



KOMPUTER SAPIENS

Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial

Año 11
Volumen 1
Ene-Abril 2019
\$50.00

ROBÓTICA AÉREA AUTÓNOMA

ENSEÑANDO A UN DRON

VUELO AUTÓNOMO USANDO VISIÓN ARTIFICIAL



ISSN 2007-0690



9 772007 069007

GLÚSTER DE DRONES PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS



©Komputer Sapiens, Año XI Volumen I, enero-abril 2019, es una publicación cuatrimestral de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, A.C., con domicilio en Ezequiel Montes 56 s/n, Fracc. los Pilares, Metepec, Edo. de México, C.P. 52159, México, <http://www.komputersapiens.org>, correo electrónico: editorial@komputersapiens.org, tel. +52 (833)357.48.20 ext. 3024, fax +52 (833) 215.85.44. Impresa por Sistemas y Diseños de México S.A.

de C.V., calle Aragón No. 190, colonia Álamos, delegación Benito Juárez, México D.F., C.P. 03400, México, se terminó de imprimir el 30 de abril 2019, este número consta de 1000 ejemplares.

Reserva de derechos al uso exclusivo número 04-2009-111110040200-102 otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. ISSN 2007-0691.

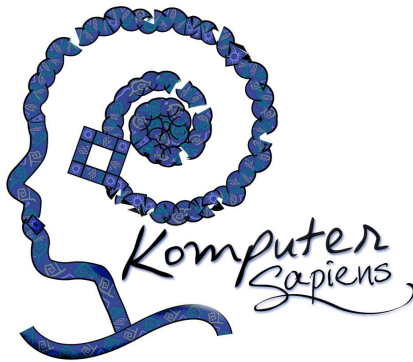
Los artículos y columnas firmados son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial. La mención de empresas o productos específicos en las páginas de Komputer Sapiens no implica su respaldo por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio, de la información aquí contenida sin autorización por escrito de los editores.

Komputer Sapiens es una revista de divulgación en idioma español de temas relacionados con la inteligencia artificial. Creada en \LaTeX , con la clase **papertex** disponible en el repositorio CTAN: Comprehensive TeX Archive Network, <http://www.ctan.org/>

Indizada en el IRMDCT de CONACYT y en Latindex.

Directorio SMIA		Directores Fundadores
Presidente	Grigori Sidorov	Carlos Alberto Reyes García
Vicepresidente	Miguel González Mendoza	Ángel Kuri Morales
Secretario	Félix Castro Espinoza	
Tesorero	Ildar Batyrshin	Comité Editorial
Vocales:	Rafael Murrieta Cid	Félix A. Castro Espinoza
	Maya Carillo Ruiz	Jesús Favela Vara
	Sofía Natalia Galicia Haro	Sofía Natalia Galicia Haro
	Luis Villaseñor Pineda	Miguel González Mendoza
	Gustavo Arroyo Figueroa	Oscar Herrera Alcántara
	Hugo Terashima Marín	Raúl Monroy Borja
	Oscar Herrera Alcántara	Eduardo F. Morales Manzanares
	Obdulia Pichardo Lagunas	Leonardo Garrido Luna
	Sabino Miranda Jiménez	Carlos Alberto Reyes García
	Enrique Muñoz de Cote	Angélica Muñoz Meléndez
	Antonio Marín Hernández	Antonio Sánchez Aguilar
	Noé Alejandro Castro Sánchez	Luis Enrique Sucar Succar
	Ma. de Lourdes Martínez Villaseñor	Ángel Kuri Morales
	Omar Montaña Rivas	José A. Martínez Flores
	Francisco Viveros Jiménez	Juan Manuel Ahuactzin Larios
Komputer Sapiens		Manuel Montes y Gómez
Director general	Grigori Sidorov	Ofelia Cervantes Villagómez
Editora en jefe	Karina Mariela Figueroa Mora	Alexander Gelbukh
Editor invitado	José Martínez Carranza	Grigori Sidorov
Editores asociados	Irvin Hussein López Nava	Laura Cruz Reyes
	Marco Antonio Aguirre Lam	Elisa Schaeffer
Coordinadora de producción	Viridiana Mena Gómez	Ramon Brena Pinero
e-Tlakuilo	Jorge A. Ruiz-Vanoye	Juan Humberto Sossa Azuela
	Ocotlán Díaz-Parra	
Estado del IArte	Ma del Pilar Gómez Gil	Árbitros
	Jorge Rafael Gutiérrez Pulido	Karina Mariela Figueroa Mora
Sakbe	Claudia G. Gómez Santillán	Leonardo Romero Muñoz
	Laura Cruz Reyes	Hugo Rodríguez Cortés
IA & Educación	María Yasmín Hernández Pérez	Oyuki Rojas Pérez
	María Lucía Barrón Estrada	Erik Ramos Pérez
	J. Julieta Noguez Monroy	David Pinto
Deskubriendo Konocimiento	Alejandro Guerra Hernández	Grigori Sidorov
	Leonardo Garrido Luna	César Cárdenas
Asistencia técnica	Alan G. Aguirre Lam	Raymundo Domínguez Collín
Corrección de estilo	Miguel Antonio Lupián Soto	Eduardo Morales
	Gilberto Rivera Zárata	C. Alberto Ochoa Zezatti
	Marcela Quiroz Castellanos	Aldrich Alfredo Cabrera Ponce
	Ruth Esmeralda Barreda Guajardo	Antonio Camarena-Ibarrola
Edición de imagen	Laura Gómez Cruz	José Martínez-Carranza
Portada	Irene Morales Pagaza, Mopi Diseño	Mariana Edith Miranda Varela
		René Parlange Chavarria



Contenido

ARTÍCULO ACEPTADO

Enseñando a volar a un dron

por Erick Rodríguez Hernández y Juan Irving Vásquez Gómez

pág. 9 ⇒ Herramientas para poder desarrollar sistemas inteligentes para que las máquinas puedan aprender y generalizar una acción a través de su entrenamiento.

ARTÍCULO ACEPTADO

Vuelo autónomo usando visión artificial

por Erik Ramos Pérez, Misael Ramírez López, Moisés Ramírez Guzmán y Omar Cruz Ortega

pág. 13 ⇒ Segmentación de color para obtener el área y contorno de objetos que un dron debe identificar y seguir en vuelos autónomos, para resolver un reto en un torneo.

ARTÍCULO ACEPTADO

Implementación de un Clúster de drones para la prevención de incendios forestales

por : Alberto Ochoa Zezzatti, José Mejía, Juan Muñoz y Abraham López

pág. 19 ⇒ Enjambre de drones con capacidad de organización automática, equipado con sensores atmosféricos que detecten las condiciones de peligro de incendio o incluso un incendio en una etapa temprana, para optimizar la cobertura de un área.

Columnas

Sapiens Piensa.
Editorial **pág. 2**

Semblanza de la
Dra. Angélica Muñoz **pág. 4**

e-Tlakuilo **pág. 6**

Estado del IArte **pág. 7**

Sakbe **pág. 8**

IA & Educación **pág. 24**

Deskubriendo
Konocimiento **pág. 26**

Sapiens Piensa

José Martínez Carranza



José Martínez
Carranza

En esta segunda edición especial de *Komputer Sapiens* se presentan tres artículos arbitrados que dan continuidad a los artículos sobre drones, presentados en la edición anterior sobre robótica aérea. Los dos primeros artículos hacen mención de algunas técnicas de inteligencia artificial, como la visión computacional y el aprendizaje computacional, que pueden ser utilizadas para permitir que los drones observen el ambiente y tomen decisiones. El tercer artículo nos habla sobre cómo utilizar varios drones para atacar un mismo problema.

De lo anterior, y hablando de incentivos para impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico, las competencias académicas impulsan la generación de soluciones novedosas, poniendo a prueba los conocimientos técnicos y la capacidad de los competidores para trabajar en equipo. En años recientes, las competencias de drones autónomos se han popularizado, y México no ha sido la excepción. El primer artículo de esta segunda edición especial de drones: **“Vuelo autónomo usando visión artificial”** de Erik Ramos-Pérez y sus colaboradores, describe la solución implementada por los autores para resolver una misión de vuelo autónomo en la que un dron debe seguir un objeto. El objeto es mostrado al dron por el operador, y el operador debe caminar con el objeto en mano, siguiendo una trayectoria aleatoria desconocida por el dron. El dron debe mostrar la capacidad de identificar el objeto y volar sin ser controlado por un operador, con el objetivo de seguir dicho objeto. Esta misión se da en el contexto de la competencia denominada como *categoría de drones autónomos*, una de las varias competencias que se realizan en el Torneo Mexicano de Robótica, evento anual organizado por la Federación Mexicana de Robótica.

En el segundo: **“Enseñando a volar a un dron”** de Erick Rodríguez Hernández, se toca un tema que está madurando cada vez más rápido, no sólo en los drones, si no en la robótica y muchas otras áreas tecnológicas. Esto es, el uso de los algoritmos que le permiten a un sistema artificial aprender a través de ejemplos. Ejemplos seleccionados por un humano, o bien, ejemplos obteni-

dos mediante búsquedas en la web, videos, fotografías o algún otro tipo de material digital. En este sentido, este artículo realiza una revisión didáctica sobre las técnicas existentes que permiten que un dron pueda ejecutar vuelo autónomo a través del aprendizaje de acciones que son enseñadas por un piloto humano. Por supuesto, el dron debe utilizar algún mecanismo de observación que le permita asociar lo que observa con una respuesta de vuelo, en este caso, señales de control. Para este propósito, se utilizan las imágenes capturadas con una cámara a bordo del dron y son asociadas a comandos de control.

El tercer artículo: **“Implementación de un clúster de drones para la prevención de incendios forestales”**, de Alberto Ochoa Zezzatti y sus colaboradores, describe una aplicación con relevancia social. Los incendios forestales son un suceso con un gran impacto negativo que desafortunadamente ocurren de manera frecuente. Ya sea que son provocados por descuidos humanos o por condiciones climáticas adversas como las altas temperaturas o tormentas eléctricas, estos incendios pueden salirse de control si no son atendidos a tiempo, y por supuesto, no hay mejor atención que la prevención. Por ello, utilizar una flotilla de drones es una idea atractiva que puede permitir un monitoreo rápido de regiones propensas a los incendios, al mismo tiempo que también se puede alcanzar una mayor cobertura de exploración gracias al uso de múltiples vehículos aéreos. Para realizar ello, el autor discute los elementos principales a considerar para permitir el despliegue y organización de varios drones que deberán coordinarse para realizar la tarea de monitoreo y detección temprana del siniestro.

Una mención especial es para la columna dedicada a la memoria de la Dra. Angélica Muñoz Meléndez, primera editora en jefe de *Komputer Sapiens*. Ella inició y dirigió la revista, durante el periodo 2008-2011, con una clara visión de las necesidades de sus lectores. Esta columna tributa a su gran labor a la Inteligencia Artificial y nos permite expresar nuestra profunda tristeza por su fallecimiento.

Finalmente, a nombre de todo el comité editorial, esperamos que esta segunda edición especial sobre robótica aérea haya resultado nuevamente interesante para todos aquellos involucrados con los drones o que desean incursionar en esta área tan fascinante.*

Dra. Angélica Muñoz Meléndez (1969-2019)***Dra. Angélica Muñoz Meléndez**

Con profundo pesar y dolor nos enteramos el pasado 11 de julio del fallecimiento de la Dra. Angélica Muñoz Meléndez, investigadora de la Coordinación de Ciencias Computacionales del INAOE y quien fuera una de las figuras más destacadas de la robótica en nuestro país.

Oaxaqueña de nacimiento, desde pequeña vivió en Xalapa, Veracruz, ciudad a la que se mudó con su familia cuando cursaba la primaria. Fue una gran lectora de literatura en general y en particular de ciencia ficción, de autores como Asimov y Bradbury y de las compilaciones de los premios Nébulas y Hugo. También le gustaba el teatro, lo que la hizo participar en talleres teatrales desde la secundaria hasta la universidad. Amaba viajar y uno de sus grandes pasatiempos fue la gastronomía.

La Dra. Angélica Muñoz estudió la licenciatura en la Facultad de Informática de la Universidad Veracruzana (UV), casa de estudios en donde también realizó la

maestría en Inteligencia Artificial, de la cual se graduó con honores. Asimismo, obtuvo los títulos de maestría y doctorado en Inteligencia Artificial y Reconocimiento de Patrones en la Universidad Pierre et Marie Curie, París VI, en Francia, y realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de Nebraska en Omaha, Estados Unidos.

