

# UNIVERSIDAD DE LEÓN

## Máster en Investigación Cibernética



Sistema de control basado en visión para el robot  
Rovio: Aplicación al seguimiento de objetos

Trabajo fin de Máster

**Tutor:** Vicente Matellán Olivera.

**Alumno:** Isidoro Gayo Vélez.

León, Julio 2012



# Resumen

El trabajo que aquí se va a presentar trata sobre la implementación de un programa que permita a un robot seguir un objeto de forma autónoma. El robot empleado como plataforma hardware de prueba y ensayo es *Rovio*. Para ello se utilizará la biblioteca de visión artificial *OpenCV*, que será la encargada de procesar la información proveniente de la cámara WiFi de Rovio en un ordenador portátil. Como sistema operativo de base para el desarrollo de esta aplicación se utilizará GNU/Linux, en concreto la distribución *Ubuntu Lucid*. La aplicación será desarrollada enteramente en lenguaje C. La situación de partida es el robot ya configurado según las instrucciones que figuran en su manual.

Para acometer tal tarea, se ha estructurado el trabajo de la siguiente manera: Tras realizar una pequeña introducción en el primer capítulo y declarar los objetivos del trabajo en el segundo, en el tercero se expone de forma breve una visión general de la plataforma hardware empleada en el trabajo, es decir, se describen las partes constituyentes de Rovio, así como su funcionamiento.

En el capítulo cuatro se continúa la exposición del trabajo con una explicación, también breve, de la biblioteca OpenCV, así como del API de Rovio, para continuar con una descripción del software de partida para este trabajo. Este software fue desarrollado también en el Laboratorio de Robótica de la Universidad de León por un par de antiguos alumnos y se ha tomado como base para aprovechar las funciones de gestión de conexión mediante sockets que incluye.

Se finalizará el trabajo con un capítulo de conclusiones y propuestas para trabajos posteriores que puedan o pretendan utilizar todo el material desarrollado en este trabajo como

base de inicio. Un apéndice anexoado al final del trabajo aclarará los problemas o dudas que puedan surgir en relación con el fichero de configuración de la aplicación de control de Rovio.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Conclusiones</b>	<b>5</b>
2.1. Conclusiones. . . . .	5
2.2. Líneas de trabajo futuras. . . . .	8



# Índice de figuras

# Capítulo 1

## Introducción

Si preguntásemos a pie de calle a la gente que pasa qué es lo que entiende por robot, seguramente la gran mayoría de ellos responderían al estereotipo de máquina antropomórfica, similar a la que nos mostró George Lucas en la “*La guerra de las Galaxias*”, allá por 1977, cuando en la gran pantalla veíamos robots capaces de interactuar con los humanos de forma inteligente y de tomar decisiones por sí mismos.

Habría que remontarse un poco más atrás en el tiempo, aproximadamente hacia el año 1967, para contemplar el momento en el que el Centro de Inteligencia Artificial del Instituto de Investigación de Stanford –actualmente llamado SRI International– iniciaba el trabajo de investigación que conduciría al diseño e implementación del robot *Shakey*.

Este robot, si bien no tenía el aspecto humano presentado en la literatura de ficción del momento, sí que poseía atributos dignos de mención. Shakey podía analizar y dividir las órdenes recibidas de un humano en un conjunto de acciones más simples que le permitían alcanzar el objetivo principal. Es decir, este robot era capaz de planificar la secuencia de pasos básicos necesaria para cumplir con su tarea. Esto, que puede parecer trivial a un humano, era un proceso complejísimo en una inteligencia artificial que empezaba a dar sus primeros pasos, ya que en el caso de Shakey, implicaba comprender el lenguaje humano, establecer un razonamiento basado en acciones y sus consecuencias, y finalmente, determinar la secuencia temporal de cada acción individual, es decir, qué acción es imprescindible realizar antes para poder realizar la siguiente sin problemas.



Pero un robot no es sólo una maquina cubierta de metal dorado y capaz de desplazarse caminando como las personas. Más allá de la pura ciencia ficción alimentada por este tipo de obras, a la robótica, o campo de la ciencia que se encarga de trabajar con los robots, se la puede definir de forma general como el conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas, dotados de un determinado grado de inteligencia y destinados a una variada gama de aplicaciones que pueden abarcar desde la industria, como sustitución del hombre en tareas muy diversas, hasta el entretenimiento o los servicios.

