徽标, 公司名称

描述已自动生成

**2022年（第15届）**

**中国大学生计算机设计大赛**

人工智能实践赛作品报告

作品编号：　　　　 2022020629

作品名称：　　 解魔方机器人

参赛作者：　　　李宇浩、张雨轩、马可蕊

填写日期：　　　　　 2022.04.24

填写说明：

1. 本文档适用于人工智能实践赛小类；
2. 正文、标题格式已经在本文中设定，请勿修改；标题#的快捷键为“Ctrl+#”，正文快捷键为“Ctrl + 0”；
3. 本文档应结构清晰，突出重点，适当配合图表，描述准确，不易冗长拖沓；
4. 提交文档时，以PDF格式提交；
5. 本文档内容是正式参赛内容的组成部分，务必真实填写。如不属实，将导致奖项等级降低甚至终止本作品参加比赛。

**目 录**

[第1章 作品概述 1](#_Toc101733058)

[1.1 研究背景 1](#_Toc101733059)

[1.2 研究目的和意义 1](#_Toc101733060)

[第2章 问题分析 2](#_Toc101733061)

[2.1 问题来源 2](#_Toc101733062)

[2.2 现有解决方案 2](#_Toc101733063)

[2.3 本作品要解决的痛点问题 2](#_Toc101733064)

[2.4 解决问题的思路 3](#_Toc101733065)

[第3章 技术方案 3](#_Toc101733066)

[第4章 系统实现 5](#_Toc101733067)

[4.1 上位机 5](#_Toc101733068)

[4.1.1 UI设计 5](#_Toc101733069)

[4.1.2 颜色识别 5](#_Toc101733070)

[4.1.3 算法 6](#_Toc101733071)

[4.2 下位机 6](#_Toc101733072)

[4.3 机械部分 7](#_Toc101733073)

[第5章 测试分析 7](#_Toc101733074)

[5.1 上位机测试 7](#_Toc101733075)

[5.2 下位机测试 8](#_Toc101733076)

[5.3 机械测试 9](#_Toc101733077)

[第6章 作品总结 9](#_Toc101733078)

[6.1 作品特色与创新点 10](#_Toc101733079)

[6.2 应用推广 10](#_Toc101733080)

[6.3 作品展望 11](#_Toc101733081)

[参考文献 11](#_Toc101733082)

# 作品概述

## 研究背景

和大多数人想象的不一样，魔方的发明和其他玩具的问世有着根本上的区别。来自匈牙利的Rubik教授在布达佩斯建筑学院任教时，发现大部分学生都缺少空间想象能力，为加深学生对3D几何学的空间理解能力，因此设计出魔方而作为教学用具。然而，令人出乎意料的是自从1974年魔方首次在匈牙利面向市场后，魔方就以教具兼玩具于一体的身份用前所未有的发展速度攻占了科教、娱乐、益智器材、商业展览等各个领域。除去最原始的三阶魔方之外，包括四阶、五级在内的更高阶和异形的魔方等一系列的衍生产品被脑洞大开的魔方爱好者制作出来。其中比较典型的有:不对称魔方、五阶魔方、足球魔方、三阶魔方等。并且，魔方的用途也变得多种多样，从还原魔方，慢慢发展到了研究还原魔方的速度以及花样还原魔方。

## 研究目的和意义

本作品目的在于制作一个解魔方机器人，对机器人的硬件软件以及魔方还原的算法进行研究学习。科普类展品紧随时代的发展有利于提高国民的科学文化素养，特别是有可能提高青年群体的科学兴趣，最终发挥促进社会文明和进步的作用效果。此外，多年以来数量众多的科技博物馆在全国各地如雨后春笋般出现，也代表着科技时代的到来。在科技智能化的大背景下，科技展馆中的智能展品相对于其他展品更受欢迎，展馆管理方也更重视智能展品的陈列，魔方复原机器人便属于其中一种。

魔方机器人具有较强的科学性、趣味性和可参与性。因此，将其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[1]。

# 问题分析

## 问题来源

该作品目前，随着人工劳动成本的不断增加，在许多大型企业里，机器换人已成为一种趋势。在这种趋势下，智能机器人技术得到了极大的关注和快速的发展。机器人技术的发展是生产力需求的必然结果，也是人类发展的必然结果。