Fue profesora de la Facultad de Matemáticas e Informática de la UV, profesora-investigadora del Departamento de Electrónica y Computación de la Universidad Tecnológica de la Mixteca y profesora asistente en la Efrei en París y en la Universidad de Calais, Francia.

La Dra. Muñoz fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores; miembro honorario, presidenta y vicepresidenta de la Federación Mexicana de Robótica A. C., e integrante de la Mesa Directiva de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial A. C., y de la Sociedad Mexicana de Ciencia de la Computación A. C.

Publicó numerosos artículos de investigación en revistas internacionales, impartió diversos cursos de posgrado y dirigió varias tesis.

Fue una de las fundadoras del Laboratorio de Robótica del INAOE y se destacó por su trabajo en las áreas de robótica móvil, inteligencia artificial distribuida y computación ubicua. Su mayor interés giraba en torno a la inteligencia colectiva, y trabajó en el diseño y la programación de mecanismos que posibilitaran que las computadoras y los robots interactuaran entre ellos y con el mundo que los rodea para lograr objetivos comunes.

Junto con otros colegas, en 2004 creó el Torneo Mexicano de Robots Limpiadores, que actualmente forma parte del Torneo Mexicano de Robótica.

Convencida de hacer llegar la ciencia a un mayor número de personas, la Dra. Muñoz fue una entusiasta de las actividades de divulgación de la ciencia, ya fuera a través de la impartición de talleres para niños y adolescentes y visitas a laboratorios, o con entrevistas en medios de comunicación.

Angélica Muñoz siempre estuvo preocupada por los problemas sociales que aquejan a nuestro país y trató de hacer llegar a los grupos vulnerables algunos de los beneficios de la robótica. Muestra de ello fue el proyecto denominado "Juguetes y tangibles educativos para el aprendizaje y revaloración de las lenguas indígenas mexicanas", desarrollado en colaboración con el Dr. Aurelio López López y con investigadores del Laboratorio de Lengua y Cultura Víctor Franco del Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS). Estos juguetes y tangibles incorporan computación, robótica y tecnologías del lenguaje con el objetivo

*Esta nota fue tomada del portal de INAOE, <https://www.inaoep.mx/noticias/?noticia=684&anio=2019>.

de reforzar el trabajo con niños de comunidades indígenas del país en materia de lengua y cultura.

Estos son los primeros juguetes que hicimos para niños indígenas, no tienen nada que ver con los juguetes importados, están concebidos desde cero para niños mexicanos, vestidos como ellos. Es un trabajo de concepción y de síntesis para que un niño indígena pueda tener un juguete a su medida. Y, además del aprendizaje, nos interesa la parte de revalorización. En el mercado no hay nada para esos niños, no hay nada que les haga ver que

su lengua es importante, no hay un juguete que los represente a ellos o a su cultura. Eso queremos transmitir, que el niño vea que hay interés en que hable su lengua. Es una parte no tan visible pero importante para nosotros", dijo en una entrevista en 2017.

Su muerte representa una gran pérdida para nuestra institución y para el país. Nos harán falta su ciencia, su integridad profesional y ética, su profesionalismo y su gran calidad humana.



La Dra. Angélica Muñoz con una muñeca-robot que habla náhuatl, diseñada para niños de comunidades indígenas. Foto: archivo INAOE.

e-Tlakuilo: Cartas de nuestros lectores

Ocotlán Díaz-Parra y Jorge A. Ruiz-Vanoye

etlakuilo@komputersapiens.org

En *Komputer Sapiens* nos hemos esforzado por estar “a sólo un click de distancia” a través de diferentes medios como Facebook, Twitter y correo electrónico. Les presentamos algunas de las preguntas que hemos recibido a través de estos medios.

**Alejandro Fuentes – Profesor de Universidad.
(vía correo electrónico)**

Tengo una pregunta: ¿Ha existido falta de equidad de género hacia las mujeres de parte de algún sistema de Inteligencia Artificial creado a la fecha?

Hola Alejandro, gracias por escribir, para responder a tu pregunta te contaremos sobre un caso que ocurrió con un sistema de IA de apoyo al reclutamiento de personal.

En 2014 la empresa Amazon.com Inc. desarrolló un programa informático basado en aprendizaje máquina para revisar los currículos (hojas de vida) de los solicitantes de empleo con la finalidad de mecanizar la búsqueda de talentos.

Los modelos de Inteligencia Artificial de Amazon fueron entrenados para examinar a los solicitantes mediante patrones en hojas de vida presentadas a la empresa du-

rante 10 años (la mayoría hombres). La herramienta de contratación experimental de la compañía asignaba puntuaciones de una a cinco estrellas. Pero los candidatos masculinos eran preferibles por la herramienta y las hojas de vida de las mujeres desechados.

Motivo por el cual, la empresa de Seattle disolvió el equipo de desarrollo, y aunque los reclutadores de Amazon no confiaban únicamente en la herramienta para la selección de personal, Amazon comentó que la herramienta nunca fue utilizada por los reclutadores de Amazon para evaluar a los candidatos.

Aunque diversos empleadores han soñado con aprovechar la tecnología para ampliar la red de contratación y reducir la dependencia de opiniones subjetivas, aún hay mucho trabajo que hacer. Según Nihar Shah (Universidad de Carnegie Mellon), es necesario garantizar que el algoritmo de aprendizaje máquina sea justo para asegurarse que sus resultados sean interpretables y explicables.

Actualmente diversas compañías analizan (usando Inteligencia Artificial) las expresiones faciales y el discurso de los candidatos (en videos de entrevistas) para reducir la dependencia de las hojas de vida.



Estado del IArte

María del Pilar Gómez Gil (@pgomezgil) y Jorge Rafael Gutiérrez Pulido (@jrgpulido)
estadoiarte@komputersapiens.org

Como hemos mencionado en entregas anteriores de nuestra columna, los robots presentan diversidad de aplicaciones en diferentes ámbitos. Por ejemplo, la robótica aérea autónoma permite agregar nuevos escenarios y aplicaciones a los ya existentes y se presentan nuevos retos. Sin embargo, se construye sobre otros escenarios que ya han sido resueltos. En 2011, la agencia estadounidense DARPA mandó construir un pequeño robot parecido al colibrí, que resultó ser mucho más pesado que uno real, con poca maniobrabilidad y muchísimo más lento. Además no era autónomo: una persona tenía que operarlo a control remoto.

En La Universidad Purdue, que está celebrando su 150 aniversario, un equipo de investigadores ha creado robots que se comportan como colibríes. Estos han sido entrenados usando algoritmos de aprendizaje artificial basados en varias técnicas que las aves usan a diario. La aerodinámica de los colibríes es completamente inestable. Por años, la comunidad científica ha tratado de comprender su procedimientos de vuelo con el fin de crear robots pequeños capaces de volar en espacios reducidos; incluso, realizar algunas de las maniobras más difíciles que estos realizan, como cambios de dirección y velocidad, entre otras.

Por meses, un equipo liderado por Xinyan Deng, profesor asociado de ingeniería mecánica de Purdue, documentó las maniobras del colibrí, que fueron traducidas en algoritmos para que un robot las aprendiera. Uno de los retos más importantes que enfrentaron fue la alta frecuencia de aleteo. Para ellos fueron creadas alas especiales de fibra de carbón, usando impresoras 3D. Este robot, llamado “Flappy”, pesa 12 gramos, levanta hasta 27 gramos y puede volar de manera estable y silenciosa, incluso a través de turbulencias. El peso promedio de un colibrí adulto varía entre 1.5 a 6 gramos. Por el momento, Flappy no incluye visión, sino otros mecanismos que le permiten sensor el medio que navega.

Algunos robots aéreos (drones) pueden cambiar su estructura de acuerdo a las necesidades del medio am-

biente donde transitan. Por ejemplo, recientemente investigadores de la Universidad de California en Berkeley presentaron en el congreso ICRA (Congreso Internacional de Robótica y Automatización) de Montreal un dron equipado con resortes que puede tomar diferentes formas y reducir su tamaño hasta 50 % en menos de medio segundo! Los resortes se mantienen constantemente en tensión sobre los brazos del dron, que tienen bisagras. Cuando el dron está en reposo los brazos están encogidos, pero cuando arranca éstos se extienden. Con una calibración exacta se consigue contraerlos cuando se necesita. Sin embargo, esto debe programarse previamente. La razón para hacer un dron capaz de encoger sus brazos en lugar de hacer un dron más pequeño es porque los drones grandes son más estables y pueden cargar objetos más pesados.

Otro tipo de dron capaz de cambiar su tamaño es el desarrollado por la Universidad de Zurich y la EPFL (Escuela Politécnica Federal de Laussana, Suiza). Este dron tiene un servo-motor en cada brazo, siendo estos motores independientes entre sí. Los brazos pueden estar totalmente doblados, estirados o parcialmente doblados. La dinámica para mantener control en un dron que cambia su forma dinámicamente es más bien compleja. Actualmente, el dron no decide por sí mismo cuándo doblarse, sino que es programado (pero continúan trabajando para realizar esa parte).*

Para mayor detalle puede consultar (en inglés):

- <https://github.com/purdue-biorobotics/flappy>.
- <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/drones/foldable-drone-changes-its-shape-in-mid-air>.
- <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/drones/spring-loaded-drone-collapses-midflight-to-zip-through-windows>.

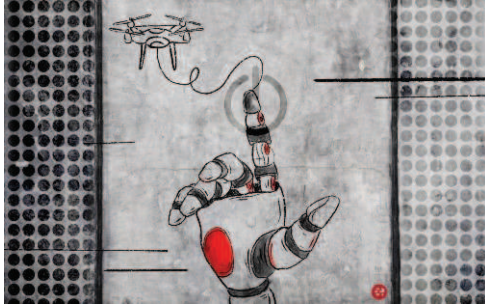


Dron de la Universidad de California, Berkeley. Imagen obtenida en: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/drones/spring-loaded-drone-collapses-midflight-to-zip-through-windows>.

Sakbe

Claudia Guadalupe Gómez Santillán y Laura Cruz Reyes

sakbe@komputersapiens.org



A través del tiempo, los robots se han insertado en nuestra vida diaria en diferentes ámbitos de nuestra cultura y sociedad. Se han incorporado en el sector industrial, la medicina, el desarrollo aéreo-espacial, la educación, el campo militar, el sector agrícola, y en actividades de vigilancia y seguridad; por citar unos pocos ejemplos. Así, observamos que la implantación de los robots está avanzando rápidamente en todas las dimensiones de la sociedad, especialmente en Estados Unidos, China, Japón, Corea del Sur y Alemania.

<https://a21.com.mx/el-nido-del-aguila/2018/03/26/drones-y-robotica>

Recordemos que la robótica se define como una “ciencia que aglutina varias ramas tecnológicas con el fin de diseñar máquinas que sean capaces de realizar tareas automatizadas y de simular el comportamiento humano o animal en función de la capacidad de su software” (<http://revistaderobots.com/robots-y-robotica/que-es-la-robotica/>). Hablando específicamente de la robótica aérea autómata, es importante remarcar que esta es guiada por la inteligencia artificial, ya que simula el comportamiento inteligente a través de la toma de decisiones ante distintos escenarios.

Sergio Moriello escribe un artículo acerca de cómo se está aplicando la robótica avanzada en diversos campos de la investigación (https://www.tendencias21.net/Los-Robots-Inteligentes-Autonomos-son-la-nueva-generacion_a744.html). En su artículo, se concluye que “el fundamento de estas investigaciones es la Ciencia Cognitiva Corporizada y la Nueva Inteligencia Artificial y su finalidad: alumbrar robots inteligentes y autónomos que razonan, se comportan, evolucionan y actúan como las personas”.

Un aspecto importante que se está trabajando al hablar de la robótica autónoma, ya sea aérea o no, es la creación de leyes para encarar un fenómeno operacional que implica la ausencia de pilotaje remoto (sustituido por operación autónoma). Este desafío puede lograrse a través de programación algorítmica, habilitando al robot con la capacidad de flujo de elección de acuerdo a las variables que se presenten en el entorno (<https://a21.com.mx/el-nido-del-aguila/2018/03/26/drones-y-robotica>).

Además, en México, desde el 2008 se trabaja en el Torneo Mexicano de Robótica (TMR / https://www.femexrobotica.org/tmr2019/acerca_de/) el cual es organizado anualmente por la Federación Mexicana de Robótica A.C. (FMR / <https://femexrobotica.org/>) en colaboración con algunas de las más importantes instituciones educativas del país; el evento incluye: el *Concurso Latino Americano de Robótica*, el *Abierto Mexicano de RoboCup* (junior y mayores) y el *Torneo Mexicano de Robots Limpiadores*. También organizan la *Escuela de Invierno o Primavera de Robótica*, dirigida a todos los interesados.

