

AGARRE Y DESPLAZAMIENTO HACIA OBJETOS CON NAO

FUNCIONALIDAD:

Esta librería permite al robot Nao ser capaz de seguir una pelota de color con la cabeza y moverse hacia ella hasta que la pelota se encuentre parada (debe de ser en un lugar y a una altura accesibles para el robot). Nao será capaz de coger la pelota y de andar con ella si fuese necesario.

La librería cuenta con una etapa previa de reconocimiento y/o calibrado del color de la misma, de forma que el rango de detección deseado se calcula de forma automática sin tener que variar ningún parámetro en la librería.

El funcionamiento general de la librería se puede dividir en las siguientes etapas:

- Detección del rango de color HSV.
- Seguimiento de la pelota con la cabeza y el resto del cuerpo.
- Localización de la pelota en el espacio 3-D.
- Agarre de la pelota.

DETECCIÓN DEL RANGO DE COLOR HSV:

Esta etapa se realiza con la ayuda de los botones táctiles incluidos en la parte superior de la cabeza del robot NAO, que son los mostrados en la figura 1.



Figura 1 – Botones táctiles situados en la cabeza.

El modo de funcionamiento de los botones táctiles de la cabeza se encuentra recogido en forma de diagrama en la figura 4 y es el siguiente:

- **Botón A: Frontal.**

Al pulsar este botón se desactiva el modo “tracking”, por tanto el robot deja de seguir la pelota. A su vez se colocan sus brazos en posición de reconocimiento, es decir, estirados hacia adelante, para que la pelota sea colocada entre sus manos y asegurar de esta forma que se vea perfectamente la forma circular de la pelota y que así sea más precisa la detección de su color, tal y como se puede ver en la figura 2.

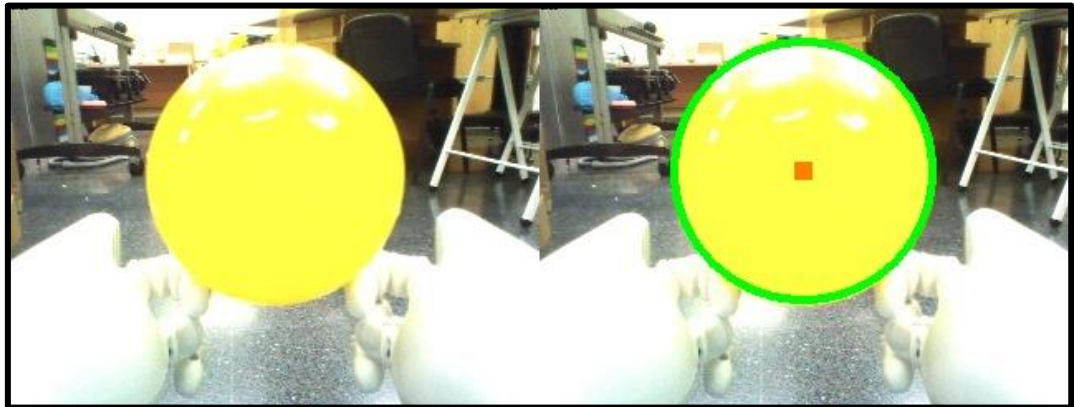


Figura 2 – Pelota entre las manos del NAO para asegurar su reconocimiento.

- **Botón B: Medio.**

Al pulsar este botón, y una vez colocada la pelota entre las manos del NAO para que este pueda verla, se realiza una captura de la imagen vista a través de la cámara superior del robot, de forma que en esta imagen se pueda reconocer la pelota y hacer una estimación del color HSV de los píxeles de la misma, tal y como se muestra en la figura 3.



Figura 3 – Rectángulo representativo de los píxeles utilizados para la estimación.

El rectángulo naranja de la figura 3 se correspondería con los píxeles tomados para calcular la media del rango de color, dado que ocupan el mayor porcentaje del área vista de la pelota. Se realiza la aproximación de esta forma porque en la parte superior de la pelota pueden existir reflejos debidos a la luz existente en la sala que falseen la medida y produzcan un rango de detección de color falso.

