

## **Desarrollo inicial de un ambiente de competencia y experimentación en robótica situada con drones aplicado a la formación de estudiantes**

**Avila Diego, Lorusso Emiliano, Fasce Sofia, Ierache Jorge**

Instituto de Sistemas Inteligentes y Enseñanza Experimental de la Robótica (ISIERS)

Facultad de Informática Ciencias de la Comunicación y Técnicas Especiales

Universidad de Morón

[jierache@unimoron.edu.ar](mailto:jierache@unimoron.edu.ar)

### **Resumen**

El presente trabajo introduce las características de las competencias de robótica situada aplicadas al fútbol de robots como base inicial de la temática, para luego presentar el desarrollo de un ambiente de competencia y experimentación en robótica situada orientado a la utilización de un dron, en particular cuadricóptero en el contexto de la formación de estudiantes de nivel secundario y universitario.

**Palabras clave:** dron, robótica situada, competición, formación

### **Introducción**

El control de robots autónomos ha sido de gran interés desde los comienzos de la robótica y la inteligencia artificial. Para poder experimentar el control autónomo de robots, se han desarrollado diversos ambientes de robótica situada orientados a la competición, un ejemplo de esto es el fútbol de robots [1] y [2], o las ligas de sumo [3]. La robótica situada se caracteriza por: a) atender las problemáticas de captación del ambiente de actuación del robot en tiempo real (sistema de visión artificial y sensores asociados); b) generar una navegación precisa en un contexto de actuación del robot autónomo; c) desarrollar las acciones del robot en tiempo real en un ambiente dinámico; d) actuar en forma colaborativa, en particular en aplicaciones como el fútbol de robots, enfrentando estrategias en oposición.

Con la finalidad de introducir la temática de competencias de robótica situada, se desarrolla a continuación una descripción general de las competencias y categorías de Fútbol de Robots

El fútbol de robots reúne a diversas organizaciones y grupos de investigación han creado ámbitos de competencia relacionados con la robótica situada. Una de estas organizaciones es FIRA [2] (Federation of International Robot-soccer Association), que durante años ha organizado distintas competencias con eje en el fútbol de robots, convocando a estudiantes de nivel secundario y universitario de todo el mundo, destacándose las categorías de competencia MiroSot [4] y NaroSot [5]. Estas competencias ayudan a que los participantes innoven en determinados campos como: comportamiento emergente, visión artificial, inteligencia artificial, etc.

MiroSot y NaroSot son las categorías de fútbol de robots utilizando cinco u once robots con dos ruedas. Cada equipo debe contar con una computadora que procese el video proveniente de una cámara suspendida e identifique la ubicación de los robots y la pelota. Dentro de la categoría MiroSot, existen dos sub-categorías: la MiroSot Middle League, donde se enfrentan dos equipos de cinco robots, y la MiroSot Large League, donde se enfrentan dos equipos de once robots. En la figura 1 se puede observar un robot de la categoría MiroSot

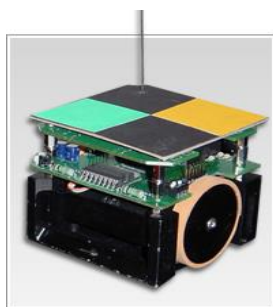


Fig 1. Robot de la categoría MiroSot.

RoboSot [6] es una categoría de fútbol de robots que consiste en dos equipos de entre uno y tres robots completamente autónomos en su sistema de visión o semi-autónomos. Los autónomos deben ser capaces de procesar y analizar la información proveniente de su sistema de visión. Los robots semi-autónomos, en cambio, el procesamiento del video se realiza en una computadora externa. En esta categoría, los robots de cada equipo deben tener como máximo un tamaño de 20 cm x 20 cm, sin límite de altura.