Un ejemplo importante donde se está aplicando la robótica aérea autómata es en la agricultura (<http://revistaderobots.com/robots-y-robotica/ingenieria-robotica-agricola-4-0/>), donde los drones principalmente obtienen información de las cosechas y del ambiente, ya sea tomando imágenes por medio de cámaras o controlando el estado de humedad (detectando si es necesario aumentar la irrigación, o identificando la presencia de fugas de agua en el circuito). También puede detectarse la proliferación de malas hierbas, medir la concentración de gases, identificar conatos de incendio y tomar la temperatura ambiente en diferentes localizaciones de la plantación. Los drones cobran cada vez más importancia en el campo agrícola, y no es lejano el día en el que este tipo de tecnología sea tan inherente a estas actividades que sea considerada parte de las herramientas básicas para el desarrollo de la agricultura y ganadería.

ARTÍCULO ACEPTADO

Enseñando a volar a un dron

Erick Rodríguez Hernández y Juan Irving Vásquez-Gómez

Los drones en la actualidad

Hoy en día, la mayoría de los drones (formalmente conocidos como vehículos aéreos no tripulados) son controlados de manera remota haciendo uso de tecnología inalámbrica a través de un control remoto, con un teléfono celular o una tablet, ver Figura 1. De esta forma el dron depende siempre de un usuario que esté dándole instrucciones de qué tiene que hacer y éste actúa en consecuencia. Sin embargo, existen tareas en las que no siempre es posible tener un operador humano. Por ejemplo, un dron que explora una caverna podría perder la conexión inalámbrica.



Figura 1. Control de un dron a través de una app instalada en un dispositivo iOS.

En este artículo se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las técnicas más recientes para que un dron vuele por sí mismo y que tome decisiones adecuadas para cumplir con una tarea? Para responder a la pregunta hay que considerar que en la mayoría de los casos el vehículo no tiene conocimiento completo del ambiente que le rodea, por lo tanto depende de la información provista por los sensores de abordo. Parte de esta información es utilizada para estabilizar la posición del dron. Sin embargo, la información visual, proveniente de la cámara, usualmente es enviada a la estación de control sin ser usada directamente en la toma de decisiones.

Actualmente, los drones tienen un sistema de estimación y control que le permite tener un vuelo estable. Por un lado, la estimación utiliza la información proveniente de la unidad de medición inercial (IMU) y el sistema de posicionamiento global (GPS) para estimar su posición y orientación usualmente mediante un filtro de Kalman [1]. Por el otro lado, el control permite estabilizar el vehículo mediante la asignación de fuerzas a los motores [2]. El Sistema de estimación-control le permite sobrevolar un

punto en particular y mantenerse suspendido. Sin embargo, incluso con sistemas modernos de localización visual [3], el vehículo requiere de acciones de alto nivel como la dirección a la que se tiene que dirigir para completar la tarea.

Teniendo en consideración lo anterior, se revisará qué herramientas hoy en día tenemos a nuestro alcance para poder hacer que un dron sea autónomo. En particular, un tema que está siendo comentado en todo el mundo y que está revolucionando los sistemas automáticos es la Inteligencia Artificial basada en aprendizaje, lo que hace deseable tener un dron que pudiera aprender de forma automática lo que tiene que hacer para poder llevar a cabo una tarea. Partiendo de esta idea, se revisarán sistemas de Inteligencia Artificial que permitan a un dron equipado con una cámara la toma de decisiones en vuelo para que pueda cumplir con dicha tarea. Para ello, este dron tendría que ser previamente entrenado para que pueda aprender de manera automática. A continuación, se adentrará un poco a conocer algunos conceptos clave que permitirán entender de una manera sencilla cómo es que se podrá hacer que un dron pueda realizar una tarea a partir de la enseñanza y aprendizaje.

El aprendizaje máquina

Dentro de la disciplina de Inteligencia Artificial existe una subárea conocida como Aprendizaje Máquina, la cual es más comúnmente encontrada en la literatura como *Machine Learning*. Los sistemas de inteligencia artificial necesitan la capacidad de adquirir su conocimiento relevante, mediante la extracción de patrones a partir de datos en bruto. Esta capacidad se conoce como Aprendizaje Automático o *Machine Learning* [4]. Es decir, es una área que se encarga de desarrollar algoritmos capaces de generalizar comportamientos a partir de una base de datos, también conocida como dataset. Cuando la base de datos contiene ejemplos tanto de la situación (estado o regresor) como de la acción (clase o regresando) que corresponde a dicha situación, entonces se dice que se hace un aprendizaje supervisado. Si no se cuenta con la acción que corresponde al estado, entonces se le llama aprendizaje no supervisado.

En el aprendizaje máquina existen diferentes técnicas de aprendizaje, tales como:

1. **Algoritmos de agrupamiento:** es la clasificación de muestras en subgrupos, de tal forma que las muestras en cada grupo se parecen entre sí acorde a una métrica.

2. **Árboles de decisión:** usa un árbol de decisión como modelo predictivo.
3. **Máquinas de soporte vectorial:** es una serie de métodos de aprendizaje supervisado, usado generalmente para clasificación y regresión, que ayudan a predecir si un nuevo ejemplo o muestra pertenece a una categoría.
4. *Reglas de asociación:* procuran descubrir relaciones interesantes entre variables.
5. **Redes neuronales artificiales:** son un paradigma de aprendizaje automático inspirado en las neuronas de los sistemas nerviosos de los seres vivos. Se trata de un sistema de enlaces de neuronas que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida. Las conexiones tienen pesos numéricos que se adaptan según la experiencia. De esta manera, las redes neurales se adaptan a un impulso y son

capaces de aprender. La importancia de las redes neurales volvió a surgir a finales de la década del año 2000 con la llegada del aprendizaje profundo o *Deep Learning*.

6. **Redes bayesianas:** es un modelo probabilístico que representa una serie de variables de azar y sus independencias condicionales a través de un grafo acíclico dirigido.

De las técnicas previamente mencionadas se hará uso de las redes neuronales artificiales, adentrándonos en el aprendizaje profundo. Una neurona artificial, también conocida como perceptrón simple (ver Figura 2), recibe como entrada un conjunto de valores, $X = x_1, x_2, \dots, x_n$, y realiza una combinación lineal dados un conjunto de pesos y un sesgo de acuerdo la siguiente ecuación:

$$h = \sum_i w_i x_i + b$$

El aprendizaje automático es la capacidad de los sistemas de inteligencia artificial de adquirir conocimiento relevante mediante la extracción de patrones a partir de datos en bruto.

Después la combinación lineal, h , se pasa por una función de activación que tiene por objetivo ocultar o mostrar el resultado de la combinación lineal. Por ejemplo, una función de activación muy utilizada es la ReLU:

$$f(h) = \max(0, h)$$

Dado el modelo de una neurona artificial, se pueden realizar estructuras más complejas a través de interconectarlas en capas. Una vez definida la estructura de una red, el aprendizaje consiste en encontrar los pesos y sesgos que den la salida esperada.

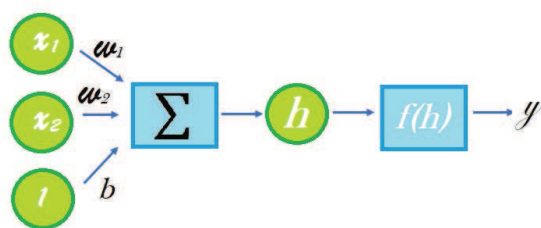


Figura 2. Diagrama de una neurona artificial.

Aprendizaje profundo

El aprendizaje profundo es un tipo específico de aprendizaje máquina. A diferencia de otros algoritmos de aprendizaje, los algoritmos basados en aprendizaje profundo tienen la característica de construir estructuras conceptuales jerárquicas; por ejemplo, para reconocer una persona el algoritmo aprende a reconocer conceptos básicos

como bordes o diferencias de colores, a partir de ellos se crean nuevos conceptos como círculos o curvas, de tal forma que en capas superiores se aprenden conceptos como ojos o rostros [4].

Otra diferencia del aprendizaje profundo es que tiene la capacidad de identificar las características importantes para obtener la salida correcta. Figura 3b. En contraste con el aprendizaje clásico, donde se establecen de forma manual las características deseables y se agrega una etapa de clasificación. Figura 3a. Aunque no hay una medida establecida para saber cuándo una red es profunda, usualmente arquitecturas propuestas utilizan al menos dos capas para la extracción de características mediante convoluciones, seguidas de al menos tres capas completamente conectadas para la etapa de clasificación o regresión.



Figura 3. Modelo de Aprendizaje Máquina Clásico vs Modelo de Aprendizaje Profundo.

Hagamos que el dron aprenda a volar por imitación

Ahora que conocemos que podemos desarrollar algoritmos que nos pueden permitir entrenar a un dron para que vuele de manera autónoma a través de ejemplos, revisaremos técnicas relacionadas y analizaremos los datos que utilizan para aprender, así como las estructuras en las redes neuronales que utilizan. Figura 4.



Figura 4. Piloto volando un dron para poder generar el conjunto de datos.

Haitham Baomar y Peter J. Bentley del Departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad de Londres [5] propusieron la creación de un Sistema Autopiloto Inteligente que pueda aprender las habilidades de pilotaje de los pilotos expertos a través de imitación. Para poder llevar a cabo su proyecto fue necesaria la recolección de un gran conjunto de datos, por lo que hicieron uso de simuladores en los cuales los pilotos expertos eran puestos a prueba ante distintas condiciones de vuelo, incluso situaciones de emergencia en los que un Sistema Autopiloto convencional pudiera fallar, como son los casos de fuertes turbulencias o condiciones climáticas adversas. Figura 5.



Figura 5. Diagrama a bloques que ilustra la extracción de datos del trabajo de Baomar y Bentley [5].

Otro proyecto muy interesante que también usa el aprendizaje por imitación es el realizado por Dong Ki Kim y Tsuhan Chen de la Universidad de Cornell, en Nueva York [6], en la que enseñan a un dron a volar en interiores, debido a que se presenta un gran reto el vuelo al no poder hacer uso del GPS para poder localizarse en un ambiente cerrado. Además que el dron deberá de tomar decisiones para poder navegar en pasillos y habitaciones. Figura 6. Podemos observar que para generar el conjunto de datos con el que se entrena una Red Neuronal Artificial es necesario generar una asociación de la imagen que está observando el dron en un instante de tiempo con el estado futuro próximo de la señal de comando enviada por el piloto experto, de esta manera al tener un gran conjunto de datos podremos generalizar un patrón de vuelo por parte del dron.



Figura 6. Ejemplos del conjunto de datos usado por Ki Kim y Chen, donde se muestra el comando de vuelo correspondiente a la imagen mostrada [6].

Existen trabajos en los que se hace uso de conjuntos de datos que tal vez no tienen relación previa con el trabajo en drones, sin embargo pueden ser útiles al momento de enseñarle a un dron cómo debe de comportarse bajo ciertos ambientes. Un ejemplo de esto es el presentado en el trabajo denominado DroNet por Antonio Loquercio y Davide Scaramuzza del Departamento de Informática de la Universidad de Zurich [7], en el que hicieron uso de un conjunto de datos que en inicio estaba destinado para que un automóvil de tipo autónomo pudiera transitar en la ciudad. Realizando una adaptación y aumento de datos, lograron hacer que un dron pudiera presentar el mismo comportamiento que un automóvil y así poder transitar en la ciudad.

La salida de la Arquitectura de Red Neuronal mostrada en la Figura 7 determina el ángulo que tiene que girar el dron para poder transitar en la calle dentro de un carril, además la salida de la red determina la probabilidad de que pudiera chocar con algún otro objeto que se presente, haciendo así que el dron tenga un modelo proactivo y pudiera frenar ante alguna situación de peligro en la que pudiera colisionar con algún vehículo o peatón.

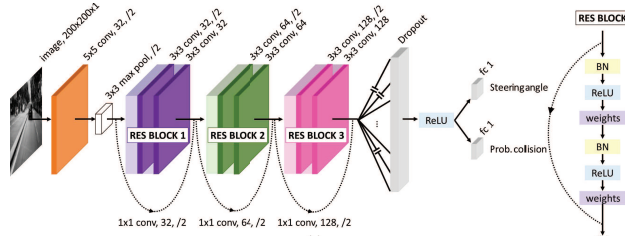


Figura 7. Arquitectura de la Red Neuronal utilizada en el trabajo DroNet [7].

