



解魔方机器人说明文档

题 目： 解魔方机器人（选题二）

学 校： 北京科技大学

学 院： 机械工程学院

参赛队员： 于宪元，刘磊，许仕杰

指导老师： 孙志辉

2018 年 04 月 06 日

目录

1. 机械结构 3

2. 算法 3

3. 视觉 4

4. 控制 4

5. 系统参数 5

1.机械结构

如图 1-1,结构总体框架采用 20X20 型铝搭建。总装尺寸为 633*240*500(mm),总重量 20kg。机器人具有两个手臂,每个手臂两个手指。手臂旋转采用 86 框步进电机(12Nm 型)驱动,手指开合采用 MHF12-D2 气缸。

1, 步进电机采用 60V 交流供电(现场需提供 220V 交流电源,我们自备变压器),最大扭矩 12Nm。经实测,单次转动 90 度最快仅需约 150ms。

2, 气缸内径 16mm, 驱动气压 5 个大气压, 经实测, 单次开合需要约 100ms。

3, 手指处有导块, 在每次夹合时都调整一次魔方位置, 有效防止了拧动过程中魔方夹歪的问题。

4, 有专门安装魔方的装配工具, 保证每次魔方装入机器人时与手指的相对位置相同, 同时保证两个手指相互垂直。

5, 手腕处使用气滑环, 有效解决了气路的缠绕问题。

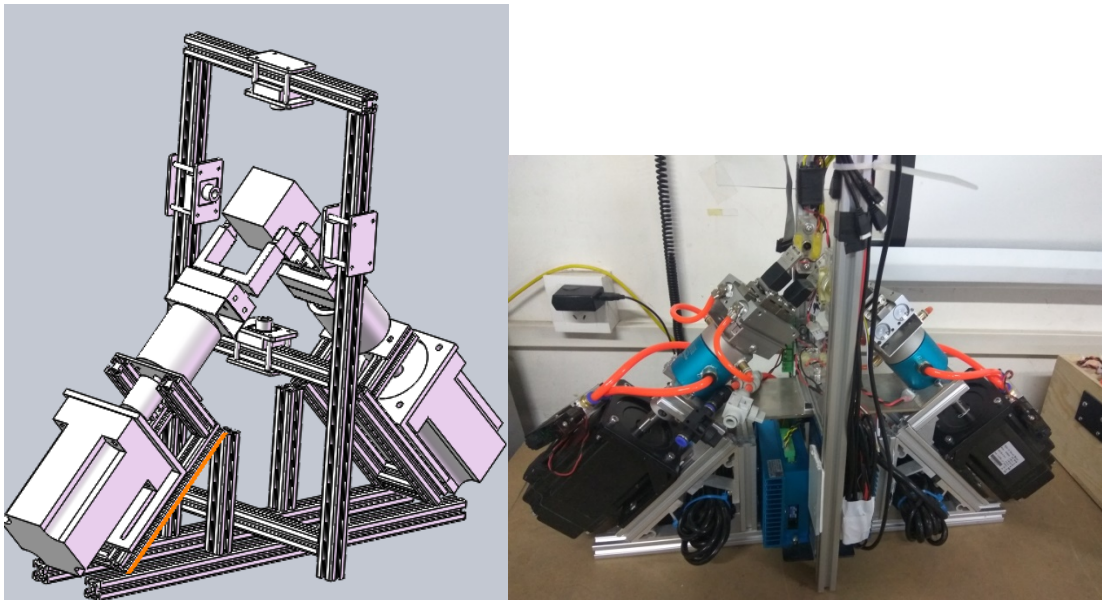


图 1-1 解魔方机器人外观图

2.算法

采用 Herbert Kociemba 的 Two-Phase-Algorithm 算法, 平均理论步骤 19 步, 在一台 12G 内存的联想笔记本上用时约 800ms。使用深度优先搜索算法, 将 Two-Phase-Algorithm 的理论步骤转换为机械结构可执行的机械步骤。该深度优先搜索算法有以下特点:

- 1, 采用空间换时间的策略, 在搜索前建立搜索库, 任意一步理论步骤都有 16 种(经证明最多只有 16 种)执行策略, 因此总搜索空间大小约为 19^{16} 。
- 2, 由于不同的机械步骤用时不同, 所以算法考虑机械步骤的执行时间, 而不是机械步骤的步骤数目。
- 3, 对于每个节点, 综合考虑已用时间、未执行理论步骤、当前机器人手指状态, 进行剪枝。将搜索空间从 19^{16} 缩小至 $19*48$, 极大缩减了搜索时间, 且保证能搜索到最优解。比如, 同

一深度下有两个节点 A 和 B，若已经搜索了 A，在搜索 B 时，由于 A 和 B 深度相同，所以未执行步骤相同，若当前机器人手指状态也相同，且 A 已用时间比 B 少，则直接跳过 B 节点搜索下一个节点。这样，可保证每一层可以向下搜索的节点数不超过 48 个。