Otra de las ligas de fútbol de robots es la F180 [7] que se centra en el problema de inteligencia, cooperación y control multi-agente en un entorno de robótica situada. También denominada Small Size League (SSL), participan dos equipos con seis robots cada uno y cada uno de estos debe cumplir con las especificaciones de tamaño, es decir que debe caber dentro de un círculo de 180mm de diámetro y no puede superar 15cm de altura. Los robots juegan de forma autónoma en una cancha de 6.05m de largo y 4.05m de ancho cubierta por alfombra color verde y con una pelota de golf color naranja. En la figura 2 se observa un partido de esta categoría, donde se pueden ver tanto los robots con sus parches de color para poder identificarlos. Todos los objetos en el campo son seguidos por un sistema de visión estandarizada, llamado SSL Visión, que procesa los datos obtenidos por dos cámaras que se encuentran instaladas a 4m de altura del campo de juego



Fig 2. Robots de la categoría F180 en el ambiente de competencia.

En el transcurso del encuentro los robots utilizan comunicación inalámbrica mediante la cual la computadora central, que está fuera del campo, les envía información sobre su posición, a la estrategia del juego. Tanto en la categoría RoboSot como en la F180 el desarrollo involucra investigación en el campo de la visión artificial, y particularmente, en áreas relacionadas a la identificación, localización y/o clasificación de elementos en el ambiente; en el campo de los ambientes cooperativos, donde los robots exhiben capacidades para interactuar entre sí; y en el campo de la navegación, donde los robots exhiben capacidades en el traslado de la pelota o planeamiento de rutas.

Actualmente, la disponibilidad de distintos tipos de kits de iniciación en robótica, ayuda a estudiantes insertarse tempranamente en el ámbito de la robótica, motivados por las competencias. Kits de robótica como los Lego RCX [8], Lego NXT [9] o similares, son el puntapié inicial para estos estudiantes.

### **Desarrollo del ambiente de Robótica Situada Aplicada a Drones**

El uso de drones para realizar diferentes tipos de tareas es de especial interés en la robótica autónoma. Se requiere una cantidad de parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de moverse por el ambiente, así como también sus grados de libertad. Se plantea como problema la generación de un ambiente

de robótica situada utilizando drones, considerando el control autónomo de los mismos a partir de información del ambiente provista por la cámara suspendida y la utilización de diferentes sensores disponibles en el drone. El modelo del ambiente de navegación utilizado para el desarrollo de pruebas y competencias de vuelo se representa en la figura 3, donde se observa un campo de vuelo de 3 metros por 2 metros, definido por el ángulo de visión de la cámara que esta colocada en el centro del campo a 4 metros de altura. Dentro del campo, se sitúan cuatro objetivos a alcanzar por el drone, representados e identificados por parches de colores diferentes e irrepetibles circulares, que son identificados a través del análisis de la imagen capturada por la cámara suspendida. A modo de ejemplo consideramos: el *checkpoint* “A”, de color amarillo; el *checkpoint* “B” de color verde; el *checkpoint* “C” de color naranja; y el *checkpoint* “D”.

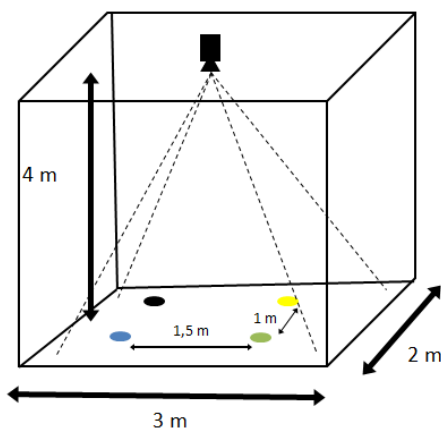


Fig 3. Ambiente utilizado

Tanto la información del ambiente como la del robot se le exhiben al usuario por medio de la interfaz gráfica de visualización. En la figura 4, se puede apreciar la misma con los datos que presenta: la posición de los checkpoints (a), la posición del robot (b), el área visible por la cámara (c), los valores relativos a los sensores del robot (d) y unos gráficos que muestran los distintos valores resultantes del PID (e).