La arquitectura tiene como entrada una imagen proveniente de la cámara del dron, posteriormente se muestran diferentes capas. En cada una de ellas se realizan operaciones de tal forma que se puedan extraer características que generen un patrón de asociación de la imagen con los valores anteriormente mencionados, que es el ángulo de giro y la probabilidad de colisión.

En algunos casos es muy difícil aprender la tarea completa, dado que se requiere gran capacidad de cómputo. Para esos casos se puede hacer uso de modelos previamente entrenados y hacer una aumentación de datos para poder solucionar una tarea en particular a partir de la red entrenada con otros propósitos. A lo anterior se le conoce como transferencia de conocimiento. Por ejemplo, se pueden reutilizar redes como YOLO [8] para hacer detección de los objetos en la escena y aprovechar esta información para determinar la acción del dron.

Conclusiones

En este artículo se dan a conocer algunas de las herramientas que hoy en día están teniendo más auge alrededor del mundo para poder desarrollar sistemas inteligentes, en los que a través de un conjunto de datos podemos realizar el procesamiento necesario para que las máquinas puedan aprender y generalizar una acción a través de su entrenamiento, de tal forma que puedan adaptarse para poder cumplir con una tarea en particular.

SOBRE LOS AUTORES



Erick Rodríguez Hernández es un estudiante de maestría en el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, en la Ciudad de México. Obtuvo su grado de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica en la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA) del IPN en 2012. Sus intereses de investigación incluyen robótica, Deep Learning, control, diseño mecánico y optimización.



Juan Irving Vásquez Gómez recibió los grados de maestría y doctorado del Instituto Nacional de Óptica y Electrónica de Astrofísica (INAOE), México, en 2009 y 2014, respectivamente. Obtuvo su Licenciatura en Ciencias de la Computación por el Instituto de Tecnología de Tehuacán, México, en 2006. Desde febrero de 2016, es Investigador del CONACYT asignado al Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México. Sus intereses de investigación incluyen visión computacional, robótica, planificación de vistas y sus aplicaciones a la reconstrucción tridimensional, inspección de estructuras y sistemas autónomos.

La gran ventaja de que un sistema aprenda por imitación es que pueda afrontar situaciones de emergencia, tal es el caso en condiciones severas de clima o fallas en el sistema, en las que los pilotos son entrenados para maniobrar ante estos problemas.

Cada vez más vemos una mayor cantidad de sistemas inteligentes que aprenden una tarea a través del ejemplo. No sólo se trata de los drones, sino que en un futuro cercano será común encontrar máquinas que hagan tareas para las cuales fueron entrenadas y todo gracias al creciente desarrollo de sistemas que permiten procesar mayor cantidad de datos en un menor tiempo. Además que la gran cantidad de datos que está disponible para el entrenamiento está permitiendo que sea esto posible, de esta forma el aprendizaje automático es la herramienta por la que las empresas están mostrando un gran interés.

*

REFERENCIAS

1. Thrun, S., Burgard, W., y Fox, D. (2005). Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents). *The MIT Press*.
2. Quan, Q. (2017). Introduction to multicopter design and control. *Springer*.
3. Martinez-Carranza, J., Calway, A., y Mayol-Cuevas, W. (2013). Enhancing 6D visual relocalisation with depth cameras. En *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on*, 899-906.
4. Goodfellow, I., Bengio, Y., y Courville, A. (2016). Deep Learning. *MIT Press*.
5. Baomar, H., y Bentley, P. (2016). An Intelligent Autopilot System that learns flight emergency procedures by imitating human pilots. *Computational Intelligence (SSCI) 2016 IEEE Symposium Series on*, 1-9.
6. Kim, D.K., y Chen, T. (2015). Deep Neural Network for Real-Time Autonomous Indoor Navigation. *CoRR*.
7. Loquercio, A., Maqueda, A.I., del-Blanco, C.R., y Scaramuzza, D. (2018). DroNet: Learning to Fly by Driving. En *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(2), 1088-1095.
8. Redmon, J. (2015). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *CoRR*.

ARTÍCULO ACEPTADO

Vuelo autónomo usando visión artificial

Erik Ramos-Pérez, Misael Ramírez López, Moisés Ramírez-Guzmán y Omar Cruz-Ortega

Resumen

El presente trabajo presenta una técnica para llevar a cabo vuelos autónomos para resolver un reto del Torneo Mexicano de Robótica del 2018. La técnica consiste en usar Visión Artificial, en particular, la técnica de segmentación por color para obtener el área y contorno de los objetos que el dron debe identificar y seguir. La principal ventaja de usar este método es que no requiere cómputo de alto rendimiento. Aplicando esta técnica en ambientes cerrados, se obtuvieron un 90 % de misiones completadas correctamente.

Introducción

Desde que se utilizó por primera vez la palabra robot en 1920, en la obra de teatro R.U.R (Rossum's Universal Robots - Los Robots Universales de Rossum) del checo Karel Čapek [5] a la fecha, ha habido grandes avances en la robótica en diversas áreas. Los campos de aplicación son vastos, desde aplicaciones militares, medicina o en casas inteligentes, exploración espacial a través de la navegación autónoma usando vehículos no tripulados, o educación por citar algunas de las diversas áreas en donde ha tenido un fuerte impacto [7].

Este trabajo se centra el tema de navegación de vehículos aéreos no tripulados mejor conocidos como drones (ver Figura 1). En últimos años, la navegación autónoma ha tenido gran desarrollo y aplicaciones. La empresa Amazon mediante **Prime Air** realizó pruebas de entrega de paquetes de hasta 2.2 kg de peso en 30 minutos o menos en Reino Unido *. La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency) ha utilizado drones para transportar material médico de emergencia a

zonas aisladas **. En Australia se utilizó un dron para rescatar a dos adolescentes ***.



Figura 1. Dron Bebop 1 usado en las pruebas y en el TMR.

La Federación Mexicana de Robótica (FMR) organiza desde 2008 el Torneo Mexicano de Robótica (TMR), a partir del 2017 se incorporó la categoría de drones autónomos. En este trabajo se explica cómo se resuelve el reto de seguir a una persona sin chocar con ella. Para facilitar el reto, la persona puede tener una marca en sus manos, como puede ser una caja de algún color distintivo.

El contenido del artículo es el siguiente: en el apartado de Trabajo relacionado se presentan trabajos involucran el uso de drones en diversas aplicaciones. En la sección de Visión artificial se explica el proceso desde que se toma una imagen por parte del dron hasta las acciones realizadas por el mismo. En la sección de Metodología se explica paso a paso las acciones o tareas que se realizan durante todo el proceso. En la sección de Pruebas y Resultados se muestra el desempeño de los vuelos ejecutados en ambientes abiertos y cerrados. En la parte final, se presentan las Conclusiones.

Quien domine la Inteligencia Artificial y los drones será líder del mundo - Vladimir Putin

Trabajo relacionado

Las tareas realizadas por los drones mencionadas anteriormente, se llevan a cabo en ambientes exteriores ayudados por el GPS. Para llevar a cabo las tareas en ambientes interiores se requiere que el dron vuele de manera autónoma detectando y evitando obstáculos sin poder usar el GPS. Haciendo uso de sensores como la cámara

del dron, es posible utilizar algoritmos de visión por computadora e inteligencia artificial para lograr la navegación autónoma de manera eficiente.

En México, en el INAOE se realiza investigación sobre vuelos autónomos [1][2][4]. Actualmente, el uso de arquitecturas profundas (como son: Redes neuronales convolucionales, Redes de Boltzman restringidas y Auto-

* www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011

** <https://www.wired.com/2017/02/brilliant-drone-thatll-deliver-medicine-rot-away/>

*** <http://www.bbc.com/news/world-australia-42731112>

codificadores) es cada vez más común [3], estas técnicas son muy eficientes; sin embargo, necesitan cómputo de alto rendimiento para poder realizar los cálculos necesarios en tiempo real que no está al alcance de todos. Para efectos del reto a resolver, y con la posibilidad de poder marcar el objeto a seguir, se pueden usar técnicas menos sofisticadas, reduciendo así el cómputo necesario.

Visión artificial

Para poder resolver el reto, se utilizaron principios de Visión Artificial. La Figura 2 permite ilustrar este campo de conocimiento a partir de su relación con otros. Inicialmente, se muestra el Procesamiento Digital de Imágenes (PI) como un conjunto de técnicas que se aplica a imágenes digitales con el objetivo de resaltar o ignorar ciertas características para facilitar la búsqueda de información. La entrada y la salida pueden ser imágenes.

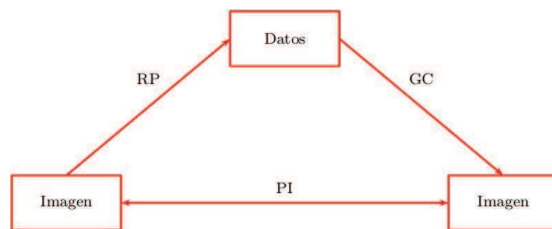


Figura 2. Concepto de Visión Artificial.

El Reconocimiento de Patrones (RP) permite extraer características de una imagen. La entrada es una imagen y la salida son datos. La Graficación por Computadora (GC) consiste en crear una imagen a partir de datos, normalmente ambientes virtuales. La entrada son datos y la salida es una imagen.

Como se aprecia en la Figura 3, la Visión Artificial busca obtener descriptores importantes en una imagen para realizar alguna tarea específica, la entrada es una imagen, pero la salida es un conjunto de descriptores o datos.



Figura 3. Proceso de Visión Artificial.

Usando técnicas de Visión Artificial, se puede resolver el reto antes mencionado, que consiste en seguir a una persona sin llegar a chocar con ella (ver Figura 4), hay algunas restricciones importantes. La persona sólo se podrá mover hacia sus lados o hacia atrás, y los pasos de la persona deben ser pequeños para que el dron no la pierda de vista.

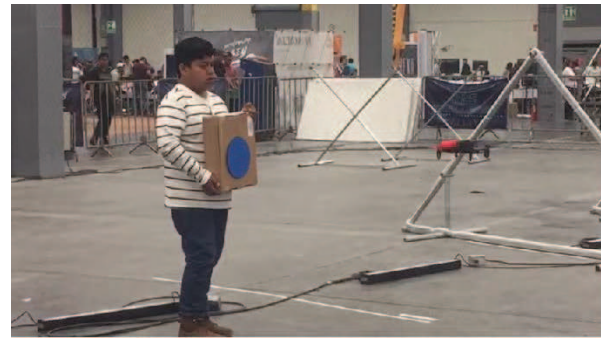


Figura 4. Reto de seguir a una persona.

Inicialmente, la persona estará de frente al dron y ahí comenzará a moverse. El área de movimiento del dron estará delimitado por una malla, que encierra un cuadro grande para proteger a los espectadores. Si en algún momento el dron choca con la malla o la persona, se anulará ese intento.

Segmentación de imágenes

Es un campo de la visión artificial que cambia la representación de una imagen en otra más útil para que sea más fácil de analizar.

Para este trabajo es importante la segmentación por color [6], esta técnica aísla los píxeles de algún color específico, logrando con esto ignorar los objetos de otro color.

En la Figura 5, se puede ver la interfaz de un programa realizado por los autores usando OpenCV y C++ que ayuda a segmentar una imagen por color. Se cuenta con 6 barras que comienzan en 0 y terminan en 255 cada una de ellas, las 2 primeras barras son para encontrar el límite inferior y superior del color rojo, las siguientes 2 barras son para el color verde y las últimas 2 barras son para el color azul. Al usar esta aplicación, es posible calcular los rangos de cada canal que permitirán detectar los objetos de cierto color en una imagen.

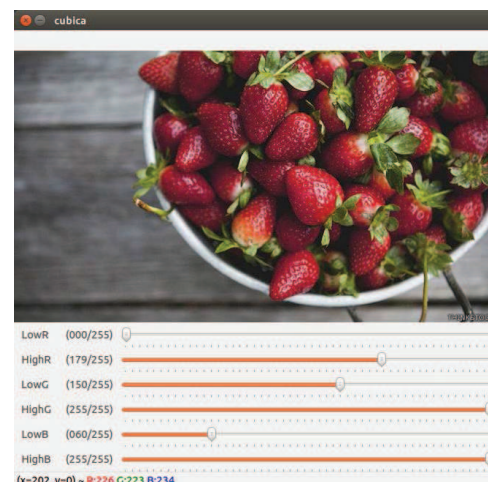


Figura 5. Programa que ayuda a segmentar por color.

