

Universidad Autónoma de Madrid. Escuela Politécnica Superior

Proyecto: Rubick Solver

Plataformas para sistemas empotrados

Marcos Asenjo González – Jon Larrea Martínez
25-3-2019

1. Descripción del proyecto a realizar

El proyecto *Rubik Solver* consiste en la realización de un robot que resuelva el cubo de Rubik de 3x3x3 a través del control de ocho servomotores y una cámara detectora de colores.

El proyecto contará con un procesador principal implementado por medio de una Raspberry pi modelo 1 que será en el encargado de identificar los colores de cada pieza en cada cara del cubo a través de una cámara y de implementar la lógica necesaria para crear una lista de movimientos que lo resuelvan. También contará con un microcontrolador (Arduino Uno) que será el encargado de gestionar los servomotores para producir las rotaciones necesarias acordes a los movimientos de la lista indicada por el procesador principal.

2. Actuadores necesarios

Los actuadores que necesitaremos para este proyecto son 8 servomotores que nos permitirán realizar movimientos sobre las seis caras del cubo de Rubik:

- **4 x DS3218:** Es el servomotor con más fuerza de los dos (20 Kg) y por tanto es el encargado de realizar el movimiento más exigente, girar 4 caras del cubo (cada servo girará una de las caras).
- **4 x HS-311:** Este servomotor tendrá la función de acercar y alejar cada uno de los cuatro servomotores DS3218 a las caras del cubo, permitiendo cambiar la cara que van a rotar.

Todos ellos estarán gestionados por el mismo controlador, que a su vez responde a las órdenes del procesador principal. Y por tanto, disponemos de un sistema que con cuatro servomotores principales y cuatro secundarios es capaz de controlar la posición de las seis caras del cubo.

3. Sensores necesarios

Para este proyecto únicamente utilizaremos un sensor: la cámara "PiCamera". Este sensor es un módulo que integra una cámara con una lente de ojo de pez y 8MP de resolución, y que será la encargada de tomar las fotos al cubo para su posterior procesamiento. En definitiva, es la que permite determinar la posición de las piezas de cada cara y así poder decidir cuál es la secuencia de pasos necesaria para la resolución del cubo.

4. Control, procesamiento de los datos y comunicaciones

Como el cubo siempre está a la misma distancia y con la misma posición relativa a la cámara, podemos definir el segmento de la imagen que determina la pieza central y que marca el color de toda la cara. Así, tomando una foto y partiéndola en este segmento podemos determinar el color predominante en esa sección y así sacar el patrón de colores de esa cara. Si giramos el cubo de forma que podamos tomar una fotografía a todas las caras ya tenemos el patrón de todos sus lados.

Emplearemos una Raspberry Pi modelo 1 para procesar las imágenes captadas por la cámara (ya que el módulo PiCamera está especialmente enfocado a este dispositivo) y para calcular la resolución del cubo mediante el algoritmo de Kociemba, ya que es uno de los algoritmos óptimos para resolver el cubo. El tamaño de este dispositivo lo hace muy interesante ya que puede ser integrado en la construcción final.