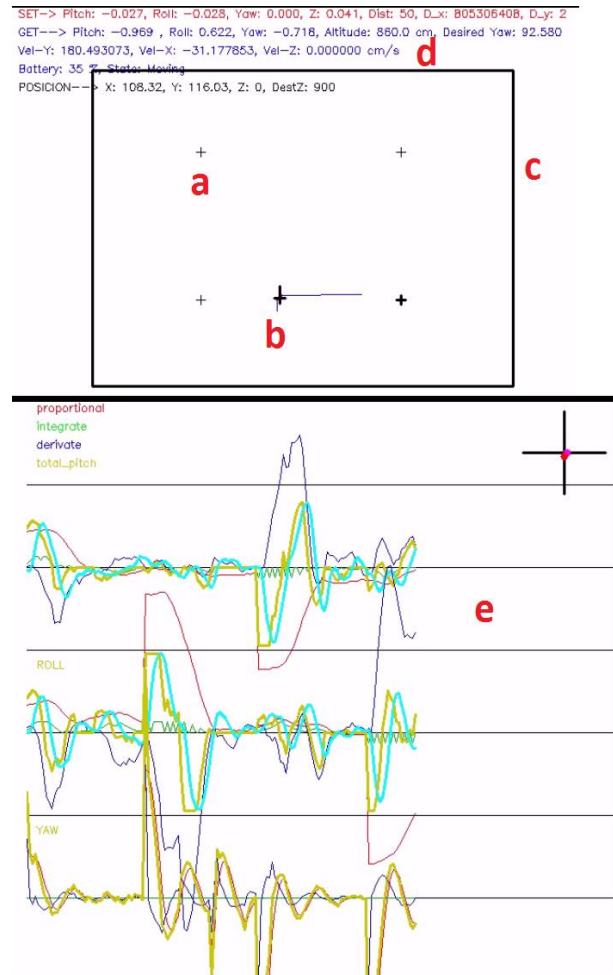


Fig 4. Interfaz utilizada para la visualización del robot.

El control del drone se realiza mediante el análisis del video proveniente de la cámara suspendida, corrigiendo la trayectoria del drone para mantenerlo estable. Se utilizó inicialmente un robot desarrollado por un grupo originario de Suecia, llamado CrazyFlie [10], que facilitó al equipo de trabajo las herramientas necesarias para desarrollar y experimentar. Los parámetros de control del son: los ángulos de cabeceo (pitch), balanceo (roll) y guiñada (yaw). El desarrollo se realizó en el lenguaje C++, utilizando una librería llamada libcflie [11] necesaria para conectarse con el drone (cuadróptero), OpenCV [12] y un entorno Linux (Ubuntu 12.04). En la figura 5 se muestra una imagen del drone con un

parche de color para su identificación por parte del sistema de visión artificial.



Fig 5. Cuadricóptero con identificación de color

Actualmente se trabaja con un robot ARDrone, de la empresa Parrot [13]. En la figura 6, se muestra la navegación sobre los *checkpoint* (parches que representan los objetivos de la misión)



Fig 6. ARDrone ejecutando el recorrido.

### Arquitectura del Sistema

La arquitectura del sistema desarrollado permite la carga de una librería encargada de la rutina de navegación, y otra librería para la mecánica de vuelo. Se provee además, un método de comunicación entre ambas librerías que implementa una lista de “temas de conversación”, extensible a las necesidades de ambas. El software desarrollado crea un hilo de ejecución encargado del análisis del