在中国乃至世界对魔方的爱好者可谓是数不胜数，还有在学校也时常碰到魔方爱好者社团，对魔方这样一个好玩的东西，酷爱的新手也比比皆是。现在机器人越来越智能，机器人可以灵活地还原打乱的魔方是必然的。

## 现有解决方案

传统思路下的智能魔方还原往往依赖于庞大的机械机构和、复杂的电路结构，和简单的图像处理，导致机器人并不灵巧美观。并且，对于强光环境下而导致无法进行精准的图像识别，以及复杂的机械结构和控制程序而导致对于“机械臂”的控制并不能实现稳定和精准的还原。因此，我们要设计一款结构简单，识别精准率高，还原率高，真正做小巧，稳定，智能的魔方还原机器人。

## 本作品要解决的痛点问题

要实现智能化、便携性、稳定性的这样一款魔方还原机器人，并不能依赖原有的技术实现方案，需要在以前的基础进行创新。首先，对于魔方机器人最重要的是识别率，我们将阈值法、RGB颜色模型、HSV颜色模型、OpenCV等方法相结合，使机器人可以在强光下也可以做到精准的图像识别。其次，特点二便是便携性，我们将采用简单的机械结构，八个舵机便可以实现机械臂的功能，占地体积达不到0.075立方米，同时结构设计成对称性，大大提高机械的美观性。最后，特点三便是稳定性，我们将采用更加先进的还原算法， 减少复原步骤，并且选择稳定的芯片，结合舵机特点，采用舵机速度控制算法，并且通过软件调控的方法，弥合和补偿舵机机械误差问题，使舵机在还原的过程更加平稳、美观、精准。

## 解决问题的思路

（1）上位机：手机连接蓝牙，摄像头拍照获取魔方六面图像，并读取这六张图片，进行颜色识别，之后通过Kociemba算法对颜色标识进行处理，得到下位机可以识别的还原魔方步骤。

（2）下位机：

我们将对舵机进行严格选型，根据驱动电流电压和舵机准确性标准进行判断，并对舵机控制算法进行优化。

（3）机械结构部分：

将采用简单的连杆原理，水平舵机通过连杆带动竖直舵机，水平就行移动控制，竖直进行转动魔方控制，两两一组，实现美观化，这样简单的机械结构便实现了机械臂的功能。

# 技术方案

解魔方机器人的主要结构由三部分所组成，第一部分是上位机可以识别魔方颜色的设备，第二部分是下位机，可以解析指令控制机械还原魔方，第三部分为能够实现魔方还原的机械结构。基于对整个机器整体大小，结构复杂度，以及成本的考虑，在嵌入式设备方面选用了常用的STM32控制板作为实验设备，具体型号为STM32F103RCT6，是一种嵌入式-微控制器的集成电路（IC），是由ST公司开发的STM32F1系列的其中一种，芯体尺寸是32位，速度是72MHz，程序存储器容量是256KB，程序存储器类型是FLASH，RAM容量是48K。而在机械结构方面，我们设计了曲柄滑块的机械结构，便于魔方还原。