En la Figura 6, se puede ver el resultado de segmentar una imagen por color verde. Al variar las barras, se determinan los valores 103 y 126, que corresponden a los límites inferior y superior para ese color.

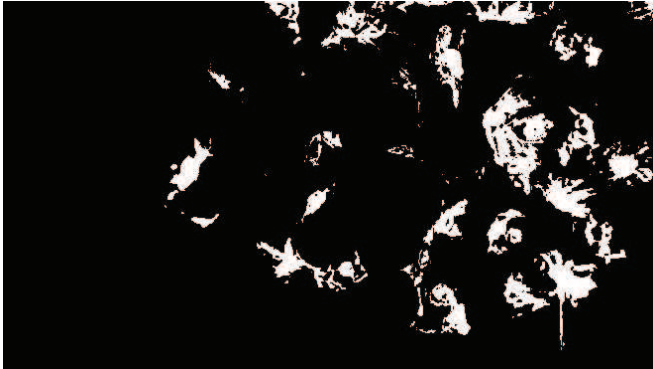


Figura 6. Segmentando por color verde.

En la Figura 7, se puede ver el resultado de segmentar una imagen por color rojo, en este caso, los límites son los valores 124 y 186.

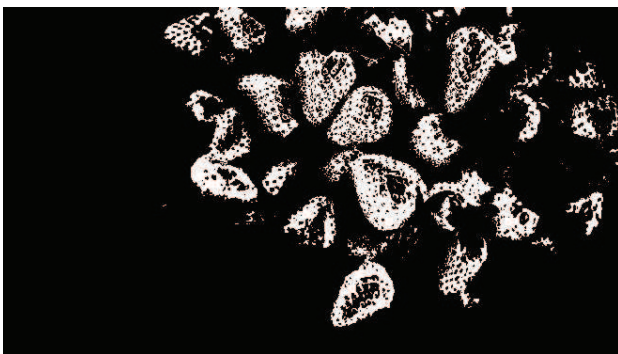


Figura 7. Segmentando por color rojo.

Como se aprecia en los ejemplos, la segmentación por color permite ubicar dentro de la imagen objetos de algún color determinado, para el caso del reto, se usó un objeto de color rojo, el cual tenía que seguir el dron.

Una vez detectados los objetos de color rojo dentro de la imagen, se genera una imagen binaria (blanco y negro), con el objetivo de reducir el procesamiento computacional.

Metodología

Para poder lograr el vuelo autónomo se deben seguir una serie de pasos, los cuales se irán describiendo en este apartado. Básicamente, el dron captura imágenes en tiempo real (ver Figura 8), pero deben ser procesadas una por una para que el dron pueda decidir si avanza hacia adelante, izquierda, derecha, arriba o abajo, evitando que choque con la persona que va siguiendo.

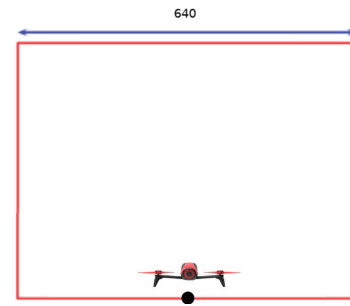


Figura 8. El dron siempre se coloca a la mitad de la imagen capturada.

Inicialmente, el dron se coloca en la posición que indican los jueces del reto, éste despegue a una altura determinada, teniendo vista directa hacia el objeto a seguir, y es en este punto donde inicia el reto.

El **primer paso** consiste en capturar una foto con la cámara del dron como se puede ver en la Figura 9, las imágenes capturadas tienen un tamaño de 640×368 .



Figura 9. Imagen capturada por el dron.

Una vez capturada la imagen, el **segundo paso** consiste en segmentar la imagen por color rojo, en la Figura 10a se puede ver la imagen capturada y en la Figura 10b se observa la imagen segmentada. El propósito de segmentar la imagen es eliminar todos los objetos que no sean rojos, y poder centrar el procesamiento en el objeto a seguir.

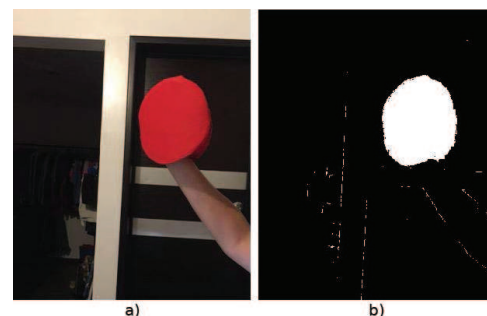


Figura 10. a) Imagen original b) imagen segmentada.

Con la imagen segmentada, ahora es necesario el **tercer paso**, que consiste en calcular los contornos de todos los objetos rojos que tenga la imagen (ver Figura 11a). Al obtener el contorno de los objetos segmentados (ver Figura 11b) se obtienen de la imagen dos características muy importantes para la navegación autónoma, el área del objeto y el centro del objeto, el cual es una coordenada x, y .

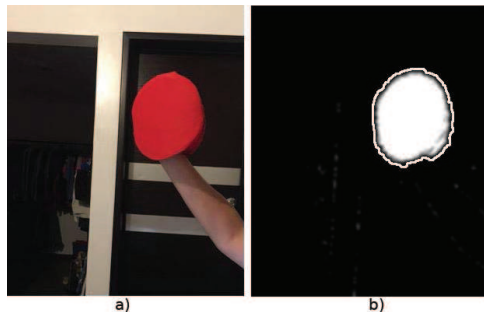


Figura 11. a) Imagen original b) detección del contorno y el centro del contorno.

Tomando como referencia el tamaño de la imagen de 640×368 generada por el dron Bebop I, se calcula el centro del contorno del objeto para poder decidir la dirección hacia donde se debe desplazar el dron.

En la Figura 12a se ve la imagen original, en la Figura 12b se ve la imagen segmentada y en la figura 12c se ve el objeto encerrado en un contorno.

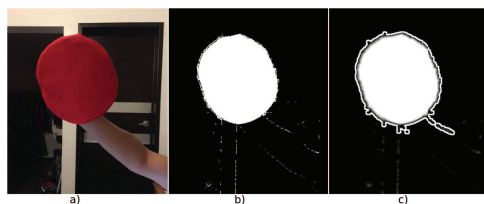


Figura 12. Segmentación por color rojo y detección de bordes.

Finalmente, es en el **cuarto paso**, en donde se hace realmente la navegación autónoma. Por el momento se tiene información importante del objeto, el área y la posición en x dentro de la imagen.

Lo primero que se tiene que hacer es colocar al dron enfrente del objeto, para lograrlo es importante conocer la coordenada x del objeto dentro de la imagen, y ese dato se obtiene al segmentar la imagen. Al tratar de ubicar al objeto enfrente del dron pueden ocurrir tres cosas:

- Que el objeto se encuentre enfrente del dron, por lo tanto ya no es necesario desplazar al dron en el eje horizontal.

- Que el objeto se encuentre a la derecha del dron (ver figura 13a), entonces es necesario desplazar al dron a la derecha.
- Que el objeto se encuentre a la izquierda del dron (ver figura 13b), por lo tanto es necesario desplazar al dron a la izquierda.

Una vez colocado al dron enfrente del objeto, ahora es necesario ir acercándolo, sin llegar a colisionar. Esta parte se logra con el área que se obtuvo al segmentar la imagen. Cuando el área del objeto va creciendo, significa que el dron se está acercando, y si el área llegará a disminuir, entonces el dron se estaría alejando. En las Figuras 13c y 13d se puede apreciar el incremento del área del objeto detectado al acercarse el dron, el cálculo del área también permite detener el avance del dron para no colisionar con el objeto.

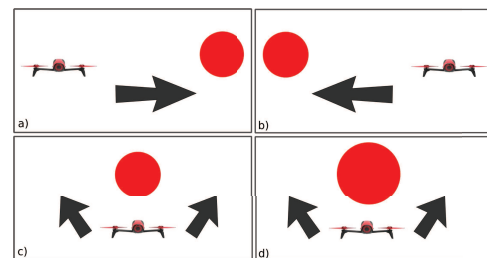


Figura 13. Movimientos que tiene que hacer el dron.

En la Figura 14 se muestra el diagrama de flujo de las acciones que tiene que seguir el dron dependiendo de la ubicación del objeto. Se toma como referencia que si el centro del objeto está en una coordenada menor a 310 en el eje de las X , se deberá mover a la derecha en un incremento determinado ($\text{dron.x} = \text{dron.x} + \text{incremento}$). Lo análogo ocurre pero en dirección opuesta si el centro está en un valor mayor a 330, en este caso deberá mover a la izquierda, haciendo un incremento negativo ($\text{dron.x} = \text{dron.x} - \text{incremento}$). Así mismo, para saber si es necesario acercar el dron, se toma en cuenta el área, si ésta es inferior a un valor límite determinado ($\text{objeto.area} < \text{límite}$) se deberá acercar el dron ($\text{dron.y} = \text{dron.y} + \text{incremento}$).

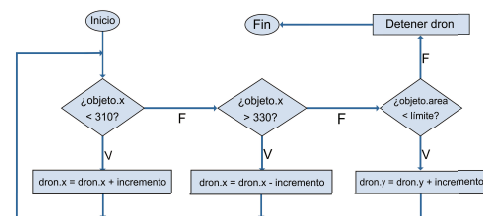


Figura 14. Diagrama de flujo de las acciones del dron.

El dron se detiene cuando está muy cerca del objeto. Durante el reto, la persona realiza movimientos siempre hacia la izquierda, derecha o atrás. Finalmente, cuando está cerca de la malla protectora el juez determina que el dron debe aterrizar.

Pruebas y Resultados

Las pruebas realizadas con un dron Bebop I y una computadora con 8 Gigabytes de memoria RAM y un procesador Intel®i7 de segunda generación se muestran en la Tabla 1. Se puede ver que el desempeño en ambientes abiertos es menor al desempeño en ambientes cerrados, esto se debe a que los algoritmos de segmentación son sensibles a la iluminación y en los ambientes abiertos los cambios de luz son muy comunes, y el viento en particular le afecta en gran medida a este tipo de drones. Cuando hay una ráfaga fuerte de viento, el objeto puede salir de la vista del dron y en este caso, el algoritmo puede perder el control.

En la Tabla 1 se puede notar que en ambientes cerrados se tiene un porcentaje alto de retos completados correctamente; es decir, retos en donde el dron logra acercarse a la persona sin colisionar con ella ni perderla de su campo de vista, y posteriormente, aterrizar enfrente de ella.

Se califica como reto no completado cuando el dron pierde de vista al objeto, esto puede ser debido a que hay otro objeto del mismo color y se confunda, logrando que el dron se aleje del objeto a seguir y nunca pueda volverlo a ver. En este caso, se aterriza de manera forzada y vuelve a empezar el reto.

Al contrario de los ambientes cerrados, la iluminación permanece constante y el efecto del viento es mínimo. Sin embargo, en estos entornos hay otros elementos que pueden afectar el rendimiento del algoritmo, como pueden ser otros objetos del mismo color que el que se está siguiendo pasen por el campo de visión del dron, y éste los confunda con el objetivo a seguir.

Para efectos del Torneo Mexicano de Robótica, el escenario de los drones es controlado y en ambiente cerrado, los algoritmos usados funcionaron correctamente. Sin embargo, cuando hay mucha gente y se presentan problemas de ruido generado por sus dispositivos móviles, esto puede afectar las comunicaciones entre el dron y la computadora que realiza el procesamiento.

Conclusiones

La visión artificial es muy importante para poder realizar vuelos autónomos, las aplicaciones pueden ser de diferentes ámbitos como son: comerciales, de vigilancia o militares, por citar algunas. El uso de segmentación por color, como una técnica de Visión Artificial permite hacer el seguimiento de objetos de un color determinado y fue aplicado durante el Torneo Mexicano de Robótica. Los resultados obtenidos fueron de aproximadamente 90 % de las misiones completadas correctamente en ambientes cerrados, que permiten condiciones más favorables que en ambientes abiertos. Además la técnica utilizada no requiere de cómputo de alto rendimiento como otras técnicas más modernas que podrían generar mejores resultados.