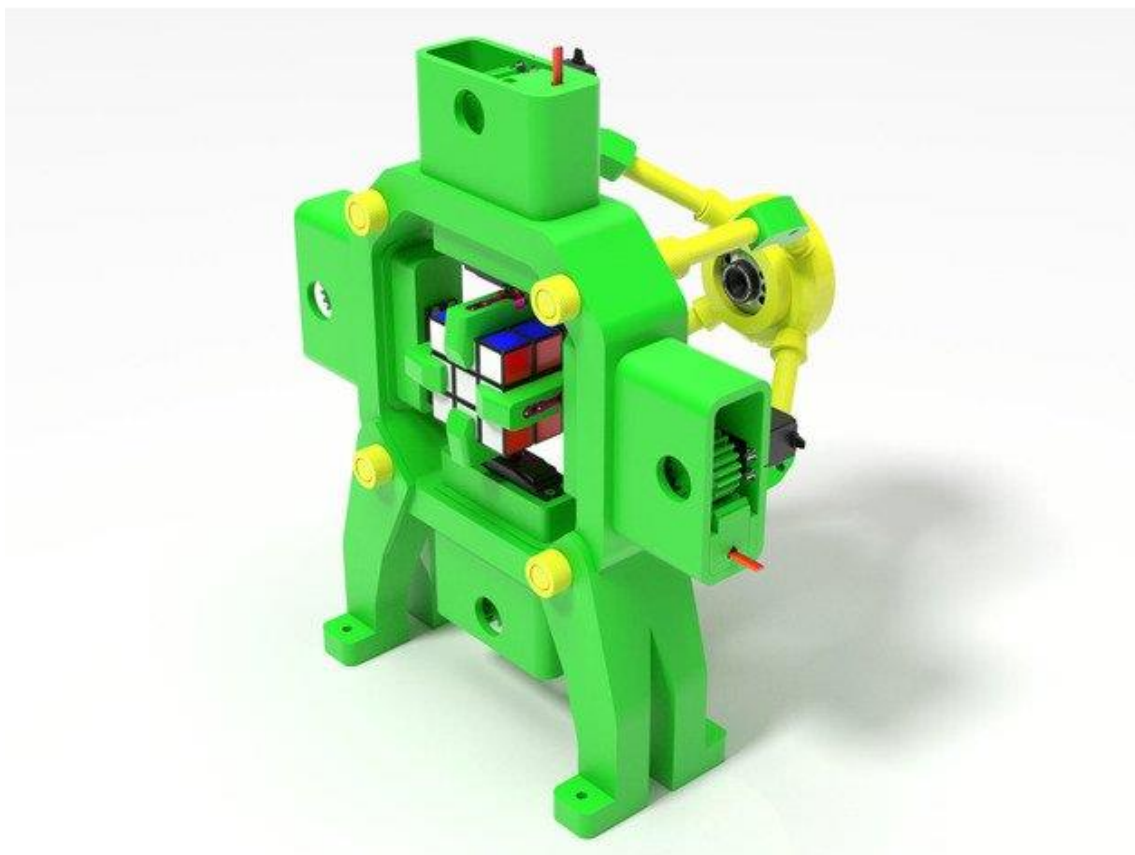
Para actuar sobre los servos y hacer que estos giren las diferentes caras del cubo de acuerdo a la solución aportada por el algoritmo de Kociemba ya calculado utilizaremos un microcontrolador Arduino modelo Uno el cual nos permitirá con la librería servo.h que ya trae por defecto su IDE de programación controlar los 8 servomotores de una manera sencilla.

Para realizar la conexión entre el Arduino y la Raspberry utilizaremos el módulo PL-2303 el cual es un convertidor de TTL a USB con el que podremos enviar los movimientos a realizar desde la Raspberry hasta el Arduino y de manera inversa los ACKs de cada movimiento.

5. Diagrama de montaje mecánico

Debido a que el proyecto es un tanto ambicioso y la escasez de tiempo que tenemos para realizarlo hemos decidido utilizar para el montaje mecánico los diseños gratuitos para impresora 3D que el equipo de OTVINTA ha realizado. El proyecto se llama RCR3D y está orientado para introducir la robótica, la mecánica, la programación y la inteligencia artificial a los niños.

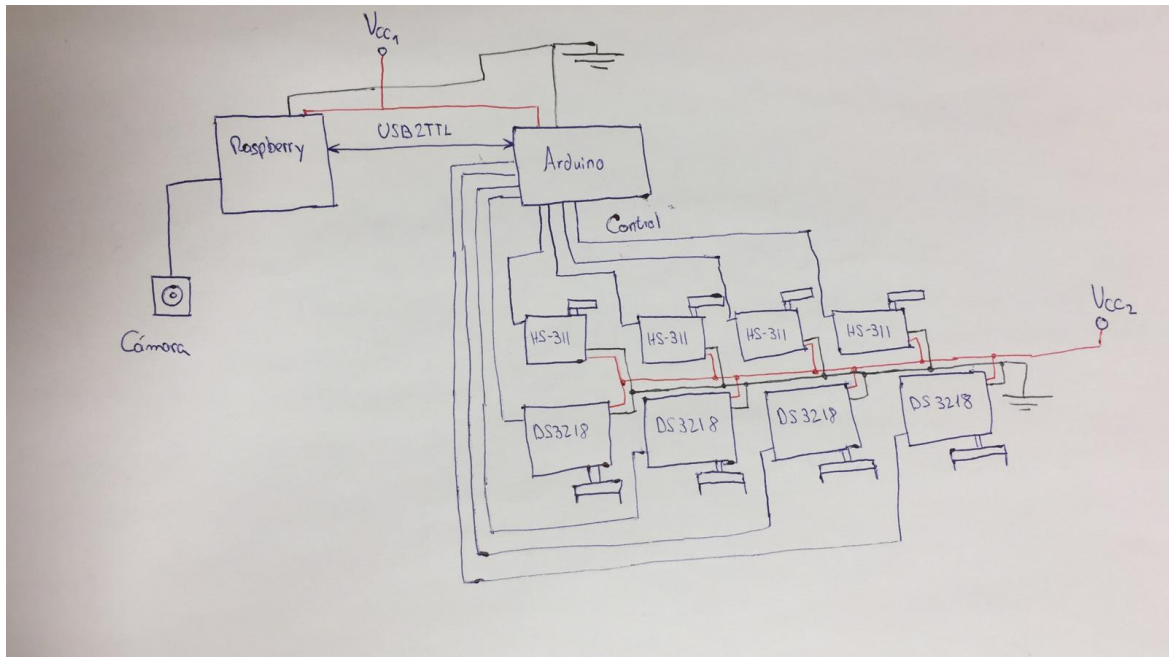
El montaje consta de una estructura principal que rodea el cubo y que permite mediante 4 sistemas de engranajes situados en 4 de los 6 ejes girar las caras del cubo. Además, esta estructura principal posee un soporte en la parte posterior para sujetar la cámara que permitirá identificar mediante software cada cara y las diferentes piezas que las forman.