具体的上位机工作流程如图 1 所示。

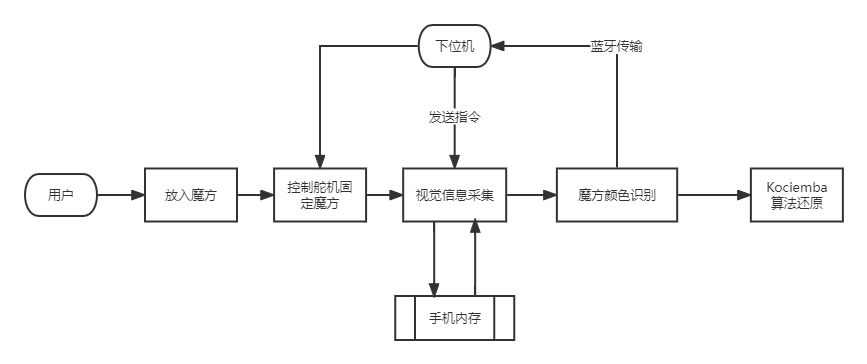


图 1 上位机实现流程

当用户在下位机按下启动之后，手机通过蓝牙接收到信号，启动摄像头，进行视觉采集，获取魔方六面图片，并读取每个图片进行颜色识别，接着运行Kociemba算法得到魔方还原步骤，在得到还原步骤之后，会把结果通过蓝牙返回给机械控制程序部分，机械控制程序解析上位机传来的指令，之后根据指令的要求，控制相应的机械结构使得魔方能够还原。通过以上的运行流程可以看出，要实现魔方还原前提是对魔方六个面颜色的准确识别。因此本作品的核心问题在于如何准确识别颜色。由于魔方与摄像头之间位置固定不变，所以我们采用读取图片相应坐标的像素值来进行颜色识别。为尽量避免偶然性，视觉系统直接读取魔方表面图像色块中心点处10个像素点的像素值，然后取平均值，作为识别该色块颜色的判定值[2]，再通过阈值法，加快颜色识别速度。

基于RGB模型识别魔方表面色块颜色，无需格式转换，在调试过程中可以直观观察到各个色块的颜色分量，但RGB模型区分颜色正确率相对较低。基于HSV模型识别魔方表面色块的准确率高，但魔方表面图像从RGB模型转换到HSV模型需要1200 ms，增加了整体运行时间[2]。所以为了准确性，采用 OpenCV 计算机视觉库将RGB转为HSV，图像处理效率高，易于编写[3]。

具体的下位机工作流程如图 2 所示。

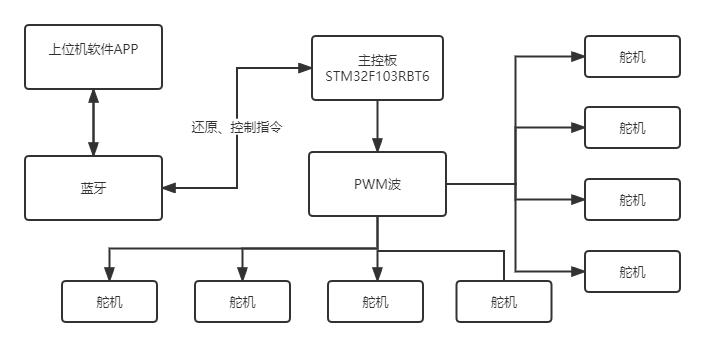


图 2 下位机实现流程

主控板（STM32RBT6）在接收到蓝牙发送的数据之后，会根据规定的通讯协议，进行代码解析，并对代码进行保存，同时主控板会开启定时器结合定时器中断实现对舵机的控制，并根据多路舵机控制插补算法就舵机实现精准控制，使舵机匀速运转，弥补舵机转动具有的机械滞后性，使整个还原过程更加和谐、稳定、平稳。

# 系统实现

## 上位机

### UI设计

（1）首页使用水波动画作为启动页

（2）判断权限是否均以打开

（3）SurfaceView实现拍照页面和拍照功能

（4）弹窗实现蓝牙搜索和蓝牙连接

### 颜色识别

（1）手机接收下位机信号进行摄像头拍照OpenCV将图像由RGB转为HSV

（2）OpenCV将图像由RGB转为HSV

（3）对图像进行直方图均衡化，使光照均衡

（4）调整V通道数值，提高图像识别成功率

（5）转为RGB颜色模型，通过计算生成魔方状态步骤

（6）使用Kociemba算法还原步骤

### 算法

（1）Kociemba算法

在该作品中将核心算法部分全部交由Kociemba算法，通过优化算法达到减少步数的要求。Kociemba算法使用了搜索算法还原魔方。具体来说，就是先使用搜索算法转换为目标状态，在使用另一种搜索方式转换为原始状态。因此使用何种搜索算法对于还原魔方至关重要。

（2）阈值法

阈值法是一种应用十分广泛的方法，它计算量小，鲁棒性强，然而不可避免的会出现精度方面的缺陷，因此需要opencv辅助提高精度

## 下位机

（1）主要组成器件：

主控板：STM32F103RB

蓝 牙：HC-05串口转蓝牙设备

舵 机：MG995

（2）多路舵机控制-差速算法：

让舵机从初始位置到目标的位置不是直接到达，而是划分成很多细微的小过程逐步让他到达，让舵机的初始位置是0度让他跑到90度，直接送入90度的数据的话由于舵机的响应速度还是比较快的，几乎就一下子跑到90度的位置。如果我们在他到达90度的过程中给他制造很多缓冲，就是让他从0度到1度到2度3度……的逐步过渡过到90度，那么出现的效果就是舵机以比较慢的速度到达目标位置，就达到我们控速的目的。而每个间距切换的时间加以控制既可以得到我们想要的具体旋转速度，因为划分的过程很多，所以舵机的旋转看上去是流畅的一个速度的旋转。