- 4，如图 2-1，可见对于理论步骤<R2 D2 F1 D2 R3 B1 B1 D1 L1 U3 F2 R2 B1 F1 L1 R3 B1 B1 D1 L1>，搜索总用时 255ms（含建立搜索库时间），机械步骤步数为 79 步。
- 5，从获取魔方完整信息，到算法解算完成并发送给下位机，用时约 1s。

```
init...
wait theory...
got theory:
R2 D2 F1 D2 R3 B1 B1 D1 L1 U3 F2 R2 B1 F1 L1 R3 B1 B1 D1 L1
search start...
search end!
search time:255ms
MstepNum:
79
MstepTime(ms):
19950
save ok!
Answer:
M_R2 M_LO M_L1 M_LC M_RO M_L3 M_RC M_R2 M_L1 M_LO M_L1 M_R3 M_LC M_R2 M_RO M_R1
M_L1 M_RC M_L3 M_R1 M_R1 M_LO M_R1 M_LC M_RO M_R1 M_L3 M_RC M_L1 M_R1 M_LO M_R2
M_LC M_RO M_R1 M_L1 M_RC M_L3 M_R2 M_LO M_L1 M_LC M_RO M_L1 M_RC M_R2 M_RO M_L1
M_RC M_LO M_L1 M_R3 M_LC M_R1 M_RO M_L2 M_R1 M_RC M_R1 M_L1 M_LO M_L1 M_R2 M_LC
M_L3 M_RO M_L1 M_R1 M_RC M_LO M_R3 M_LC M_L1 M_L1 M_R1 M_LO M_R3 M_LC M_L1
```

图 2-1 搜索算法截图

3.视觉

如图 1-1，机器人使用上下左右 4 个摄像头对魔方进行扫描，可一次性扫描魔方 6 个面 54 个色块中的 50 个色块（有四个色块由于被手指遮挡无法识别），随后转动魔方，扫描剩余 4 个色块，以此获取完整的魔方。由于魔方具有总共有 6 种颜色的特点，因此采用 k-means 聚类算法进行聚类，对 54 个色块的颜色进行滤波、聚类后，可以准确判断 54 个色块的颜色。

该视觉系统有如下特点：

- 1，通过全方位扫描以及一次移动，仅需 2 秒实现完整魔方信息。
- 2，采用 K-mean 算法进行聚类，极大缩减了失误率。
- 3，使用补光灯，可以适应不同的光照环境。

4.控制

步进电机采用 Sin 函数曲线进行加减速，由于每个脉冲时间间隔很短，STM32F103 单片机无法完成 Sin 函数的积分运算，因此采用空间换时间的策略，将加速过程中每一个脉冲的周期通过上位机计算后，生成数组保存在下位机中，每次运动直接调用。如图 4-1 为生成脉冲周期的上位机。图 4-2 为下位机使用该脉冲程序。

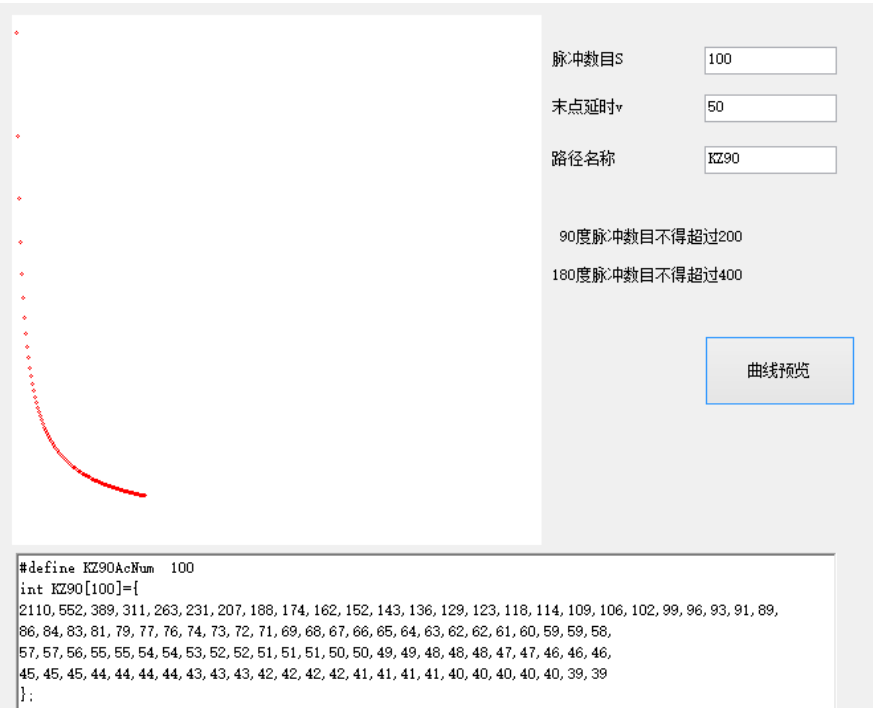


图 4-1 脉冲周期生成上位机

```
79 | for(i=0;i<AcNum;i++) //加速阶段
80 | {
81 |     L_PUL_UP;
82 |     delay_5us((int)(Delay[i]));
83 |     L_PUL_DOWN;
84 |     delay_5us((int)(Delay[i]));
85 | }
86 |
87 | for(i=AcNum;i<totalPulse-AcNum;i++) //匀速阶段
88 | {
89 |     L_PUL_UP;
90 |     delay_5us(Delay[AcNum-1]);
91 |     L_PUL_DOWN;
92 |     delay_5us(Delay[AcNum-1]);
93 | }
94 |
95 | for(i=totalPulse-AcNum;i<totalPulse;i++) //减速阶段
96 | {
97 |     L_PUL_UP;
98 |     delay_5us((int)(Delay[totalPulse-i-1]));
99 |     L_PUL_DOWN;
100 |    delay_5us((int)(Delay[totalPulse-i-1]));
101 | }
```

图 4-2 下位机使用自动生成的脉冲

5.系统参数

经实测，该魔方机器人系统参数如下：

总重(含控制柜)：20.22kg

供电：220V 交流电

功耗：约 350W。

平均总用时：16.54s

扫描用时：约 2s

计算用时：约 1s

平均理论步骤：19 步

平均机械步骤：78 步