Las acciones realizadas al pulsar este botón se pueden resumir de la siguiente forma:

- Obtención de imagen a partir de la cámara superior del NAO.
 - Delimitación del contorno y del centro de la pelota para delimitar en que zona coger los píxeles.
 - Calcular media HSV de los píxeles elegidos.
 - Determinación del rango de detección a partir del valor HSV calculado.
- **Botón C: Trasero.**
Con la pulsación de este tercer botón se da por concluida la fase de reconocimiento de color y rango de detección y se comienza con el seguimiento de la pelota de color identificada. A su vez, el robot pone sus brazos de nuevo en la posición inicial (estirados al lado de su cuerpo) para hacer ver así que ya comienza con la etapa de seguimiento.

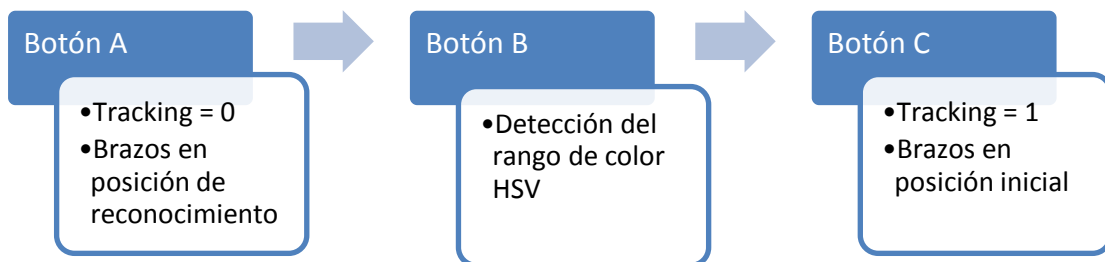


Figura 4 – Modo de funcionamiento botones táctiles.

SEGUIMIENTO DE LA PELOTA:

- **Movimiento de cabeza.**
El movimiento de cabeza necesario para realizar el seguimiento de la pelota se calcula de forma que se mantenga siempre la pelota en el centro de la imagen que se está obteniendo en tiempo real a través de la cámara superior del NAO.

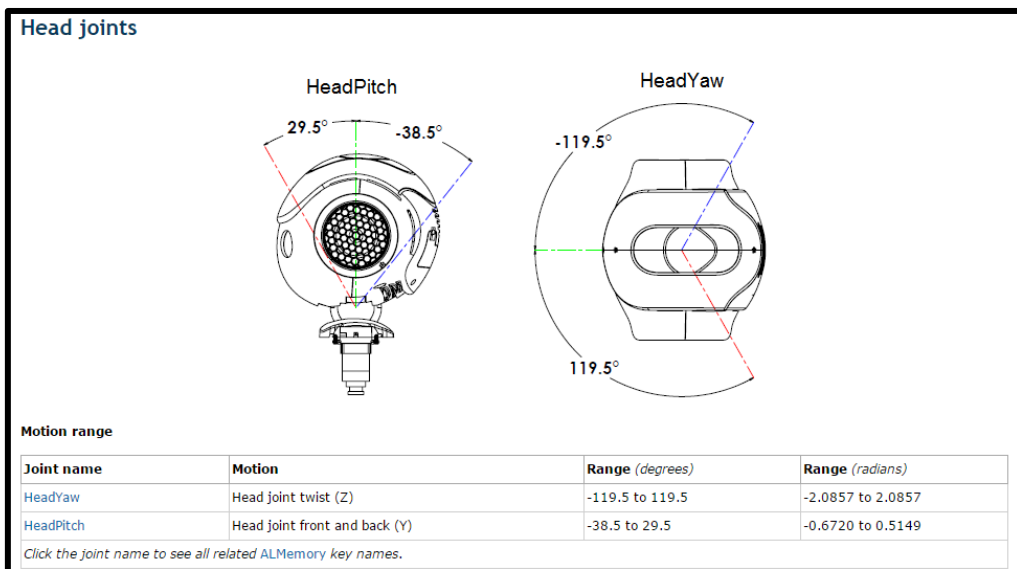


Figura 5 – Rangos de movimiento de la cabeza.

