一番，把原本是简单连接杆的核心改成了电子机械结构[6]，其结构包含了电机、电线、电池等复杂机械结构，使得魔方拥有了自动化的基础，魔方在被打乱的过程中，其内部芯片会存储打乱的顺序，当魔方检测到一段时间没有发生人为转动时，则会自动开始按照打乱的顺序倒序进行相反方向旋转的操作。除此之外，随着科技水平的进步，德国工程师Albert Beer设计的名为“Sub 1 Reloaded”的魔方机器人是目前世界上魔方复原速度最快的机器人，能够在 0.637 秒的时间内完成任务，其主要结构为空间中相互垂直的6个旋转轴，该魔方机器人通过两张照片来识别魔方的色块样式，然后借助 Herbert Kociemba 发明的两阶段算法[7]来计算出一套解决方案，最终在英飞凌处理器的指挥下，让机械臂在1s内完成最后的操作。相比于文献[8]中介绍的魔方复原的算法，两阶段算法具有在复原步骤上有很明显的优势。

在国内，也有许多魔方爱好者设计了不同复原方式的魔方复原系统，例如用双臂解魔方机器人系统[9][10]、四臂魔方还原系统[11]等，除此之外还有基于不同嵌入式平台的系统[12]，例如基于FPGA异构平台的魔方还原系统[13]、基于ARM9的魔方机器人系统[14]、基于STM32的解魔方系统[10][15]等。南通理工学院的解魔方机器人[16]可以在七十秒之内完成魔方的复原。北京理工大学珠海学院自动化学院设计的魔方还原系统采用双气动控制的方法，其魔方还原成功率可达到97%[9]。济南大学的田田[17][18]设计了一款同样基于气动的解魔方组合机械手，该方法通过采用带有CMOS图像传感器的摄像头来捕获各个魔方块的颜色图像，再通过RGB颜色模型完成魔方色块的颜色识别，以本地计算机为上位机，采用Thistlethwaite算法计算出复原步骤，最后通过控制气动机械手进行魔方复原。大连民族学院的董海洋[19]设计了一款通过四轴还原魔方的类人机械臂机器人，以安卓操作系统的智能机作为上位机，通过摄像头完成图像采集，并计算出还原指令，通过嵌入式控制板连接舵机，再接收客户端发出的还原指令，最终串行调度相互垂直的四个机械手臂，从而执行魔方复原动作。东北大学的张雪娇[20]设计了一款硬件部分由乐高组件组成的魔方机器人，该机器人采用能将光学影像转化为数字信号的CCD半导体作为图像采集模块，并使用笔记本电脑作为上位机对捕捉到的图像进行预处理与魔方块颜色识别。除此之外，国产魔方品牌GAN设计的全球消费级智能魔方机器人GAN Robot能在五秒内复原任意打乱的魔方。该机器人采用的是五轴伺服系统，由动力台、动力臂及X旋爪组成，四向卡位底座，固定动力臂。若要进行复原操作，则需要使用配套的魔方，并且在相应的APP平台上，其复原的原理是魔方中心轴记录打乱的顺序并通过蓝牙将其顺序发送到APP平台上，通过APP平台进行还原算法的推理，得出还原的顺序及各自的转动方向后将其发送到四向卡位底座进行还原。

随着上述各种魔方还原机器人的出现，也有越来越多的各界人士包括数学家们研究魔方还原算法，追求魔方还原在速度、效率上的极致。并且由于解魔方本身具有趣味性及可观赏性，研究解魔方的人也越来越多。

二、研究开发的基本内容

2.1 研究目标

在对比国内外多轴解魔方系统的基础上提出自己独特的设计并实现，同时尽可能保证还原准确率。当然，还原魔方的速度也是非常重要的一个因素，关于如何提高还原速度，国内外学者及感兴趣的人们都做了一些探索。特别在这个图像识别技术如此成熟、自动化程度如此高的时代，借助对电机的控制对六个魔方面进行旋转已经成为了一种普遍的做法。本课题的研究目标依靠于小型摄像头捕捉魔方块并利用Kociemba提出的两阶段算法对三阶魔方进行快速还原系统的实现，在此特别要指出的是该魔方可被随意打乱。本研究的目标是在研究魔方还原的同时，提出一种既保证快又保证还原率高的魔方还原系统。

2.2 研究的基本内容

本研究的具体内容包括：

1. 整体结构搭建

在整体结构方面，本研究需要使用六个闭环步进电机[21][22][23]控制三阶魔方的不同面从而进行转动。因此需要搭建一个可搭载六个闭环步进电机的整体框架。该框架由2020铝型材以及角钢搭建而成，并额外安装一些自主设计的3D打印件以稳定魔方及电机的位置。