En estos dos campos de aplicación, el lúdico y el de servicios, los robots se han hecho muy populares desde hace unos pocos años. Hasta hace relativamente poco tiempo no era fácil ver robots aspiradores que se encargaban de limpiar la estancia donde se encontraban de forma totalmente autónoma y cuando finalizaban, volvían a su base de carga para recargar sus baterías hasta la próxima sesión de limpieza. Actualmente, es rara la empresa que no tiene un modelo de estos, ya se llame Roomba<sup>1</sup>, ViRobi<sup>2</sup>, etc... Y no son los únicos. Ya se ven también robots capaces de cortar el césped, como los comercializados por WipperRobot<sup>3</sup> y comienzan a hacer sus primeras pruebas los primeros prototipos de robots que doblan y colocan la ropa, como el PR2 de willow Garage<sup>4</sup>, o que incluso cocinan, como Motoman de la empresa japonesa Yaskawa Electric<sup>5</sup>.

No sólo el hogar se está beneficiando del uso de robots. También la medicina se aprovecha de estos avances y emplea robots como el DaVinci<sup>6</sup> en operaciones de cirugía – laparoscopias, ecografías o cirugía espinal, por citar algunas –, en maniqués que simulan el cuerpo humano o como soporte al diagnóstico de enfermedades. Incluso, se comienza a ver robots de asistencia a personas con discapacidades de diversos tipos.

---

<sup>1</sup><http://www.irobot.com/us/>

<sup>2</sup><http://international.vileda.com>

<sup>3</sup><http://www.wiperrobot.com/>

<sup>4</sup>[www.willowgarage.com](http://www.willowgarage.com)

<sup>5</sup><http://www.yaskawa.eu.com/en/home.html>

<sup>6</sup><http://www.intuitivesurgical.com>

Pero el campo donde sin duda alguna ha penetrado más el uso de los robots es el del entretenimiento. Hasta hace unos 4 o 5 años apenas se disponía de robots con lo que jugar. Sin embargo, a partir de esas fechas el número de robots lúdicos se incrementó considerablemente. Ya sean como mascotas o como simples juguetes, los robots de entretenimiento están copando los hogares de casi todo el mundo. No es fácil establecer los motivos por los que la robótica de entretenimiento ha experimentado este auge en tan poco tiempo. Quizá tengan que ver los concursos y competiciones de robots que se celebran con cierta periodicidad en varias universidades de todo el mundo y que suelen anunciarse en los informativos de algunas cadenas de televisión.

Sean cuales sean las causas, lo cierto es que gracias a esta popularidad la disponibilidad de estas máquinas es mucho mayor y a precios bastante asequibles, lo que beneficia a la investigación robótica al disponer de plataformas hardware muy variadas listas para usar.

Uno de estos robots es Rovio, de la empresa *Wowwee Technologies*, un robot de telepresencia equipado con una cámara web que es capaz de navegar de forma autónoma por el interior de una casa. Es un robot ideal para practicar con la robótica puesto que su precio es muy asequible y es un producto ya acabado y listo para funcionar que permite centrar los esfuerzos de investigación en el software. Por estos motivos, se ha elegido a Rovio como plataforma de pruebas para la realización de este trabajo.

# Capítulo 2

## Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones a las que se han llegado a lo largo del desarrollo del trabajo y se indican las posibles líneas futuras de investigación/avance.

### 2.1. Conclusiones.

En el apartado de conclusiones se mencionará que no fue fácil conseguir que Rovio fuese capaz de localizar y seguir un objeto. En primer lugar para que el robot tenga algo a lo que seguir hay que ser capaz de hacer que ese objeto pueda ser percibido. En una imagen tomada por la cámara del robot hay una ingente cantidad de información que necesita ser filtrada y descartada para focalizar la atención en sólo aquello que resulte relevante.

Por otro lado, esta separación de lo importante se debe realizar en base a un criterio que sea fiable porque de lo contrario, la separación de la información conducirá a error. Además de esto, existe la posibilidad de que la información recibida contenga perturbaciones o ruido que dificulte aún más la separación y extracción de los datos interesantes. Para salvar esta situación la mejor opción es el **uso de filtros**.

En relación con el filtrado de imágenes, se pudo comprobar que cuanto mejor es el filtrado más fácil resulta extraer información, pero al mismo tiempo, más costoso computacionalmente se vuelve en tiempo y recursos sin garantizar un resultado óptimo al 100 por 100.