Cada uno de los 4 sistemas de engranajes está formado por 2 servomotores, uno “principal” y otro “secundario”.

El primero de ellos (principal) es el DS3218 y es el que se encarga de girar cada cara del cubo mediante la pinza que se le añade al eje. Por otra parte, el servomotor secundario (HS-311) será el encargado de alejar y acercar el servomotor principal con su pinza al cubo, de forma que al alejarlo se permita la rotación del cubo (permitiendo que así el servomotor principal agarre con su pinza otra cara).

6. Diagrama del montaje eléctrico



Contaremos con dos circuitos de potencia diferentes, uno para el procesador y el controlador; y otro para los servomotores. El voltaje V_{cc1} será de 5V, el necesario para alimentar a la Raspberry pi y al Arduino, mientras que para los servomotores necesitaremos un voltaje V_{cc2} superior. Para la cámara no se necesita una alimentación diferente ya que se alimenta a través del conector dedicado de la Raspberry mediante un cable plano.

Para la comunicación entre los dispositivos de control emplearemos un cable USB2TTL que permite la comunicación serie entre ambos.

7. Estructura del programa de control

El programa estará dividido en dos partes y dos fases.

La primera parte será la encargada de tomar las fotografías de las diferentes caras, analizarlas para detectar el color de cada cara y las piezas que en ese momento están en cada una de ellas y el cálculo del algoritmo que nos proporcione la lista de movimientos a seguir para resolver el cubo. Esta primera parte estará escrita en Python y será ejecutada en la Raspberry.

La segunda parte se encargará de, dependiendo del comando recibido por conexión serie mover los servos a un determinado ángulo. Esta parte estará escrita en C++ y residirá en el Arduino.

Identificaremos ambas fases como la fase de identificación (fase 1, gestionada por la Raspberry Pi) y la fase de actuación (fase 2, gestionada por el Arduino).

La fase de identificación consiste en que la Raspberry envía comandos al Arduino para que este coloque cada una de las 6 caras del cubo delante de la cámara para tomar 6 fotografías. Una vez tomadas las 6 fotografías, se procede a identificar qué color corresponde con cada cara, indicado

por la pieza central de la misma y finalmente a obtener la lista de movimientos que solucionan esa configuración del cubo en concreto.

La segunda fase consiste en la resolución física del cubo. Para ello se envía desde la Raspberry cada uno de los movimientos que debe ir haciendo el Arduino sobre los servos para solucionarlo. El Arduino devolverá una señal ACK por cada movimiento completado.

8. Protocolo de pruebas

Las pruebas que realizaremos sobre el sistema serán primero modulares y luego de integración.

Pruebas modulares

Pruebas del módulo cámara

Se colocará el cubo en el soporte en sus distintas posiciones y se anotarán las decisiones de la cámara sobre el cubo. Se comparará manualmente si la decisión del color tomada por la cámara coincide con el cubo en esa posición. En caso de no coincidir, se ajustarán los patrones de la decisión del color hasta que tome la decisión correcta repetidas veces sobre todos los colores.

Pruebas del procesador principal

Se colocará el cubo con una configuración de las piezas preestablecida y se resolverá manualmente el algoritmo de Kociemba para obtener la lista de movimientos necesarios para dicha configuración. Se imprimirá por pantalla la lista obtenida tras aplicar el algoritmo en la Raspberry y se comparará si coinciden.

Se realizará este procedimiento para varios patrones de configuración del cubo.

Pruebas del controlador y de los servomotores

Se definirá en un fichero una serie de movimientos de actuadores predefinidos, de forma que sea fácil realizar un seguimiento de si se están cumpliendo o no. Se simulará con este fichero el envío de órdenes por parte de la Raspberry al microcontrolador de forma que se pueda realizar una inspección visual de que las órdenes recibidas en el Arduino conducen a los movimientos correctos de los servomotores.

Pruebas de integración

Primero probaremos la integración de la Raspberry con la cámara colocando el cubo en una configuración predeterminada y viendo si los pasos resultantes para esa configuración (una vez hemos leído el cubo con la cámara) son los adecuados.

Las pruebas de integración de la Raspberry con el Arduino y los servomotores son simplemente probar la resolución del cubo en distintas configuraciones. La consecución con éxito del sistema es muy visual, si se ha resuelto correctamente el cubo en sus distintas configuraciones la integración habrá resultado un éxito.