Algunos movimientos de la cabeza se encuentran restringidos, figura 6, para evitar que esta se choque con los hombros del robot y evitar así su desgaste. Para ello, en cada iteración se realiza una predicción de la que será la nueva posición de la cabeza y, si esta es conflictiva, se restringe su movimiento para evitar el choque.

Anti collision limitation

Due to potential shell collision at the head level, the **Pitch** motion range is limited according to the **Yaw** value.

HeadYaw	HeadPitch Min	HeadPitch Max	HeadYaw	HeadPitch Min	HeadPitch Max
(degrees)			(radians)		
-119.52	-25.73	18.91	-2.086017	-0.449073	0.330041
-87.49	-18.91	11.46	-1.526988	-0.330041	0.200015
-62.45	-24.64	17.19	-1.089958	-0.430049	0.300022
-51.74	-27.50	18.91	-0.903033	-0.479965	0.330041
-43.32	-31.40	21.20	-0.756077	-0.548033	0.370010
-27.85	-38.50	24.18	-0.486074	-0.671951	0.422021
0.0	-38.50	29.51	0.000000	-0.671951	0.515047
27.85	-38.50	24.18	0.486074	-0.671951	0.422021
43.32	-31.40	21.20	0.756077	-0.548033	0.370010
51.74	-27.50	18.91	0.903033	-0.479965	0.330041
62.45	-24.64	17.19	1.089958	-0.430049	0.300022
87.49	-18.91	11.46	1.526988	-0.330041	0.200015
119.52	-25.73	18.91	2.086017	-0.449073	0.330041

Figura 6 – Restricción de los movimientos de la cabeza.

- **Movimiento del cuerpo hacia la pelota.**

En cuanto al movimiento hacia la pelota, este se hace en función de la distancia a la que se encuentre la misma, por lo que se usa como parámetro característico para determinar esto su radio, y en función de la posición de la cabeza del robot, de forma que este se desplace hacia adelante o hacia los lados según la posición en la que se encuentre la pelota.

Se toma como radio de referencia para comenzar a andar 50 píxeles. Este radio se corresponde con el que tiene la pelota vista a través de la cámara del robot cuando ésta estuviese a una distancia equivalente a la longitud del brazo del robot estirado hacia adelante. A partir de ahí si la pelota se aleja, el radio se hace menor y el robot camina hacia ella hasta situarse a aproximadamente 25cm de distancia, que es a la cual es capaz de atraparla al estirar sus brazos, y si la pelota se acerca, NAO se moverá hacia atrás hasta situarse a la distancia correspondiente para cogerla.

En cuanto a la posición de la cabeza, como ésta en el eje X (HeadYaw) puede moverse desde -2.0857 a 2.0857 radianes, tal y como se muestra en la figura 5, se considera que la pelota está centrada cuando así lo está la cabeza, es decir, cuando ésta última se encuentra en un rango de -0.3 a 0.3 radianes; caso en el que el robot caminará sólo hacia adelante. Si la cabeza se encontrase girada más de 0.3 radianes o menos de -0.3 radianes, se considera que la pelota se encuentra a uno de los lados y, por tanto, el robot caminará hacia adelante y girará su cuerpo hacia el lado correspondiente.

Una vez que el robot ya se encuentra situado a una distancia de la pelota que le permite llegar a ella al estirar los brazos, deberá orientar su cuerpo de forma que se asegure que va a ser capaz de cogerla; para esto deben cumplirse las siguientes condiciones:

- La cabeza y el cuerpo del robot deben encontrarse alineados, de forma que el agarre se realice siempre en la dirección a la que apunta la cabeza y evitar así posibles errores. La posición buscada es la mostrada en la figura 7.

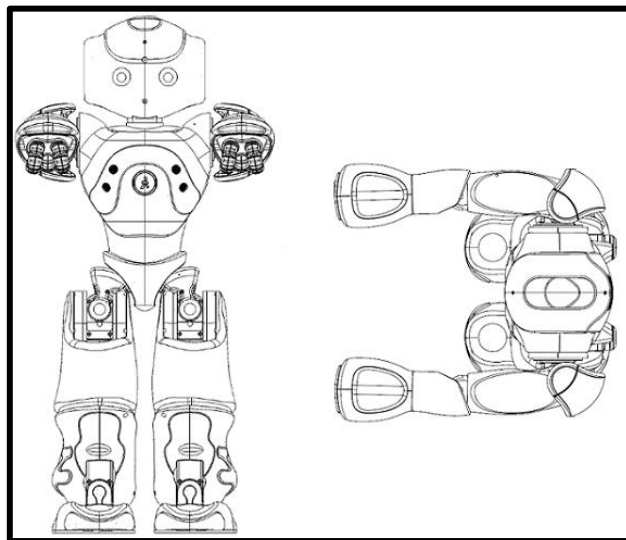


Figura 7– Posición de Nao con cuerpo y cabeza alineados.