1. 上位机编程

本研究需要在上位机基于Python语言进行UI界面设计以及实现识别不同魔方面中的各个魔方块颜色的作用。

该部分是整个研究的关键，更准确的说，识别魔方块颜色部分是该研究的关键。安装在角落的三个摄像头以不同的视角对魔方进行拍摄，再利用OpenCV对固定位置的魔方块进行颜色识别。再次需要注意的是考虑到步进电机利用“爪子”旋转魔方面，当摄像头拍摄魔方的照片时，“爪子”会遮挡住中间位置的魔方块，因此在放置魔方时，需要固定前侧中心块为白色，左侧中心块为绿色，右侧中心块为蓝色，后侧中心块为黄色，上方中心块为橘色，下方中心块为红色。固定不同方向的中心块的颜色，可大大增加颜色识别的准确率。

1. 下位机编程

本研究还需要在Arduino平台基于C++语言的下位机开发。在下位机编程过程中，需要定义并关联每个Arduino的针脚与步进电机针脚的关系。

另外，步进电机每输入一个控制脉冲，电机就会按照既定的角度旋转一步，这个角度叫做步进角。通过Arduino Nano向六个方位的电机输入不同的控制脉冲，实现旋转90°或180°的作用。另外，当接收到指令时需要对指令选择并判断，进而执行以下三种不同的操作：逆时针旋转90°、顺时针旋转90°，顺时针旋转180°。

1. 串口通信

在保证所有魔方块识别颜色准确后，系统将不同位置的颜色块按给定顺序形成特定的序列，由Kociemba算法得到解法后经过USB串口将其传输到Arduino下位机，再由下位机向步进电机传输旋转指令，从而按特定序列旋转特定的魔方面。该部分的主要功能是将魔方解法指令转换为实际旋转操作。

2.3 需要解决的技术难点

本研究存在着以下技术难点：如何连接步进电机与魔方；如何尽可能提高魔方块颜色识别准确率；如何提升魔方的复原速度；如何使用解决串口拥挤问题、如何连接上下位机等问题。

三、研究开发的技术路线

本研究的开发基于以下内容：

1. 系统平台：Ubuntu 20.04.3 LTS (Focal Fossa)。Ubuntu 20.04是 Ubuntu 的第 8 个 LTS 版本， 代号为"Focal Fossa"，此次版本将会获得 5 年的技术支持，直至2025年4月，本次长期支持版本包含了诸多增强的安全特性，包括可防止低层攻击和包括可防止 rootkit 和低级攻击的安全启动。Ubuntu 20.04 LTS Beta 已将大部分核心软件包和工具链升级至新版本，包括正在使用的 Linux 5.4 内核，GNOME 3.36 桌面环境，文件系统升级至 ZFS 0.8.3。以下是Ubuntu20.04的特点：GNOME 3.36 是默认的桌面系统；性能提高了很多；新的 Yaru 主题很华丽，也有黑暗模式；改进的 ZFS 支你可以获得最新的 Linux 内核 5.4（LTS）；增加了对 exFAT 的支持；改进硬件和图形支持；更新软件 Python 3.8.2；Wireguard 已被移植到 Linux 内核5.4，可以在 Ubuntu 20.04 上使用等。

2. 三维建图软件：Solidworks2016。SolidWorks是一款操作简便、易学易用，被广泛应用于机械、汽车和航空等领域[24]的三维建图软件。其四大特点是功能强大、易学易用、组件繁多和技术创新，深受三维CAD解决方案开发人员的青睐。

3. 编程语言：Python、C++。Python是一种跨平台的编程语言。其结合了解释性、互动性、编译性，可以应用于Web 和 Internet开发、科学计算和统计、人工智能、桌面界面开发、软件开发、后端开发和网络爬虫。以下是Python语言的特点：1、简单易学；2、运行速度快，Python 的底层是用 C 语言写的，运行速度非常快；3、开源免费，使用者可以自由地阅读和改动源代码；4、可移植性，Python可以被移植在多平台上，包括Linux、Windows、Symbian、Android平台等；5、面向对象，Python既支持面向过程也支持面向对象编程；6、可扩展性，可以部分程序用其它语言编写，集成到Python程序中；7、具有丰富的库，可批量处理事件，包括批量操作正则表达式、文档生成、数据处理、电子邮件、XML处理等。

4. 集成开发工具：PyCharm、Arduino IDE。PyCharm是一种Python语言的集成开发环境。该集成开发环境在先进代码分析程序的支持下，使其成为 Python 专业开发人员和刚起步人员使用的有力工具。PyCharm是用于Python脚本语言的最流行的IDE。除此之外，该IDE提供了以下高级功能：代码补全、项目代码导航、代码分析、Git可视化、代码覆盖率、包装管理、本地历史、重构等。总的来说，PyCharm还是一款比较强大的IDE。

