

本科毕业设计文献综述

**（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**

**摘要：**本文是一篇设计并实现基于Arduino的三阶魔方复原系统的文献综述。本文先介绍该魔方复原系统独有的研究意义，接着阐述该系统项目在国内外的研究现状及研究难点，并明确当前同类项目的研究情况，从而进一步定位该项目开发的整体大环境。除此之外，本文还简述了该系统的结构并介绍在系统开发过程中需要运用的关键技术，如Kociemba算法、哈希映射等。

**关键词：**Arduino，三阶魔方复原系统，系统结构，Kociemba算法

一**、**引言

魔方还原是一项备受人们青睐的智力运动。三阶魔方最早于1974年由匈牙利布达佩斯建筑学院的厄尔诺·鲁比克教授发明，是目前主流的魔方种类[1]。自从鲁比克教授发明魔方以来，人们对魔方还原的探索就从未停止过。三阶魔方复原系统是一个集机械、电子信息和计算机等多学科知识综合运用的智能系统，制作一个解魔方更快、翻转动作更加迅速灵活、更具鲁棒性的三阶魔方复原系统具有较大的理论意义和工程创新价值[2][3]。

随着科学技术水平的发展，许多研究学者研发出不同还原方法的解魔方系统，如双臂解魔方机器人系统[4][5]、四臂魔方还原系统[6]等，除此之外还有基于不同嵌入式平台的系统，例如基于FPGA异构平台的魔方还原系统[7]、基于ARM9的魔方机器人系统[8]、基于STM32的解魔方系统[9]等。

为进一步提高三阶魔方的还原效率，提升魔方还原速度，因此开发一款快速还原三阶魔方的魔方还原系统。

二、研究意义

魔方具有较强的科学性、趣味性和可参与性，并且数学中许多概念和知识在魔方中有所体现，例如群论、传递性、置换、换位子、共轭等。研究魔方的数学变换规律、还原模型和表示方法是考验数学逻辑推理能力一种方式，同时也是对复杂的过程进行数学归纳研究能力的一种锻炼。因此，将魔方自主还原系统作为一种高智能的科普产品推广开来，对于科技知识的普及、国民科学文化素养的培养及全民族科学文化素质的提高具有重大意义。并且，随着微电子技术领域的快速发展，基于嵌入式的系统应用领域越来越广泛，尤其是其具备低功耗技术的特点得到人们的重视，越来越多的项目搭载在嵌入式平台上[10]。在嵌入式的广泛运用前景中，嵌入式智能系统是今后发展的趋势之一。

因此，本魔方还原系统的开发将解魔方和嵌入式系统两者相结合，是理论与实践的结合体，可以进一步推动魔方领域的研究与发展，甚至还有可能带来良好的市场经济效益。

三、国内外研究现状及难点

不管是国内还是国外，研发魔方还原系统的研究者大有人在。

在国外，最早出现的是在2010年世界制造者博览会上展出的一款名为“The Cubinator”的双臂魔方还原机器人。这款机器人由皮特-雷蒙德设计，由相互垂直的两个机械臂相互配合完成魔方复原。除此之外，澳大利亚斯威本科技大学的一个学生小组研制了一款名为Ruby的魔方机器人，被人们誉为“最快魔方机械手”。该魔方机器人曾以10.96 s的成绩打破当时机器人复原魔方的最快纪录。

除此之外，德国工程师Albert Beer设计的魔方机器人“Sub 1 Reloaded”是目前世界上复原魔方最快的机器人，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。“Sub 1 Reloaded”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。

在国内，也出现了许多各式各样的魔方复原系统。就比如济南大学的田田[11][12]设计了一款基于气动的解魔方组合机械手。通过采用CMOS图像传感器的摄像头来捕获魔方面的各个魔方块颜色图像，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TM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[13]设计了一款通过四轴解魔方的类人机械臂机器人。以安卓操作系统作为上位机，通过摄像头完成颜色扫描，计算出还原指令，通过嵌入式控制板连接舵机，接收客户端发出的还原指令，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。

云南师范大学的刘远法[14]设计了一款基于Arduino单片机的解魔方机器人。以Arduino作为下位机，颜色传感器作为颜色识别的装置，控制一只机械臂和一个可旋转的底座，机械臂负责旋转或固定魔方，底座负责旋转底面，两者相互配合，从而实现魔方六个面的旋转。

东北大学的张雪娇[3]设计了一款硬件部分由乐高组件组成的魔方机器人。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对魔方块进行图像采集，并使用笔记本电脑作为上位机对魔方各面各色块的图像进行预处理与颜色识别。比较特别的是，该机器人采用乐高机器人作为复原魔方的实体部分。

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。

目前，该领域研究的难点主要有：如何提高魔方还原的速度、如何提高系统的鲁棒性等。对于魔方还原的速度，其涉及到的因素有许多，如整体硬件结构、电机旋转速度以及还原魔方的算法等。对于系统鲁棒性，主要是针对摄像头对魔方块颜色的识别这一部分，考虑到光照强度会在一定程度上影响魔方块的颜色识别，因此这一部分的难点需要去着重解决。

四、系统实现技术方法研究

本系统实现拟采用的技术包括很多，例如Kociemba算法框架[15]、OpenCV图像识别等。以下详细列举本系统中拟采用的技术方法。

4.1 Kociemba算法

Kociemba等人经过不断研究将复原三阶魔方的最大步数，即“上帝之数”，缩小到了20步[16]。Kociemba算法是将Thistlethwaite 算法的前两个阶段合并，后两个阶段合并，在前后两个阶段合并的过程中都使用了IDA\* 搜索算法。所谓IDA\*算法，就是A\*算法加上迭代加深的思想。迭代加深可以保证搜索树上面的任何一个节点都可以获得精确的启发函数值，要实现迭代加深就必须先对搜索树上的各个节点进行初始化。文献[17]正是IDA\* 搜索算法应用于机器人营救行动中的一篇文章，文章从算法耗时、数据计算量等方面充分体现了其优异之处。