- El centro de la pelota debe encontrarse en la zona central de la imagen vista a través de la cámara superior del robot, de esta forma se asegurará que el robot no choca con la pelota al estirar los brazos para cogerla ya que esto podría suceder si el robot ve la pelota en una esquina de la imagen. En la figura 8 se puede observar un caso en el que el centro de la pelota se encuentra en el centro de la imagen y otro caso en el que se encuentra ligeramente a la izquierda.



Figura 8– Ejemplos de posición del centro de la pelota.

Como se ha dicho anteriormente, el robot realizará ligeros desplazamientos hacia los lados y rotaciones hasta que se encuentre en la posición óptima, en la cual se cumplirán ambas condiciones. Esto se consigue mediante un controlador proporcional que le permite al robot realizar desplazamientos más cortos a medida que se acerca al objetivo.

A continuación se pasará a la etapa de localización de la pelota en el espacio 3D.

LOCALIZACIÓN DE LA PELOTA EN EL ESPACIO 3D:

La pelota debe encontrarse a aproximadamente 25cm del robot, ya que es a la distancia a la que el robot se detiene porque es capaz de cogerla al estirar los brazos. Por tanto, como el centro de la pelota y su radio son conocidos, hay que convertir esta posición a coordenadas del mundo real con el robot como origen, donde el eje X es positivo hacia la parte delantera del Nao, el Y de derecha a izquierda y el Z es vertical; todos medidos desde el torso del robot, tal y como se aprecia en la figura 9.

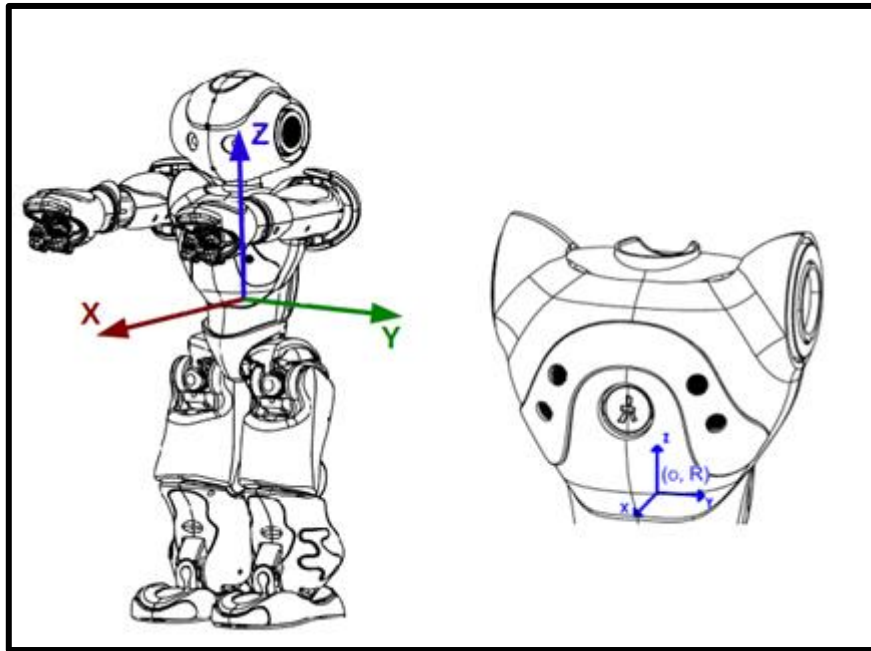


Figura 9 – Sistema de coordenadas con el robot como origen.