四、研究工作总体安排与时间进度

本研究工作拟在2021年11月30日至2022年1月20日期间了解本课题相关内容并查找相关的中、英文资料；在2022年1月21日至2022年3月11日期间查阅文献资料，完成文献综述、开题报告和外文翻译的撰写；在2022年3月12日至2022年3月20日期间确定开发工具并学习相应开发工具的使用；在2022年3月21日至2022年4月5日期间进行系统的概要设计、详细设计等；

本研究的实际开发阶段拟在2022年4月6日至在2022年4月20日期间系统框架及开发环境搭建；在2022年4月21日至2022年5月21日期间进行项目的开发；在2022.5月22日至2022年5月25日期间完成系统测试；

本研究的收尾阶段拟在2022年5月26日至2022年6月5日期间整理资料、完成毕业论文；最后将在2022年6月5日至2022年6月10日期间上交毕业论文、准备毕业答辩。

参考文献

1. 张霞. 校本教材《基于Arduino的智能机器人设计》的开发和实践研究[D].西南大学,2021.
2. 王一帆,陈浩东,陈文秀,赵康荏,赵萍.基于机器视觉的智能魔方机器人研究综述[J].机械设计,2019,36(03):8-13.
3. 哈金才,李若雪,哈瑞.魔方的数学模型研究及其应用[J].创新创业理论研究与实践,2018,1(19):83-86.
4. Kunkle D, Cooperman G. Twenty-six moves suffice for Rubik's cube[C]//Proceedings of the 2007 international symposium on Symbolic and algebraic computation. 2007: 235-242.
5. Rokicki T, Kociemba H, Davidson M, et al. The diameter of the Rubik's cube group is twenty[J]. siam REVIEW, 2014, 56(4): 645-670.
6. Zeng D X, Li M, Wang J J, et al. Overview of Rubik’s cube and reflections on its application in mechanism[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2018, 31(1): 1-12.
7. Kociemba H. Two-Phase Algorithm Details[EB/OL]. 2015 [2022]. http://kociemba.org/math/imptwophase.htm.
8. Zhang L, Tian X, Xia S. A scrambling algorithm of image encryption based on Rubik's cube rotation and logistic sequence[C]//2011 International conference on multimedia and signal processing. IEEE, 2011, 1: 312-315.
9. 卢桂萍,程开,罗泽奇,吴荣鑫,陈永键,康诗铄.基于Kociemba算法的双臂解魔方机器人还原算法研究[J].机电工程技术,2021,50(09):100-103.
10. 高达.基于STM32双臂魔方机器人的设计[J].电子产品世界,2018,25(11):51-53.
11. 郝崇清,过仕安,焦敏,马海港,于清超,赵宇洋.基于四臂协调控制的魔方还原系统设计与实现[J].河北工业科技,2019,36(04):278-286.
12. 古长军, 张艳珠, 邓宣金. 魔方机器人硬件系统设计[J]. 电子制作, 2015 (7): 81-81.
13. 卢仕,张志文,张寅,万美琳.基于SoC FPGA异构平台的魔方快速还原系统设计与实现[J].计算机测量与控制,2019,27(06):213-217.
14. 胡鑫. 基于ARM9的嵌入式魔方机器人系统设计[D].华南理工大学,2011.
15. 盛庆华,杜永均,罗飞,李辰龙,何凯.基于STM32机械臂解魔方算法研究[J].实验室研究与探索,2017,36(04):29-32.
16. 李泽萱,滕旭阳,郑艺彬,唐日成,徐欢潇.基于Arduino的两臂解魔方机器人算法设计[J].电脑知识与技术,2018,14(17):248-250.
17. 田田. 解魔方气动组合机械手功能结构设计与系统分析[D].济南大学,2015.
18. 田田,徐林,赵洪华,昃向博.解魔方四爪机械手结构设计与操作[J].机器人技术与应用,2014(05):38-39.
19. 董海阳,魏巍.类人四轴解魔方机器人的设计[J].电子技术与软件工程,2013(08):62.
20. 张雪娇. 智能魔方机器人的视觉感知与复原算法研究[D].东北大学,2011.
21. 李娟,马利祥.步进电机控制系统设计[J].科学技术创新,2021(08):191-192.
22. 张秀辉,苏娱.基于单片机的步进电机控制系统研究[J].电脑知识与技术,2016,12(12):279-280.
23. 夏斯权,周亦敏,杨一波,黄松.步进电机闭环控制系统的研究与应用[J].机电工程,2017,34(12):1446-1450.
24. 罗跃辉,靖少朋,常向阳,薛晓江,王岩,原志华,张彬彬,井仪.SolidWorks软件设计模板应用分析[J].机械工程师,2020(07):75-77.