相比于文献[18]中介绍的魔方复原的算法，Kociemba算法具有在复原步骤上有很明显的优势。例如文献综述[19]将Thistlethwaite算法、Kociemba算法、Korf算法三种最常见的解魔方算法在魔方旋转步骤数、算法运行时间等方面进行对比，作者得出Kociemba算法的效率最高，而Thistlethwaite算法的效率最低的结论。

4.2 图像识别

在识别魔方块颜色部分，拟采用HSV颜色模型对魔方块进行颜色的判断，这个模型中颜色的参数分别是：色调（H），饱和度（S），明度（V）。与RGB颜色模型相比，HSV颜色模型对亮度并不敏感，反而是RGB 颜色空间的三个分量都与亮度密切相关，即只要亮度改变，三个分量都会随之相应地改变。

图1表示的 HSV 颜色空间，圆柱体的横截面可以看做是一个极坐标系 ，H 用极坐标的极角表示，S 用极坐标的极轴长度表示，V 用圆柱中轴的高度表示。

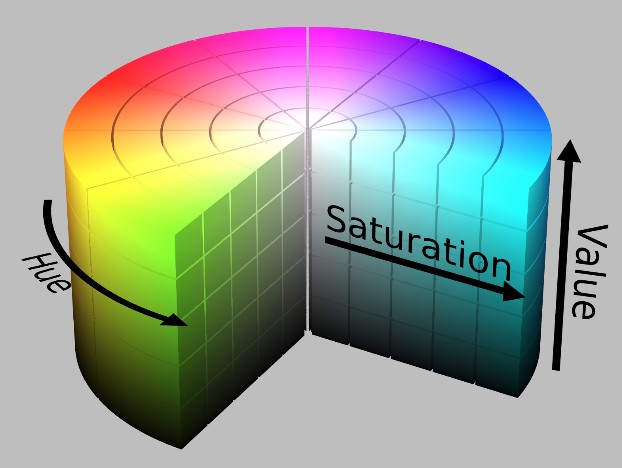


图1 HSV颜色空间示意图

HSV颜色空间比RGB颜色空间更容易跟踪某种颜色的物体，因此HSV颜色空间常用于分割指定颜色的物体。考虑到自然环境下获取的图像容易受自然光照、遮挡和阴影等情况的影响，拟采用HSV颜色模型对魔方块进行颜色识别。文献[20][21][22]是在HSV颜色空间下进行图像检索，例如电影中的镜头检测等。文献[23]是基于HSV的机器人船舶导航系统，并且在低光照的情况下也可以很好的进行船舶导航。因此，周围环境光照的亮度强弱在HSV颜色空间下对系统的整体影响较小。

五、总结与展望

随着近现代科技水平的不断发展，利用嵌入式系统开发魔方复原项目的数量不断增多，本文对三阶魔方的复原系统进行了调研和综述。自1974年魔方发明以来, 魔方爱好者们在魔方领域的探索从未停止，也取得了一系列重大的成果, 但是美中不足的是，目前在魔方复原系统的整体架构设计、魔方转动步骤最少化等方面仍有许多问题需要深入研究。

传统的魔方复原系统采用双臂、四臂等方式对魔方进行复原，并不能对魔方的六个面进行任意方向的转动，这导致传统的魔方复原系统在复原速度上的表现不是很理想。因此，迫切需要开发一款六个魔方面均可转动的魔方复原系统，对此，本系统的开发意义也显得更加重要。

本系统的实现将在一定程度上为未来的魔方复原系统的自动化提供思路，并且向魔方爱好者提供学习的机会，还有可能带来巨大的经济效益。

参考文献：

1. 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.
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. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 何尚平,陈艳,万彬,辜小花. 嵌入式系统原理与应用[M].重庆大学出版社:，201908.347.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 刘远法,周屹.基于Arduino单片机的解魔方机器人——控制部分[J].电脑知识与技术,2016,12(07):171-173.
15. Kaur H. Algorithms for solving the Rubik's cube: A study of how to solve the Rubik's cube using two famous approaches: The Thistlewaite's algorithm and IDA\* algorithm[J]. 2015.
16. 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.
17. Chaudhari A M, Apsangi M R, Kudale A B. Improved a-star algorithm with least turn for robotic rescue operations[C]//International conference on computational intelligence, communications, and business analytics. Springer, Singapore, 2017: 614-627.
18. 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.
19. Toshniwal E S, Golhar Y. Rubik’s Cube Solver: A Review[C]//2019 9th International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology-Signal and Information Processing (ICETET-SIP-19). IEEE, 2019: 1-5.
20. Zhang Y, Li W, Yang P. Shot Boundary Detection Based on HSV Color Model[C]//2019 IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP). IEEE, 2019: 1-4.
21. Su C H, Chiu H S, Hsieh T M. An efficient image retrieval based on HSV color space[C]//2011 International Conference on Electrical and Control Engineering. IEEE, 2011: 5746-5749.
22. Fu Q, Zhang Y, Xu L, et al. A method of shot-boundary detection based on hsv space[C]//2013 Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security. IEEE, 2013: 219-223.
23. Aqthobilrobbany A, Handayani A N, Lestari D, et al. HSV Based Robot Boat Navigation System[C]//2020 International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM). IEEE, 2020: 269-273.