video, con el algoritmo presentado en [14] y [15], y publica los mensajes relacionados a la posición del robot y la posición de los *checkpoints*. A su vez, esa información la toma el hilo encargado de la interfaz gráfica, y el hilo de la rutina de navegación. Por otro lado, el algoritmo de la mecánica de vuelo [16] publica mensajes relacionados a la información proveniente del robot, como por ejemplo: altura, inclinación, velocidad, entre otros. En detalle, la rutina de navegación debe obtener la posición actual del robot y definir el próximo destino al que ir en base a los datos que provee el análisis del video y a la configuración de la misión a cumplir. En ella debe establecer tanto los destinos que debe cumplir, como la altura y el tiempo de sobrevuelo/aterrizaje de los mismos. Además, debe ser capaz de reconocer cuándo el objetivo se cumplió satisfactoriamente para ir al siguiente punto (objetivo representado por un parche de color), y por último, debe ser capaz de mantener al robot dentro de los límites del campo de la misión, ya que no existen paredes físicas. El algoritmo de navegación, debe ser capaz de recibir un punto destino y enviar al robot hacia allí en el menor tiempo posible, y mantenerlo a la altura correspondiente. En la figura 7 se presenta un diagrama de la arquitectura, y el pasaje de mensajes entre los hilos de ejecución.

El primer nivel de competencia establece la interpretación de la misión y la configuración de la misma. Este nivel se ve representado en la configuración de la rutina de vuelo, que alimentará a la misma con información sobre los objetivos a alcanzar

El segundo nivel, establece el desarrollo de la rutina de vuelo que se materializa en una librería utilizada por el software y por el algoritmo de la mecánica de vuelo. Este nivel, como se dijo anteriormente, está orientado a estudiantes de los primeros años de carreras de ingeniería en informática o afines, y busca la inserción de los mismos en el ámbito de la robótica .



Por último, el tercer nivel establece el desarrollo de la mecánica de vuelo materializado en una librería que se comunica con el robot (en este caso un ARDrone 2.0) y define los valores utilizando algoritmos de control. Este nivel, está orientado a estudiantes de ingeniería avanzados.

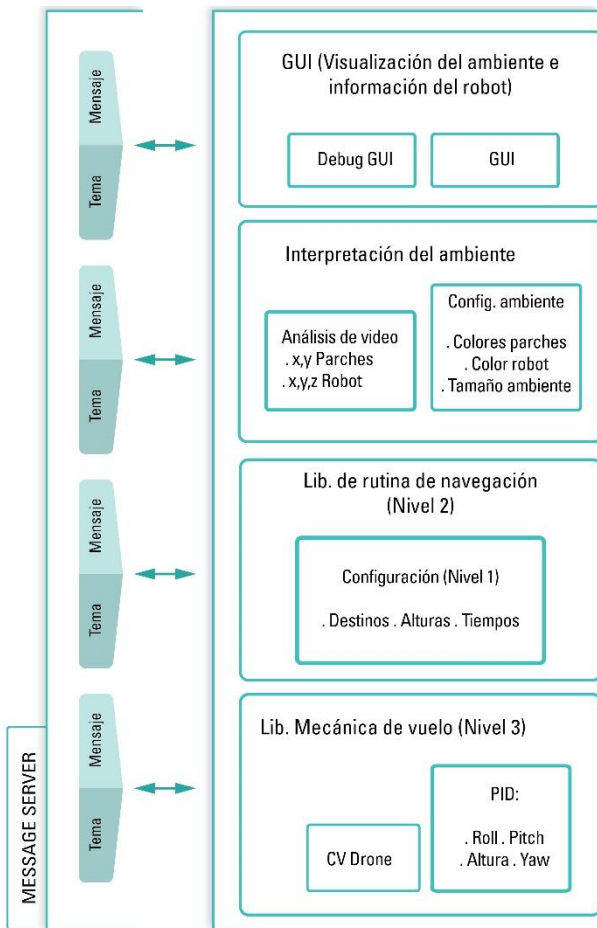


Fig 7. Arquitectura, y pasaje de mensajes entre los hilos de ejecución

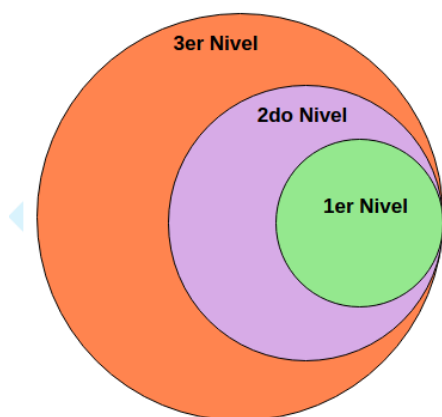
### Ambiente de competición y experimentación