Como trabajo a futuro, se analizarán técnicas basadas en información adicional, como puede ser la localización que se puede extraer del objeto a seguir tanto en ambientes externos en condiciones cambiantes de iluminación, como en ambientes cerrados con algoritmos más sofisticados pero que requieren mayor capacidad de procesamiento.*

REFERENCIAS

1. Munguía R., Cabrera A., Rojas O. y Martínez J. (2016) "Combinación de un controlador PID y el sistema Vicon para microvehículos aéreos". *Research in Computing Science*. Vol. 114, pp. 161-172.
2. Martínez J., Valentín L., Márquez F., González C. y Loewen N. (2016) "Detección de obstáculos durante vuelo autónomo de drones utilizando SLAM monocular". *Research in Computing Science*. Vol. 114, pp. 111-124.
3. Dionisio S., Rojas O., Martínez J. y Cruz I. (2018) "A Deep Learning Approach Towards Autonomous Flight in Forest Environments". *En International Conference on Electronics, Communications and Computers*, pp. 139-144.
4. Márquez F. y Martínez J. (2016) "Visión Artificial y Sensores Vestibulares para Controlar Drones". *Komputer Sapiens*. Vol. 1, pp. 22-27.
5. Capek, K. (2004) "RUR: Robots Universales Rossum : obra en tres actos y un epílogo". Círculo de Lectores, ISBN 9788467208085, 96 p.
6. Gonzalez R. C., Woods R. E. (2007) "Digital Image Processing". Tercera edición, Pearson, ISBN 978-0131687288, 976 p.
7. Hassanalani M. y Abdelkefi A. (2017) "Classifications, applications, and design challenges of drones: A review". *Progress in Aerospace Sciences*. Vol. 91, pp. 99-131.

SOBRE LOS AUTORES



Erik G. Ramos-Pérez es Profesor-Investigador de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Obtuvo el grado académico de la maestría en Tecnologías de Cómputo Aplicado y la Ingeniería en Computación en la Universidad Tecnológica de la Mixteca en 2016 y 2001 respectivamente. Sus áreas de interés en investigación incluyen Aprendizaje Automático y Navegación Autónoma con drones.



Misael Ramírez López es un alumno de noveno semestre de la licenciatura en informática en la Universidad del Istmo, realizó sus prácticas profesionales en la Universidad Tecnológica de la Mixteca en el verano de 2018. Su principal interés de investigación es acerca de Navegación Autónoma con drones.



Moisés E. Ramírez-Guzmán es Profesor-Investigador en la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Obtuvo su grado de Maestría en Tecnologías de Cómputo Aplicado y el grado de Ingeniería en Computación en la Universidad Tecnológica de la Mixteca en 2018 y 2002, respectivamente. Sus intereses de investigación incluyen Aprendizaje Automático, Aplicaciones para entornos 3D y Cómputo de Alto Rendimiento.



Omar R. Cruz-Ortega es técnico del laboratorio de Robótica Inteligente en la Universidad Tecnológica de la Mixteca desde el 2010. Es Ingeniero en Computación por la Universidad Tecnológica de la Mixteca desde 2008 y actualmente está por cumplir con los requerimientos necesarios para obtener el grado de Maestro en Robótica en la misma universidad. Sus intereses de investigación incluyen desarrollo de Aplicaciones para entornos 3D, Procesamiento Digital de Imágenes, Robótica Autónoma y Aplicaciones orientadas a dispositivos móviles y embebidos.

“Nikola Tesla sacó a relucir en un estanque en Nueva York en 1898 algo que cambiaría el rumbo del mundo y que revolucionaría además el futuro del guiado de objetos: el radio control”



Nikola Tesla (1856-1943). Información recuperada de: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>

ARTÍCULO ACEPTADO

Implementación de un Clúster de drones para la prevención de incendios forestales

Alberto Ochoa Zezzatti, José Mejía, Juan Muñoz y Abraham López

Caso de estudio: Utilización de un mecanismo heurístico para la organización automática en enjambres de drones

Según Bala et al [1], la prevención de la deforestación y la promoción de la forestación se han citado a menudo como estrategias para frenar el calentamiento global. Las tecnologías actuales utilizadas para detectar incendios forestales son: estaciones meteorológicas e imágenes satelitales. Esta última es una gran opción, pero, desde el espacio, la detección de incendios tiene limitaciones para ser lo suficientemente grande como para ser vista desde la altitud orbital. Es por ello que se puede usar un dron para monitorear un bosque en busca de signos de incendio antes de que el satélite lo observe, pero un solo dron para cubrir una gran superficie de hectáreas no es óptimo. Se debe utilizar un enjambre de drones con capacidad de organización automática, equipado con sensores atmosféricos que detecten las condiciones de peligro de incendio o incluso un incendio en una etapa temprana, para optimizar la cobertura del área. Implementar un algoritmo heurístico para la organización automática del enjambre de drones aplicable para la detección y alerta de incendios forestales es una tarea aún inconclusa en la literatura. Los incendios forestales son un gran problema ambiental debido a que se detectan principalmente hasta que se encuentran muy avanzados y ya se han quemado algunos kilómetros cuadrados. Cuando estos se detectan en la etapa avanzada, el fuego será difícil de contener. Para realizar la simulación con nuestra propuesta, se analizó una especie endémica de salamandra moteada que habita el estado de Chihuahua. La alta incidencia de incendios forestales reduce la oportunidad de que los ecosistemas se recuperen a tiempo y, por lo tanto, la importancia de la presente investigación es el uso de drones que pueden ayudar a reducir este problema, como se puede ver en la Figura 1.

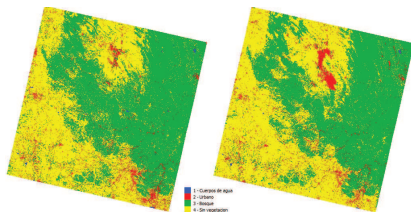


Figura 1. Mapa comparativo del mapa de clasificación de uso de suelo de los años 2015 y 2018.

Caso de estudio

Según el Centro Nacional de Control de Incendios Forestales (Centro para el Control Nacional de Incendios Forestales), del 01 de enero al 19 de octubre de 2017 hubo 808 incendios en Chihuahua, que quemaron 87, 229.84 hectáreas (Ha) [2]objetivas. Los municipios que históricamente tienen la mayor área afectada son Guadalupe y Calvo, Madera y Bocoyna. Los municipios menos afectados fueron Janos, Ocampo y Urique [3]. Para un dron es necesario tener un mecanismo para realizar estas actividades de manera eficiente y, principalmente, el reconocimiento de la superficie para optimizar el tiempo. Y los recursos tecnológicos de la Figura 2 muestran la necesidad de coordinar el enjambre de drones.



Figura 2. Implementación de una propuesta de solución para adaptar un dron para prevenir incendios forestales durante un tiempo más amplio en los bosques de Chihuahua.

La detección de incendios forestales se encuentra en un estado inicial para implementar un algoritmo heurístico enfocado a la organización automática de enjambres no tripulados, la cual plantea algunos desafíos:

- a) Tecnología de drones. La tecnología actual de drones tiene una capacidad limitada para tomar vuelos de largo alcance debido a la duración de la batería, que se consume principalmente en función del vuelo de drones. Agregar un registrador de datos de sensores y transmitir datos a una estación terrestre representa una carga para la duración de la batería que se debe tener en cuenta. El sensor y la

electrónica de transmisión de datos no representan una carga de peso en el vehículo aéreo.

b) Señal de radio. Los datos del registro de datos del sensor se transmitirán a la estación terrestre. Debido a la geografía forestal, no todas las áreas están cubiertas por señales de radio. Esto se puede resolver utilizando algunos agentes del enjambre de drones que sirven como relé de señal. Esto puede representar un desafío para el algoritmo de auto-organización.

c) Altitud. La tecnología actual de drones está limitada en la altitud que podría alcanzar dependiendo de la orografía donde se implementará. Este desafío está fuera del alcance del algoritmo de auto organización, pero se tendrá en cuenta debido a que se usarán las coordenadas esféricas. Dado que vamos a trabajar con una superficie de bosques muy extensa, esta extensión debe estar delimitada por áreas, que es la base en la que el algoritmo definirá las prioridades que deben visitar los agentes de enjambres de drones. El área a monitorear se considera en el algoritmo a utilizar. En la siguiente sección, se describe cuáles son los algoritmos ya conocidos a los que se hará referencia.

Clúster de drones heterogéneos

Consideramos monitorear una gran área geográfica utilizando un enjambre de drones para evitar incendios forestales. El área a monitorear se divide en subáreas bien identificadas. Un enjambre de drones está compuesto por un conjunto de drones heterogéneos que se encuentran en un punto de partida. Por lo tanto, el problema que abordamos es crear un programa que contenga la asignación de drones a subáreas geográficas para monitorear y detectar incendios forestales, de manera que se minimice el tiempo de finalización del algoritmo, como en la Figura 3. Un modelo de sistema de planificación para organizar la visita de drones a subáreas geográficas consta de los siguientes elementos: la zona geográfica, el enjambre de drones y una función objetivo para la programación del mismo, algo relevante incluso en la detección satelital como en la Figura 4.

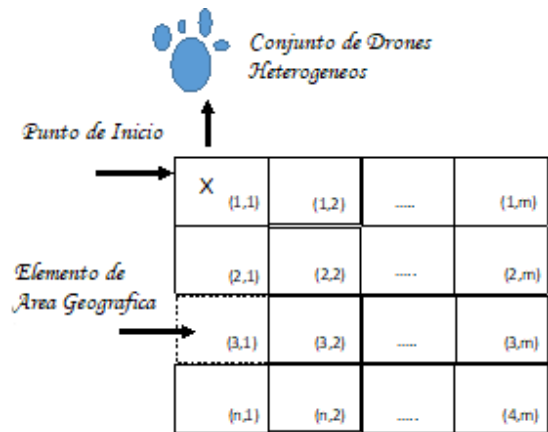


Figura 3. Representación del problema de cobertura del clúster de drones para un área geográfica.

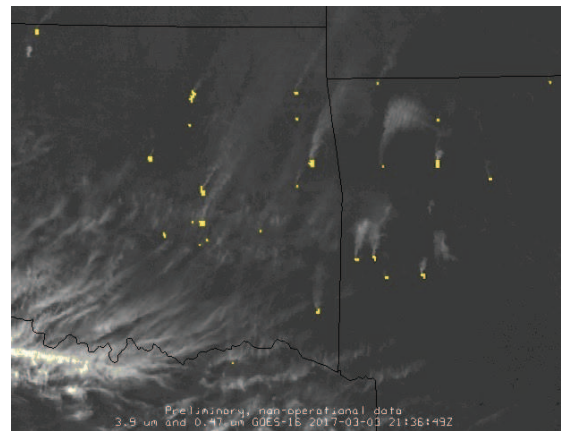


Figura 4. Detección satelital de incendios forestales.

El enjambre de drones heterogéneos (HDS) se puede representar mediante un DAG HDS: (D, E) . D representa el conjunto de drones heterogéneos que componen el enjambre. E es el conjunto de arcos dirigidos que conectan diferentes pares de drones, por lo que $e(di, dj)$ denota una precedencia que indica que dron dj no puede comenzar su misión hasta que di termine su misión. Por conveniencia, $Pred(di)$ denota el subconjunto de drones que preceden directamente a di y $Succ(di)$ denota el subconjunto de drones que siguen directamente a di . Los drones de entrada son aquellos con: $|Pred(di)| = 0$ y el dron de salida son aquellos con: $|Succ(di)| = 0$. Por simplicidad, en estos casos consideramos el uso de tareas ficticias de modo que el DAG contiene sólo una entrada y un dron de salida. Recordando que los drones son heterogéneos, representamos el tiempo de vuelo estimado desde la base en a_0 con $EFT = D \times A \rightarrow Int$, donde $EFT(di, aj)$ denota el tiempo para que un dron di alcance una subárea geográfica aj . Para simplificar, consideramos que el tiempo de vuelo para volver a la base en a_0 es el mismo que

el tiempo para llegar a un área en particular desde $a0$. Un dron puede asignarse a diferentes misiones, pero sólo puede realizar una misión a la vez. Por lo tanto, en el momento t consideramos: $avail : D \rightarrow [0,1]$, que captura la disponibilidad de cada dron en el tiempo t . Se debe tener en cuenta que el tiempo de la misión de un dron en particular se da cuando está funcionando a plena disponibilidad. $W(di)$ denota el tiempo para que un dron di ejecute cierto trabajo una vez que alcance un área secundaria geográfica. La configuración (di) denota el tiempo de configuración para que un dron comience una nueva

misión. Suponemos que la información sobre el tiempo de vuelo y de configuración se proporciona en unidades de tiempos estándar, compatibles con nuestras medidas de rendimiento de drones.