Una técnica que dio buen resultado en lo que a filtrado se refiere es la del **filtrado de ruido impulsional** y el **suavizado de imágenes**. El ruido impulsional, que suele producirse en las ópticas de mala calidad –sensores CCD y/o lentes– o debido a polvo y suciedad en el objetivo de la cámara, se filtra muy bien mediante el empleo de filtros de mediana que al mismo tiempo que eliminan el ruido, permiten conservar los detalles de la imagen. Por su parte, el ruido gaussiano que aparece cuando las condiciones de luz son deficientes al verse afectados el brillo y/o el color de la imagen, se puede eliminar muy bien mediante filtros gaussianos, como el empleado en este trabajo.

Ambos filtrados están justificados en este trabajo porque por un lado, se tuvo que emplear una cámara de muy baja calidad, ya que Rovio monta una cámara VGA que no ofrece muy buena resolución y que monta un sensor CCD mediocre, de ahí el bajo coste del robot. Por otro lado, las condiciones en las que Rovio podría trabajar variarán en función de la luz ambiente, situación en la que siempre se hace imprescindible un filtro gaussiano.

Para facilitar aún más el filtrado en estos casos suele ser habitual **convertir el espacio de color** de la imagen. Por lo general, las cámaras ofrecen una imagen en el espacio de color RGB, es decir, una combinación de los colores básicos de la luz rojo (R - Red), verde (G - Green) y azul (B - Blue). Este espacio de color está muy expuesto a verse afectado por la variaciones de iluminación ya que trabaja directamente con el valor del brillo de los colores. Para evitar esto es bueno convertir el espacio RGB al espacio HSV ya que de esta manera los colores se vuelven mucho más insensibles a variaciones de la iluminación, como se pudo comprobar en este trabajo.

La extracción de la información relevante de una imagen es lo que se conoce con el nombre de **segmentación**. La segmentación se puede realizar mediante el uso de varias técnicas, siendo una de ellas la **segmentación por umbral de color**. Para aplicar esta técnica basta con fijar un margen de valores de color entre los cuales deseamos encontrar lo que buscamos y descartar el resto de valores. Si, por ejemplo, queremos encontrar una pelota naranja en una imagen, basta con utilizar los valores de color del color naranja para se-

parar la pelota del resto de los objetos de la imagen y obtener un **blob** o **segmento** que nos represente a la pelota.

Esta es la técnica más simple y fácil de aplicar y que suele dar un resultado aceptable si no se necesita un nivel de exigencia alto. Este nivel vendría impuesto en parte por la calidad de la cámara y por las necesidades de la aplicación a la que fuese destinado. En nuestro caso, la calidad de la cámara no era buena por lo que el nivel de exigencia no podía ser demasiado alto. A esto hay que añadir que seguir a un objeto simple no es un objetivo demasiado exigente como podría ser reconocer un rostro, por lo que la decisión de emplear una segmentación de umbral demostró ser la opción más acertada.

Otra de las conclusiones que se han podido sacar del desarrollo de este trabajo es que un buen filtrado y segmentado no siempre producen un único blob o segmento. En ocasiones, después de filtrar y separar los objetos de interés quedan algunos blobs más pequeños que podrían distraer la atención de nuestro robot. Partes de la imagen que caen dentro del margen de color seleccionado y que no han sido filtradas por completo por ser muy grandes o nítidas pueden aparecer en la imagen como blobs secundarios que también es necesario eliminar.

Para paliar este problema se hizo necesario emplear operaciones de dilatación y erosión de la imagen. Mediante las erosiones o contracciones, estos blobs secundarios tienden a difuminarse o estrecharse, mientras que las dilataciones o expansiones fueron aplicadas para eliminar los huecos que a veces aparecen dentro de los blobs. Combinando adecuadamente la secuencia y cantidad de estas operaciones se consiguió obtener un segmento o blob bastante exacto a la forma del objeto real a segmentar, en nuestro caso una de las pelotas del laboratorio.

Como estas operaciones no son tampoco una panacea y en previsión de que no se pudiera eliminar por completo la presencia de más de un segmento, se optó finalmente por buscar contornos en la imagen. Los contornos permiten encerrar áreas de diferente forma que se encuentran en la imagen y seleccionar aquella que presente el perímetro, superficie

o ambos que más se adecúe a nuestras necesidades. De esta manera se pudo obtener un sólo blob en la imagen con el que Rovio pudo calcular el centroide del objeto estímulo para realizar su seguimiento.

En cuanto a la parte del seguidor de objetos, lo más difícil fue poder controlar los movimientos de Rovio sin tener posibilidad de aplicar controladores PID. El hardware de Rovio no contempla la posibilidad de realizar este control de manera adecuada y el software es complicado de gestionar para este cometido tal cual viene instalado en el robot.