- **COORDENADA X:**

Para el cálculo de la coordenada X se toma primeramente una imagen de la pelota a 25 cm de distancia y se calcula el radio sobre esa imagen, que son 55 píxeles. Así se puede usar un conversor 'radiusToMeters' que es:

$$0.25 \text{ cm} \cdot 55 \text{ px} = 13.75 \text{ cm} \cdot \text{px}$$

Por tanto, para conocer la distancia a la que se encuentra la pelota del robot (coordenada X) bastará con conocer el radio de la pelota y dividirlo por este conversor 'radiusToMeters'. En la figura 10 se muestra de forma esquemática a que se refiere esta coordenada X, marcada como 'Xrobot' para que no sea confundida con la coordenada 'x' del centro de la pelota.

- **COORDENADA Y:**

Para la coordenada Y existen 2 posibilidades: que la pelota se encuentre a la izquierda del centro, entonces la coordenada Y es positiva, o que se encuentre a la derecha, siendo Y negativa.

La pelota tiene un diámetro real de 8 milímetros. Con este valor también se puede crear un conversor 'pixelToMeter' que se obtiene dividiendo este valor del diámetro real entre el diámetro de la pelota en píxeles, de esta forma es posible conocer la distancia de un pixel en metros.

Por otra parte, para conocer en qué lado se encuentra situada la pelota bastará con restarle al valor en píxeles del centro de la imagen (en este caso 160 porque la imagen tiene un ancho de 320 píxeles) el valor 'x' del centro de la pelota también en píxeles. De esta forma se obtendrá una coordenada Y positiva si 'x' es más pequeño que 160 y por consiguiente se encuentra a la izquierda del centro de la imagen, y una coordenada Y negativa si el centro de la pelota se encuentra a la derecha de la imagen. Finalmente se multiplica el valor obtenido para la coordenada Y en píxeles por el conversor 'pixelToMeter' para conocer a que distancia en metros se encuentra la pelota.

Al igual que antes, en la figura 10 se muestra de forma esquemática a que se refiere esta coordenada Y, marcada como 'Yrobot' para que no sea confundida con la coordenada 'y' del centro de la pelota.

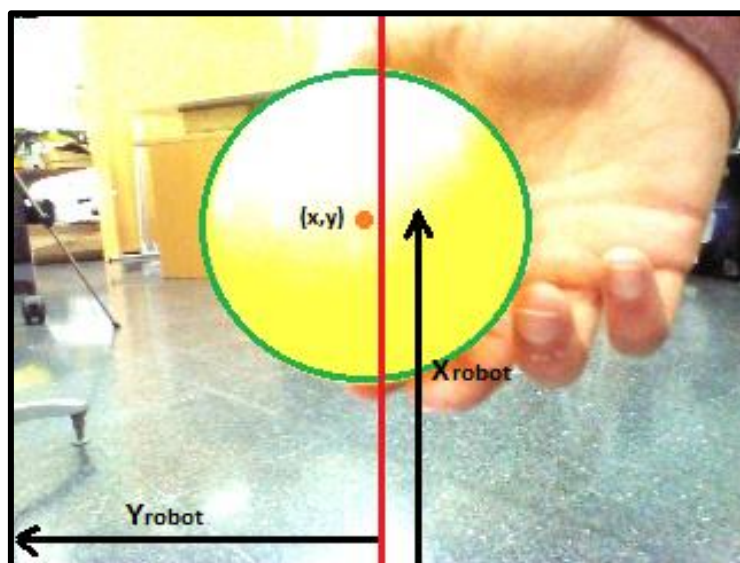


Figura 10 – Representación coordenadas X e Y sobre la imagen.

- **COORDENADA Z:**

La altura a la que se encuentra la pelota será estimada en función de la inclinación que presenta la cabeza del robot al ver la pelota justo en el centro de la imagen. Por tanto existe un paso previo a esta estimación en el cual el robot ajusta la inclinación de su cabeza de forma que el centro de la pelota y el de la imagen coincidan. Esta inclinación viene dada por el valor de la junta HeadPitch y su valor varía de la forma en que se veía en la figura 5.