El ambiente de competición y experimentación se desarrolla en tres niveles de participación de estudiantes, el primer nivel orientado a estudiantes de escuelas secundarias orientado a la interpretación de misiones; el segundo nivel orientado a estudiantes universitarios del primer ciclo de las carreras de informática; y el tercer nivel orientado a estudiantes de grado avanzados de las carreras de ingeniería informática. En el

primer nivel de competición, los participantes deberán interpretar una misión que involucra distintos *checkpoints* o destinos que representan puntos de interés representados por los parches de colores, por ejemplo un incendio, una inundación, un rescate, etc. Este nivel está orientado a estudiantes de nivel secundario y apunta a la interpretación y configuración de una misión por ejemplo de búsqueda y rescate. De esta forma, el robot encargado de ejecutar la misión deberá alcanzar los destinos definidos en la configuración y sobrevolar durante un tiempo establecido la zona, considerando de corresponder su aterrizaje y despegue (por ejemplo: en una situación de rescate, recolección de agua, etc ). Una vez definida la misión, los participantes del segundo nivel de competición, deberán programar una rutina de navegación, que enviará al robot a los destinos definidos, a la altura correspondiente y durante el tiempo necesario. Este nivel, está orientado a estudiantes de nivel universitario del primer ciclo, y pretende introducirlos en el desarrollo de algoritmos de navegación. En el tercer nivel los estudiantes de ingeniería en niveles avanzados pueden involucrarse, además de en el desarrollo de la navegación, en el control de la mecánica de vuelo del drone.

El sistema brinda un formato de competición del tipo “búsqueda y rescate” bajo la restricción del tiempo para el cumplimiento de la misión. Los equipos participantes recibirán un texto con la misión, el que deben interpretar para poder definir el orden de los objetivos a cumplir (puntos a alcanzar, la altura que debe tomar el robot al alcanzar esos puntos y el tiempo que debe permanecer en el destino). El mejor equipo será aquel que logre realizar la misión en el menor tiempo posible, sin saltarse ningún punto y cumpliendo todas las restricciones del caso en función de la misión. Se establecen tres niveles de competición: el primero, orientado a la interpretación de la misión, esto es, leer el texto dado y definir los puntos a donde debe acercarse el robot, el tiempo y la altura; el

segundo nivel, orientado a estudiantes con conocimientos básicos de control y programación, en el cual deberán programar la librería de la rutina de navegación con el objetivo de completar la misión. Los estudiantes participantes en el segundo nivel, con conocimientos de programación, deberán programar el control de navegación del dron y por último, el tercer nivel, orientado a estudiantes avanzados, con conocimientos de control y programación, en el que deberán programar el control del robot el algoritmo de navegación y la mecánica de vuelo. Como se ve en la figura 8, cada nivel incluye al anterior.



**Fig 8.** Gráfico con los niveles de dificultad. Los niveles más avanzados incluyen a los anteriores.

### **Futuras líneas de trabajo**

En la actualidad debe ser una persona o la propia rutina de navegación la que se encargue de dos cosas: por un lado, el informar al robot que se ha salido de los límites de la visión de la cámara y por otro, establecer si se cumplió o no un hito de la misión. Para solucionar esto, se propone en un futuro, desarrollar un sistema de monitoreo, tanto para la seguridad del robot como para arbitrar el cumplimiento de la misión.