Programar drones en áreas geográficas requiere la consideración de cuatro eventos: (a) El momento en que el dron comienza su misión. (b) El tiempo para que un dron alcance un área geográfica particular. (c) El tiempo para que un dron realice cierto trabajo una vez que alcance su área geográfica. (d) El tiempo para que un dron regrese a la base asignada.

El desempeño de un clúster de drones está vinculado con la configuración del dominio de aplicación; entre mejor adaptado, robusto y validado, mayor es el área que puede cubrir para prevenir incendios forestales.

Por lo tanto, primero debemos predecir el momento en que un dron en particular se aleja de $a0$ para realizar su misión en una subárea en particular y el momento en que el dron regresa a la base. Primero debemos definir dos cantidades mutuamente referenciales. $EDT(di, am)$ es el Tiempo de salida estimado de dron, los valores de: (di, a, am) se calculan por la ecuación 1:

$$EDT(di, am) = Configuración(di) + \max_{dj \in Pred(di)} \{ERT(dj, a0)\} \quad (1)$$

Esto se calcula mediante: $ERT(di, a0)$, que denota el Tiempo de retorno estimado de dron di a la base ubicada en $a0$ y se calcula mediante la ecuación 2:

$$ERT(dj, a0) = EDT(dj, am) + (2 * EFT(dj, am)) + W(dj) \quad (2)$$

La configuración (di) es el tiempo de preparación para que un dron comience una nueva misión. Se agrega al resultado del bloque máximo en la ecuación (3), que devuelve el tiempo máximo de retorno estimado en el que cada dron en $Pred(d : i)$ regresa a la base. Una vez que se hayan programado todos los drones, el tiempo estimado de finalización del programa se determina por el tiempo de retorno estimado del dron de salida. El tiempo estimado de finalización también se conoce como la planificación del programa.

$$ERT = (doutput, am * n) \quad (3)$$

En la Figura 5 se puede ver el diagrama conceptual de la investigación realizada.

La función objetivo de la programación de drones tiene como objetivo crear un programa que contenga la asignación de drones a subáreas geográficas, de modo que se minimice su alcance, similar a lo propuesto en: [5, 6 y 7].

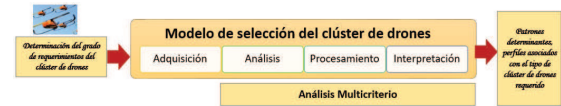


Figura 5. Propuesta de solución de nuestra investigación.

Algoritmo DERT

El algoritmo DERT se basa en el conocido enfoque de programación de listas. Nuestro interés en este enfoque es explorar estrategias de baja complejidad computacional y aplicarlas para prevenir y combatir incendios forestales con el uso de drones. Por lo tanto, el algoritmo DERT consiste básicamente en dos fases. La fase de priorización de drones en la que se establece una asignación de rango de prioridad para cada dron. La fase de asignación de subárea geográfica donde cada dron se asigna a esa subárea geográfica que optimiza una función de costo predefinida. El algoritmo DERT se muestra en la Figura 6.

1. Set the drone flying time.
2. Set the drone setup time.
3. Set the drone work time.
4. Calculate DRu for each dron by traversing the graph from the exit node to the entry node and keep the values in L .
5. Sort the drones in L in descending order of DRu values.
6. Create a list LSA with the sub-areas composing A .
7. **while** there are unvisited areas in LSA **do**
8. Select the first sub-area a_m from LSA
9. **for** each available dron d_i ($avail(d_i)=1$) in L **do**
10. Compute $EDT(d_i, a_m)$ value.
11. Compute $ERT(d_i, a0)$ value.
12. Assign dron d_i to the sub-area a_m that minimizes ERT of d_i
13. Set $avail(d_i) = 0$ from the time between EDT and ERT .
14. **end while**

Figura 6. El Algoritmo DERT.

I. La fase de priorización de drones

Utilizamos $DRu(di)$, un rango ascendente definido como la longitud de la ruta crítica desde dron di hasta el

dron de salida. $DRu(di)$ se calcula recursivamente en la ecuación 4:

$$DRu(di) = avg(FTi) + max_{vj \in Succ(vi)} (DRu(vj)) \quad (4)$$

Donde: $avg(FTi)$ es el promedio del tiempo de visita para un dron (di) en todas las subáreas, como en la ecuación 5.

$$avg(FT(di)) = \sum_{k=0}^{nm} \frac{(di, ak)}{n \cdot m} \quad (5)$$

II. La fase de asignación de una subárea

El algoritmo DERT considera que un dron se puede asignar a varias misiones, pero sólo se puede realizar una a la vez. Una misión consiste en salir de la base $a0$ a una área asignada am , realizar un trabajo una vez que alcance am y regresar a $a0$. En nuestro caso, el trabajo que realiza un dron en un área en particular es monitorear. La fase de asignación para cada dron a una subárea geográfica que ofrece el tiempo de retorno mínimo estimado, toma la complejidad de tiempo: $O(dxe)$ para d drones y precedencias.

Simulación

Esta investigación aún debe complementarse con mayor simulación y pruebas antes de implementarla en un entorno real. Además de los desafíos de ingeniería de un enjambre físico de drones, el algoritmo desarrollado se simulará para el ajuste y la validación como en la Figura 7.

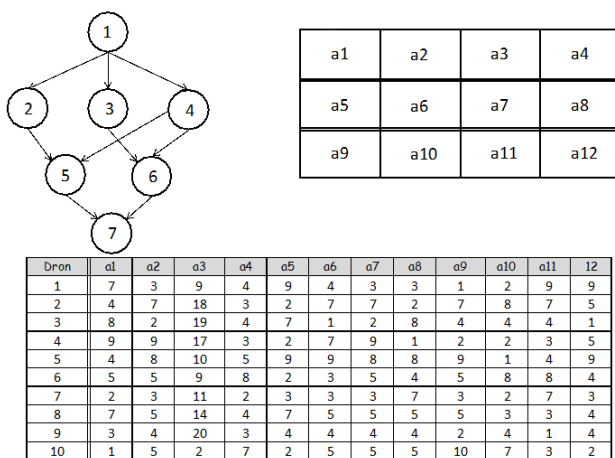


Figura 7. Arquitectura propuesta para nuestro modelo de simulación del clúster de drones.

Para esto, el bosque y los incendios forestales serán modelados para replicarse lo más cerca posible del ecosistema donde estos drones eventualmente estarán volando (ver Figura 8).

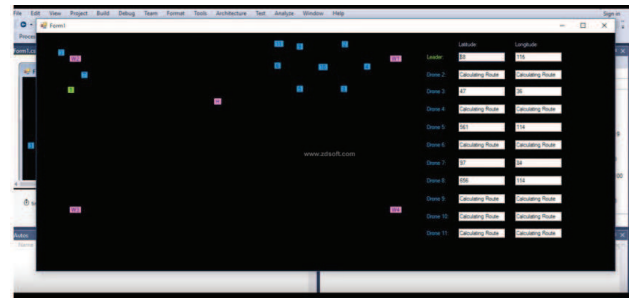


Figura 8. Simulación del clúster de drones, utilizando nuestra herramienta inteligente para su monitoreo.

Conclusiones y trabajo futuro

Un aspecto relevante de la presente investigación es la detección temprana de incendios recurrentes en zonas de alto potencial forestal y, por ende, la afectación de la población que depende de este tipo de material maderero. Un mapa relevante de la sequía y por ende de los posibles incendios forestales se puede observar en la Figura 9.

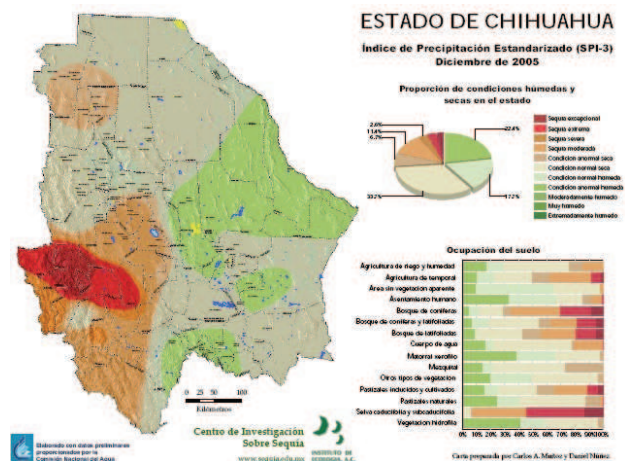


Figura 9. Mapa asociado con la sequía en Chihuahua y su correlación con incendios forestales.

Detección ilegal de corte de árboles es uno de los trabajos futuros a desarrollar en el estado de Chihuahua. Uno de los siguientes trabajos relacionados con el algoritmo heurístico presentado para la organización automática de enjambres de drones es monitorear los bosques para detectar corte ilegal de árboles. No sólo inspeccionando bosques con los vehículos aéreos no tripulados (UAV), sino que equipe a estos agentes de enjambre con reconocimiento de imagen basado en un modelo de aprendizaje automático que se desarrollará. Los autores de esta investigación ahora están comenzando a involucrarse en este esfuerzo, como se puede observar en la Figura 10, en donde se muestra estratificado la tala ilegal de los bosques.

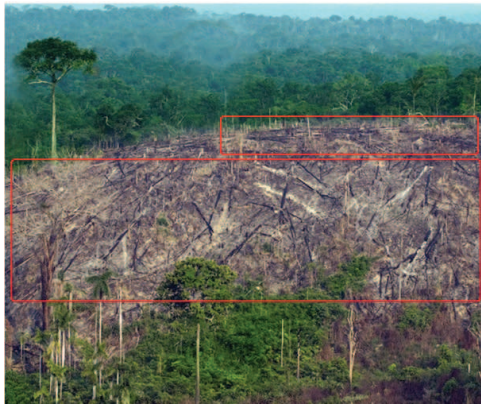


Figura 10. Una porción de madera con corte ilegal de árboles identificado por un modelo de aprendizaje automático.

Junto a estudiantes del Doctorado en Tecnología de la UACJ, con adscripción a la UABC, se ha planteado un proyecto para ayudar a redelimitar el hábitat de la vaquita marina en las costas del Mar de Cortes, como se puede ver en la Figura 11.*



Figura 11. Proyecto futuro vinculado con la redelimitación del hábitat de la vaquita marina mediante la utilización de un clúster de drones especializados.

REFERENCIAS

1. Sethi, V. (1986). Natural Language Interfaces to Databases: MSI Impact, and Survey of their Use and Importance. University of Pittsburgh.
2. Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., y Nobre, C.A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172.
3. ClimaTemps. (2017). Chihuahua Climate & Temperature. Recuperado de: <http://www.chihuahua.climatemps.com/>.
4. Köppen climate classification. (2017). Köppen climate classification. Recuperado de: <http://hanschen.org/koppen/>.
5. Gómez, C., Cruz-Reyes, L., Rivera, G., González, J., y Quiroz-Castellanos, M. (2012). Impact of Initial Tuning for Algorithm That Solve Query Routing. *Management Intelligent Systems*, 315-323.
6. Gómez, C., Cruz-Reyes, L., Schaeffer, E., Meza, E., y Rivera, G. (2010). Local Survival Rule for Steer an Adaptive Ant-Colony Algorithm in Complex Systems. *Soft Computing for Recognition Based on Biometrics*, 245-265.
7. Gómez, C., Cruz-Reyes, L., Schaeffer, E., Meza, E., y Rivera, G. (2011). Adaptive ant-colony algorithm for semantic query routing. *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 5, 85-94.
8. Martínez-Carranza, J., Marquez, F., García, E., Muñoz-Meléndez, A., y Mayol-Cuevas, W. (2015). On combining wearable sensors and visual SLAM for remote controlling of low cost micro aerial vehicles. *IEEE 3rd Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS)*.

SOBRE LOS AUTORES



Alberto Ochoa Zezzatti es un profesor investigador de la UACJ. Desde septiembre de 2016 tiene el nombramiento de SNI Nivel 2. Es parte del NAB del Doctorado en Tecnología de la UACJ (PNPC). Su línea de investigación principal está relacionada con Smart Cities, incluyendo la Logística Inteligente de vehículos para la optimización de procesos. Tiene un proyecto con la Unión Europea relacionada con la mejora de Smart Manufacturing hasta el 2017.



José Mejía es profesor de investigación en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación de la UACJ. También ha trabajado para la industria de electrónica de consumo y automotriz como diseñador de equipos de prueba electrónicos. Sus intereses de investigación incluyen Procesamiento de imágenes médicas, aprendizaje profundo y super resolución. Tiene la distinción de SNI Nivel Candidato.