## 机械部分

（1）在材料方面，考虑到项目整体的可塑性和便携性，我们选择了亚克力作为主要材料。因为亚克力具有较好的透明性、已加工、不容易变形，表面光泽度高，成本相对较低等优点。

（2）在机构方面，我们选择用四个水平舵机用于自动夹紧，通过控制四个方向的连杆，使滑块增高块带动竖直舵机在滑轨上进行前后运动，再由竖直舵机控制机械手对魔方进行扭转，完成对魔方的还原。

# 测试分析

## 上位机测试

上位机测试主要包括拍照是否成功，颜色识别是否正确这两个问题。因此上位机主要在这两方面进行测试。

（1）拍照测试

在拍照方面，经过多次测试，拍照没有问题，但信号不稳定时，即蓝牙传输出现问题时，手机接收指令会出错，拍照可能拍不够六张。

表 1 拍照测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试条件 | 测试次数 | 平均成功率 |
| 相机拍照 | 50 | 99.00 |

（2）识别测试

在颜色识别部分，可以看到在亮度适宜的正常环境下，颜色识别正确率达到了100%，在黑暗和光照条件下均出现了识别不成功的现象，但是准确率均在90%以上。

表 2 识别测试

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试类型 | 测试条件 | 测试次数 | 平均准确率 |
| 颜色识别环境 | 强光照环境 | 100 | 93.00 |
| 颜色识别环境 | 较暗环境 | 100 | 94.00 |
| 颜色识别环境 | 正常环境 | 100 | 100.00 |

## 下位机测试

下位机测试主要包括PWM产生测试，蓝牙是否连接成功，是否能接收到信号，供电是否控制合理，这四个问题。

（1）PWM产生测试：

由于舵机本身存在一定的误差，所以通过PWM控制时，可能出现失误，角度转不够。（相对0°是指针舵机初始化角度）

表 3 PWM产生测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试条件 | 测试次数 | 平均成功率 |
| 相对0° | 50 | 100.00 |
| 相对90° | 50 | 99.50 |
| 相对-90° | 50 | 99.50 |

（2）供电测试：

由于舵机存在烧坏的情况，经过多次测试，当供电达到5.35V的时候设备较为稳定，且电流≥1A时可以正常运行。

表 4 供电测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试用例 | 预期结果 | 实际结果 |
| ≥1A | 正常运行 | 正常运行 |
| <1A | 运行失败 | 运行失败 |
| >6V | 运行失败 | 运行失败且舵机烧坏 |
| <4V | 运行失败 | 运行失败 |

（3）蓝牙测试

蓝牙连接方面并没有太大问题，基本上都连接成功了，但是在蓝牙传输过程中，有的时候会出现信号弱，传输失败的情况，可能是电源或者硬件的问题，但整体来说出现错误的可能性非常小。

表 5 蓝牙测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试条件 | 测试次数 | 平均成功率 |
| 蓝牙连接 | 50 | 100.00 |
| 蓝牙传输 | 50 | 99.00 |

## 机械测试

机械部分测试主要是硬件是否达到要求，经过测试，硬件基本上没有什么问题。

表 6 机械测试

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试条件 | 实际结果 | 测试次数 | 平均准确率 |
| 舵机1、4 | 精确夹紧 | 100 | 100.00 |
| 舵机2、3 | 精确夹紧 | 100 | 100.00 |
| 舵机1234 | 基本夹紧, 误差小于1.5mm | 100 | 98.00 |

# 作品总结

在项目开发的整个过程中，我们学习到了很多知识和经验，以下是我们的开发感悟：

解魔方机器人融合了计算机视觉、图像处理、机器人控制技术、信息传递、魔方算法等多学科知识,因此实现一个快速、稳定的解魔方机器人具有很大的挑战性。我们意识到，当决定开发一个项目之后需要做到以下几点：