### **Arbitraje automático**

Se pretende modificar la aplicación para que sea quien establezca si el recorrido se realizó de manera correcta, teniendo en cuenta las

alturas, los tiempos y los parches por donde pasó el robot.

Un caso de ejemplo es, si un parche representa fuego el robot no podrá volar por una altura más baja que la indicada, o más tiempo que el establecido; y si la misión era apagar el fuego, primero deberá pasar por el parche que represente agua para luego apagar el fuego. Algunos de estos parámetros mencionados pueden ser difíciles de medir por una persona en tiempo de vuelo del robot, es por esto que un árbitro automático hará transparente la evaluación del ganador.

### **Monitor de seguridad**

El robot debe estar siempre en el campo de visión de la cámara y si en algún momento se va del mismo, la rutina debería finalizarse, terminando así la competencia. Para que esto no suceda se deben tomar acciones de control necesarias para llevar al robot nuevamente al campo de visión.

Como se mencionó en las secciones anteriores, en la actualidad estas acciones de control quedan en manos del competidor.

En un futuro se pretende que exista un monitor de seguridad, es decir que estas directivas de control sean homogéneas para todos los participantes. De esta forma se logra una competencia dinámica, ya que estas acciones son de gran importancia para lograr un recorrido fluido.

### **Conclusiones**

La implementación de competencias en educación conlleva la generación de un ambiente tanto lúdico, como de experimentación y aprendizaje, incentivando a los alumnos a través del juego.

Los diferentes niveles de aprendizaje que se presentaron en este artículo llevan a que puedan involucrarse en la competencia tanto alumnos recién iniciados, como alumnos

avanzados, abarcando así diferentes niveles de conocimiento.

Por otro lado, se pone a disposición un ambiente de experimentación para algoritmos de navegación que permite evaluar la precisión y velocidad del mismo, permitiendo comparar un algoritmo con otro en términos de navegación como de control de la mecánica de vuelo

### **Bibliografía**

- [1] RoboCup, <http://goo.gl/dRZFes>
- [2] FIRA, <http://goo.gl/AH127O>
- [3] Robot Challenge, <https://goo.gl/SM0SsV>
- [4] FIRA MiroSot, <http://goo.gl/sFAI26>
- [5] FIRA NaroSot, <http://goo.gl/FqblDV>
- [6] FIRA RoboSot, <http://goo.gl/k1W2Ui>
- [7] Small Size League, <http://goo.gl/H95BY1>
- [8] NXC <http://bricxcc.sourceforge.net/nbc/>
- [9] NXT <http://mindstorms.lego.com/>
- [10] Bitcarze AB, <http://www.bitcraze.se/>
- [11] Crazyflie Nano C++ Client Library, <https://github.com/fairlight1337/libcflie>
- [12] OpenCV, <http://opencv.org/>
- [13] ARDrone 2.0 de Parrot, <http://ardrone2.parrot.com>
- [14] Avila, Fasce, Lorusso, Ierache. Robótica Situada Aplicada al Control de Vehículos Aéreos Autónomos. V Workshop Procesamiento de Señales y Sistemas de Tiempo Real, XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Octubre 2014 ISBN 978-987-3806-05-6.
- [15] Lorusso, Emiliano; Fasce, Sofia; Ávila, Diego; Pereira, Gustavo; Ierache, Jorge Salvador. Experiencias en el control de un Drone en el contexto de la robótica situada. Jornadas Argentinas de Tecnología, Innovación y Creatividad JATIC Mar del Plata Noviembre 2015 ISBN 978-987-23963-2-9.
- [16] Sofia Fasce, Diego E. Avila, Emiliano Lorusso, Gustavo Pereira, Jorge Ierache “Autonomous control of a Drone in the context of Situated Robotics”. Robot Intelligence Technology and Applications 4 Serie Advances in Intelligent Systems and Computing of Springer. ISBN 978-3-319-31293-4 (en prensa).