Para finalizar, se menciona que el uso de OpenCV facilitó mucho la labor en lo que a la programación se refiere, ya que la mayor parte de las operaciones de filtrado, segmentación y procesado de imagen fueron simples llamadas a funciones que ya vienen incluidas en la biblioteca, lo cual viene a demostrar la potencia de OpenCV como biblioteca de funciones y por otro lado, lo fácil que puede ser implementar cualquier tipo de acción más compleja simplemente combinando las funciones elementales que se incluyen en ella.

## **2.2. Líneas de trabajo futuras.**

Como línea de trabajo futuro se indica la posibilidad de mejorar el segmentado para hacerlo completamente independiente de la cantidad y calidad de la luz ambiente. El empleo del espacio de color HSV en lugar del RGB para la segmentación hizo posible que fuera más fácil localizar blobs en la imagen en condiciones de luz pobres, pero no era completamente insensible a estos cambios en la iluminación.

Dependiendo del número de puntos de luz, del ángulo de incidencia y de lo uniforme o no que ésta sea, se consiguen mejores o peores resultados. Por ejemplo, un único punto de luz produce mucha sombra –tanto propia como arrojada– en el objeto estímulo y en el resto de la escena, haciendo que los colores que quedan en la cara oscura del objeto tiendan a perder su valor de color. Esto hace que el segmentado no abarque la totalidad del volumen del objeto estímulo produciendo un blob parcial del objeto, es decir un segmento cuya superficie no se corresponde con la superficie que ocupa en la imagen el

objeto. Cuanto más uniforme es la luz ambiente, mucho mejor se realiza la segmentación por lo que incluir alguna rutina de calibrado de la cámara –para cámaras *pin hole* que es el tipo de cámara que monta Rovio– en diferentes condiciones de luz podría resultar en un segmentado mucho más definido, completo y fiable del objeto estímulo.

Muy posiblemente un cambio en la técnica de segmentado a emplear podría paliar también este problema en gran medida, ya que como se apuntó en apartados anteriores la técnica del segmentado por umbral de color es la más simple de todas y por tanto, la que peor resultado tiende a ofrecer, habida cuenta del problema de la iluminación descrito anteriormente. Una cámara de mayor calidad también podría contribuir a mejorar el segmentado, aunque a un mayor coste computacional y económico, por lo que no se aconseja. Además, este cambio implicaría una modificación del hardware de Rovio con todo lo que ello supone, a saber, controlador para ese modelo de cámara, recompilado del sistema operativo de Rovio, etc. . .





# Bibliografía

- [Bradski y Kaehler, 2008] Bradski, G.; Kaehler, A. (2008); *“Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library”*, Ed. O’Reilly, 1ª Edición, ISBN 978-0-596-51613-0, USA.
- [Bräunl, 2008] Bräunl, T. (2008); *“Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Application with Embedded Systems”*, Ed. Springer, 3ª Edición, ISBN 978-3-540-70533-8, Alemania.
- [Salido, 2009] Salido Tercero, J. (2009); *“Cibernética Aplicada: Robots Educativos”*, Ed. Ra-Ma, ISBN 978-84-7897-940-0, España.
- [Kernighan y Ritchie, 1991] Kernighan, B.W.; Ritchie, D.M. (1991); *“El Lenguaje de Programación C”*, Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 2ª Edición, ISBN 0-13-110362-8, México.
- [Quintián y Lera, 2010] Quintián Pardo, H.; Lera Rodríguez, F.J. (2010); *“Envoltorio para Teleoperación del Robot Rovio”*, Universidad de León (España).
- [García, 2010] García Mateos, G. (2010); *“Procesamiento audiovisual: Programa de teoría”*, Universidad de Murcia (España).
- [Alba y otros, 2006] Alba, J.L.; Martín, F.; Cid, J.; Mora, I. (2006); *“Realizado de imagen: Técnicas de preprocesado”*, Universidad de Vigo (España), Universidad Carlos III (España), Universidad Rey Juan Carlos (España).
- [San Martin, 2002] San Martín de la Fuente, F. (2002); *“Comportamiento sigue pelota en un robot con visión local”*, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid (España).
- [Matute, 2003] Matute Baena, A. (2003); *“Filtro de color configurable”*, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid (España).
- [Ortiz, 2004] Ortiz Herencia, R. (2004); *“Comportamiento sigue persona con visión”*, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid (España).

- [WowWee, 2008] WowWee Technologies (2008); *“Rovio Mobile Webcam: Manual del usuario”*, WowWee Group Limited, Canadá.
- [WowWee, 2009] WowWee Technologies (2009); *“API Specification for Rovio (v.1.3)”*, WowWee Group Limited, Canadá.