Así, a partir de este valor de inclinación se puede comprobar que existe una relación lineal con la altura a la que se encuentra la pelota. Se calcula por tanto la ecuación que rige esta relación lineal para que a partir de un valor dado de

HeadPitch se obtenga de forma automática la altura o coordenada Z. Hay que tener en cuenta que esta altura será la medida con respecto al eje de coordenadas que se encuentra en el torso del robot (figura 9), y no con respecto al suelo.

Para conocer la ecuación de la recta que establece la relación entre la altura y la inclinación de la cabeza se ha hecho lo siguiente:

1. Series de varias mediciones a diferentes alturas. Se han anotado los rangos de valores de HeadPitch obtenidos para cada una de las alturas probadas.
2. Se obtienen los valores medios de HeadPitch para cada una de las alturas medidas.
3. Representación de los valores medios de HeadPitch para sus respectivos valores de altura en una gráfica, comprobando que al unir todos los puntos se obtiene una recta.
4. Obtención de la ecuación de la recta que une todos los puntos anteriores.

Por último y para dar por finalizada esta etapa de localización de la pelota en el espacio 3D todas las coordenadas calculadas se publicarán como un punto, de forma que ese punto sea accesible para la etapa final en la que se realiza el agarre de la pelota.

AGARRE DE LA PELOTA:

En esta etapa sólo se utilizará la componente Z del punto publicado, ya que por la posición final en la que se ha situado el robot con anterioridad no es necesario hacer uso de las componente X e Y, aunque son publicadas igualmente pensando en futuras aplicaciones y/o librerías.

El proceso de captura de la pelota se puede resumir en 3 pasos y se encuentra representado en la figura 11:

- **Movimiento de los brazos hacia la pelota pero sin cogerla.** Se colocan los brazos a ambos lados de la pelota de forma que ésta quede situada entre ambos, aunque sólo para hacer una primera aproximación y comprobar que no existen errores de localización.
- **Agarre de la pelota.** Se mueven los brazos el uno hacia el otro de forma que la pelota quede agarrada entre las manos del robot, por tanto, este paso comienza con la apertura de las manos y continúa con la aproximación de los brazos hasta la captura.

- **Separación de la pelota de su ubicación.** Se mueven los brazos hacia arriba y hacia el pecho del robot para evitar chocar con la mesa, estantería o lugar donde se encontrara situada la pelota, y para ganar estabilidad a la hora de moverse, ya que a partir de este punto el robot estaría preparado para moverse con la pelota agarrada en entre sus manos.

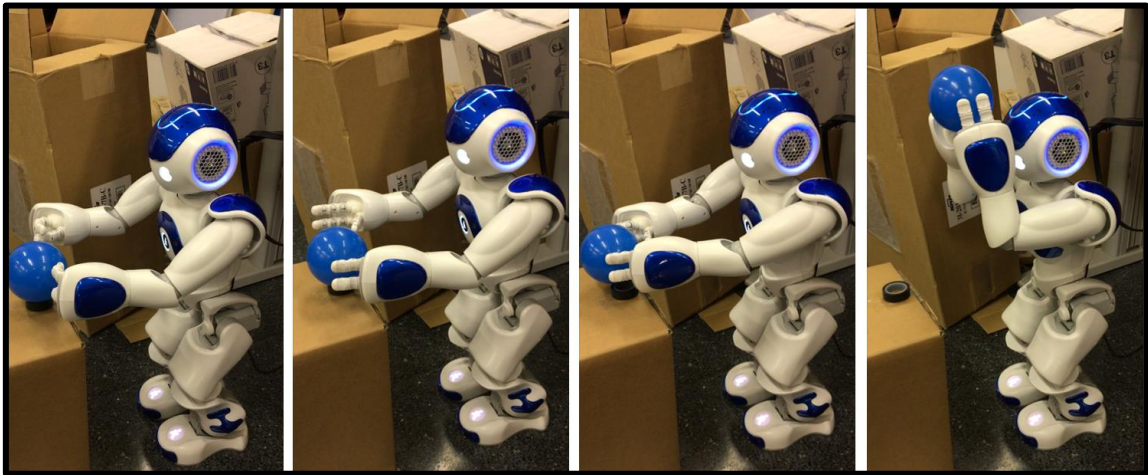


Figura 11 – Secuencia de agarre de la pelota.