第⼀，精神状态的准备。在项目开发的过程中要有⼀个好的精神状态，以⼀种积极的、有活⼒的态度去迎接挑战，并且对自己机器人有足够的信息能够完成。

第二，知识的准备，在制作魔方的过程中，需要学习很多东西，有点用到上，有的学习周期长，但是最后却发现技术根本没有用上，所以在开始准备之前，一点要对项目的实现有充分的准备，在充分了解到需要准备哪些技术之后，才开始有针对性的开展技术的学习。

第三，知识的应用，当学习到理论知识之后，开始着手上项目的时候，发现并没有那么简单，理论和实践之间总是不同的，所以在制作过程中，要不断去尝试，不应该抱有一蹴而就的想法，在尝试的过程中要不断的进行总结和积累经验，为下次尝试做更好的经验积累。

第四，团队合作，在整个开发过程中，每个人的任务是不同的，所以就要求我们要加强团队的沟通和交流，定期开展例会，进行实现交流，让项目的实现更加流畅和更加高效。同样，在团队组成的时候，要结合功能开发所需 要求，有针对性进行组队，在本团队中设计机械自动化专业、软件工程专业、信息工程专业，同样分工也很明确，机械同学负责机器人的搭建，软件工程学生负责上位机部分，图像获取、图像处理以及阶魔方步骤的求解，信息工程同学负责下位机部分，舵机的控制以及电路的搭建和信息的传递。

## 作品特色与创新点

（1）采用Kociemba算法，通过优化算法达到减少步数的要求，用较少的步数使魔方复原。

（2）颜色识别采用阈值法，计算量小，鲁棒性强

（3）为避免光照影响过大，使用OpenCV将RGB模型转为HSV颜色模型，并对V通道直方图均衡化，均衡光照，提高颜色识别正确率。

（4）采用定时器+中断的方式产生PWM，可以同时控制多路舵机的运转，且使舵机之间动作延迟降到最低。

（5）将舵机速度控制插补算法利用到PWM产生之中，使舵机可以以均匀的速度运转，可以使得整个舵机的还原工程更加平稳和稳定。

## 应用推广

在推广方面，我们计划采用在大学试点，然后再在小区中试用，最后投入到每个家庭中使用的推广策略。这样的推广策略首先是考虑到大学生对新鲜事物接受能力比较强，且具有一定的专业知识储备，因此先在大学中推广，能够更获得更多的较为有效的反馈信息，有利于对该系统进行改进升级。在系统在学校中使用已经没有明显问题之后，便可以进入到社区推广的环节之中，在社区中推广可以让更多的人使用，魔方对于青少年的智力开发无疑是最好的工具，当然，很多成年人也很喜欢魔方，所以能够获得全年龄段人的使用反馈意见，其样本容量更大，使用反馈意见更多更全面，便于我们能够将此系统改进的更加完善，便于更多人的使用。等到系统基本完善后，便可以进入到家庭推广环节中，使得更多的人对魔方感兴趣，并了解人工智能。

## 作品展望

在后续开发中，我们将更加考虑用户的体验感以及功能的完善性，我们决定在原魔方的基础上进行全新的升级：

机械部分，更加智能化：设计一个一体化还原部分，用户通过将魔方放到固定的位置，机器人会自动将魔方传送到识别还原位置，当魔方还原完之后，机器人会将魔方传送到规定的位置，给用户更好的体验，使机器人更智能化。

控制部分，更加精准性：将机械部分相结合，充分利用软件调控实现对舵机误差的补偿，使舵机可以精准实现还原过程。

视觉显示，更加美观化，在魔方还原APP中增加3D魔方还原模块，用户可以通过手机模拟，实现在线玩转魔方，通过提供还原步骤和“一键还原”按钮，使得用户在手机上也同样体验到魔方还原的快乐。同时，使用深度学习框架训练模型进行颜色识别，使识别更加精确，使设备更加智能化。

# 参考文献

[1]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):1-6.

[2]玉健鸿,李品,张帆,史颖刚,刘利,谷芳.解魔方竞赛机器人设计[J].机电工程技术,2021,50(09):108-110+140.

[3]崔文程.OPENCV视觉下闪电解魔方机器人的设计研究[J].南方农机,2019,50(24):124+129.