Juan Muñoz es estudiante de la Maestría en Computo Aplicado, de la UACJ.



Abraham López estudió Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y cuenta con una maestría en Administración de Tecnologías de Información por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Actualmente es profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

IA & Educación

Yasmín Hernández, Lucía Barrón y Julieta Noguez

iaeducacion@komputersapiens.org

Aplicaciones de los Vehículos Aéreos No Tripulados

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), popularmente conocidos como drones, son aeronaves que vuelan sin tripulación y que son capaces de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido. El diseño de los VANT tiene una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características; e incluyen cámaras, dispositivos GPS y diversos sensores. Existen dos variantes principales: los vehículos controlados desde una ubicación remota, y los vehículos con vuelo autónomo a partir de planes de vuelo preprogramados [1].

Inicialmente, los drones se desarrollaron para apoyar en operaciones militares, tales como misiones espías y transporte de misiles de guerra para disparar contra blancos teledirigidos; sin embargo, su evolución ha permitido usarlos con éxito en otros campos, tales como el comercio, la industria, la educación y el entretenimiento. Los drones se usan en tareas que demandan menor tiempo en su desarrollo, en operaciones de alto riesgo, y —sobre todo— para acceder a lugares de difícil acceso. Entre las aplicaciones más populares de los drones destacan: entrega de mercancía, monitoreo de sembradíos, prevención y control de incendios, monitoreo de volcanes activos, investigaciones de vida animal, investigaciones arqueológicas, búsqueda y rescate de personas, sobrevuelo de áreas en desastre, entre otras. Además, se usan ampliamente en actividades de entretenimiento: para tomar fotografías, grabar películas y sobrevolar conciertos y eventos deportivos, por mencionar solo algunas aplicaciones ¡Y siguen aumentando!

Al ser dispositivos tecnológicos novedosos, los drones atraen la atención de niños y adolescentes, por lo que las escuelas los usan como herramienta didáctica para enriquecer la imaginación de los niños y despertar su curiosidad natural, lo que a su vez les ayudará a aprender y a desarrollar diversas capacidades. En escuelas de educación básica de países como Inglaterra, Estados Unidos y China, los drones se usan para apoyar a estudiantes y maestros en diferentes materias, además de que los estudiantes los usan para videografiar los eventos especiales escolares [2][3].

La capacidad de los drones para alcanzar espacios que de otra manera no se podrían ver, se utiliza como fuente de inspiración para ejercicios de escritura, donde los estudiantes escriben ensayos acerca de lo que observan durante una sesión de vuelo; o también describen como controlar el dron y su experiencia manejándolo.

Los VANT también se usan para enseñar matemáticas y ciencias; en la Figura 1 se muestra a un grupo de estudiantes observando el recorrido de un dron y después grafican la distancia y el tiempo del recorrido. Las leyes de la física también pueden enseñarse con la ayuda de drones equipados con sensores para medir variables atmosféricas (por ejemplo, la presión del aire, la velocidad del viento y la temperatura); con estos datos, los estudiantes calculan el tiempo que le tomará al dron cruzar una distancia determinada, o como el viento o el clima influyen en su trayectoria. Los estudiantes un poco más avanzados aprenden programación y robótica mediante prácticas en las cuales se requiere construir y programar drones. Incluso, los VANT se usan como un tema de debate en las clases de ciencias sociales, para discutir su uso ético y su impacto en la sociedad.



Figura 1. Estudiantes observando la trayectoria de un dron [4].

Debido a la alta versatilidad que presentan los drones, diversas universidades alrededor del mundo han incluido carreras y materias relacionadas con el desarrollo y aplicación de los drones en los planes de estudio, así también los usan como apoyo para aprender diversas materias. Por ejemplo, la Universidad de los Emiratos Árabes efectuó un taller de transferencia de tecnología y capacitación para los estudiantes de geografía, quienes recibieron instrucción sobre captura y procesamiento de imágenes con drones. El trabajo del taller consistió en la planeación y ejecución del vuelo de los drones para capturar imágenes y obtener puntos 3D a partir de ellas, con el fin de hacer modelos 3D texturizados de los edificios de la universidad [5].

El desarrollo de programas de inteligencia artificial brinda a los drones capacidades para interpretar el en-

torno y actuar en consecuencia, así como aprender a partir de datos y usar ese conocimiento para llevar a cabo las tareas. Esta característica potencia las aplicaciones de los VANT, ya que los provee de la capacidad para actuar de manera inmediata ante un estímulo o de informar la situación en espera de indicaciones. La Universidad de Cambridge utilizó drones para desarrollar un sistema de vigilancia en tiempo real, el cual identifica individuos violentos en áreas y eventos públicos, y da aviso a las autoridades. El sistema detecta a las personas a partir de imágenes aéreas, para posteriormente estimar la postura y la orientación de brazos y piernas, lo cual servirá para identificar a los individuos violentos por medio de técnicas de aprendizaje profundo y máquinas de soporte vectorial. Además, el sistema es capaz de detectar armas y el origen de los hechos. Los autores siguen validando el sistema en diferentes eventos, por lo que aún se encuentra este proyecto en fase experimental [6]. La figura 2 muestra una escena en donde se identifican individuos violentos.



Figura 2. Sistema de vigilancia con drones.

Por otro lado, González y sus colaboradores [7] desarrollaron una plataforma para el estudio de especies amenazadas y de especies invasoras que ayuda a obtener estimaciones precisas sobre la población de las diferentes especies. El sistema —que incluye drones, algoritmos de clasificación automática y sistemas de imágenes térmicas— se probó en bosques y áreas abiertas para detectar animales (koalas, canguros, entre otros). El sistema detecta a los animales de interés, los clasifica, los cuenta y les da seguimiento en el área estudiada. Los autores exponen que el sistema se puede entrenar para identificar a otros animales.

A pesar del uso extendido de los drones y de los avances en su desarrollo, aún hay mucho por trabajar; por ejemplo, se sigue investigando en el desarrollo de fuentes de energía y de dispositivos de almacenamiento que les permitan sostener vuelos más largos [1].

En México, las aplicaciones de los drones aún son limitadas; sin embargo, en diversos centros de investigación y universidades se han formado grupos de investigación sobre drones. Por ejemplo, en el INAOE, se en-

cuentra el grupo QuetzalC++ que está enfocado en el desarrollo de drones inteligentes. Este grupo ha ganado numerosos premios en diferentes competencias internacionales [8].

El cada vez más amplio uso de los drones tiene implícita la posibilidad de alterar nuestra vida diaria. Los conceptos actuales sobre seguridad, protección, privacidad, propiedad, responsabilidad y leyes se ven desafiados por los drones, ya que con su capacidad para recopilar datos y capturar imágenes están cambiando la forma en que pensamos y percibimos nuestro entorno. En diferentes foros internacionales se ha dialogado sobre el uso ético de los drones y sobre cómo avanzar en el compromiso que deben asumir fabricantes, gobiernos y usuarios para hacer un uso racional de estos. En 2014, el mexicano Abel Pérez Rojas propuso el 12 de diciembre como el Día Internacional por el Control Efectivo del uso de Drones [9]. Con todo esto, los drones están en el aire.*

REFERENCIAS

1. Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., y Zarzycki, H. (2016). Drones and Possibilities of Their Using. *Journal of Civil Environmental Engineering*, 6(3).
2. Hall, G. (2016). Uses of Drones in Schools. Recuperado el 7 de junio del 2019, de <https://garyhall.org.uk/uses-of-drones-in-schools.html>.
3. Cenejac, J. (2017). 5 Ways To Use Drones In The Classroom: Cherishing Students' Passion For Technology. Recuperado el 7 de junio del 2019, de <https://elearningindustry.com/drones-in-the-classroom-5-ways-cherishing-students-passion-technology>.
4. Przybylski, W. (2016). Using a Drone in Math Class. Recuperado el 7 de junio del 2019, de <https://www.youtube.com/watch?v=bJKur3pbeVQ>.
5. Alkaabi, K. y Abuelgasim, A. (2017). Applications of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology for Research and Education in UAE. *International Journal of Social Sciences Arts and Humanities*. 5(1), 4-11.
6. Singh, A., Patil, D. y Omkar, S.N. (2018). Eye in the Sky: Real-time Drone Surveillance System (DSS) for Violent Individuals Identification using ScatterNet Hybrid Deep Learning Network. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*.
7. Gonzalez, L.F., Montes, G.A., Puig, E., Johnson, S., Mengersen, K., y Gaston, K.J. (2016). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Conservation. *Sensors*, 16(97).
8. INAOE.
9. Rojas, A. (2014). Propongo: el Día Internacional por el Control Efectivo del uso de Drones. Recuperado el 7 de junio 2019 de <https://www.sabersinfin.com/articulos/politica/8757-propongo-el-dia-internacional-por-el-control-efectivo-del-uso-de-drones>.

Deskubriendo Konocimiento

Alejandro Guerra Hernández y Leonardo Garrido
deskubriendokonocimiento@komputersapiens.org

Vehículos aéreos no tripulados

Dr. Herman Castañeda Cuevas

Tecnológico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias, Dpto. Mecatrónica
Grupo de Investigación y de Enfoque Estratégico en Robótica, SNI 1

Durante los últimos años, los artefactos más populares en la sociedad son los vehículos aéreos no tripulados (VANT); es decir, vehículos aéreos sin tripulación humana, comúnmente llamados drones (este apelativo lo adquirieron en la guerra de Vietnam, donde la gente local los identificaba al escuchar un zumbido similar al que emiten los “drones”: zánganos o abejorros macho). Los drones fueron creados inicialmente para actividades militares, y en ese entonces los vehículos aéreos no tripulados eran exclusivamente operados mediante control remoto. En la actualidad, los drones han alcanzado un desarrollo importante, donde varias funciones han sido automatizadas, incluso con un nivel importante de autonomía en cuanto a decisión se refiere. Más aún, se han incrementado las aplicaciones civiles, como inspección, monitoreo, video, cartografía, mediciones de clima, de contaminación y, recientemente, en transporte y manipulación de objetos.

Los drones se pueden clasificar por su tamaño, su aplicación, su autonomía o bien por su estructura aerodinámica. Esta última determina si es un aeroplano, un helicóptero o un globo y sus variedades asociadas, donde cada tipo de aeronave cuenta con ventajas y desventajas, donde la aplicación lo hace idóneo o no. Por ejemplo, si se requiere inspección de torres que sostie-

nen líneas eléctricas de alta tensión, un helicóptero puede ser adecuado; mientras que, si se opta por inspeccionar un ducto de petróleo debido a su gran longitud, el uso de un aeroplano puede ser la mejor opción.

Los vehículos aéreos no tripulados son sistemas de vuelo muy complejos dentro del campo de la ingeniería, por más comunes que parezcan en la actualidad, ya que, para llevar a cabo el vuelo, se requiere la integración de varias disciplinas, como la mecánica, que resuelve tanto la estructura aerodinámica como la mecánica del vuelo y la electrónica, que permite la integración de sensores que brindan información del ambiente y de la aeronave misma; también, de los actuadores, que ejecutan las fuerzas necesarias para la sustentación y el microcontrolador, quien es el encargado de procesar la información proveniente de los sensores y enviar los comandos a los actuadores.

Dentro de las categorías que pueden existir para clasificar los vehículos aéreos no tripulados, los más utilizados en México para aplicaciones civiles son los de tamaño miniatura, que cuentan con un peso menor a 10 kg, una envergadura menor a 5 m y un alcance de hasta 25 km. El uso de drones es tanto en la academia como en algunas empresas que ofrecen el servicio de inspección, monitoreo, fotografía y video, por mencionar algunos. Dada

su talla, estos artefactos voladores son particularmente susceptibles a cambios en el ambiente en el que se desenvuelven, como temperatura, presión y, sobre todo, ráfagas de viento que puedan llegar a desestabilizar el vehículo aéreo. Otro factor importante de desequilibrio radica en la lectura errónea o pérdida de información de los sensores, que explica fallas como pérdida de control, elevaciones o descensos súbitos; de ahí la importancia de tener un lazo de seguridad.

Con respecto a las aplicaciones, los vehículos aéreos no tripulados más utilizados son los helicópteros, debido a que poseen características de despegue y aterrizaje vertical, lo cual implica que para realizar estas maniobras requiere un espacio reducido, que permite operarlo en la mayoría de situaciones. Además, pueden realizar el llamado “Hover”, el cual se refiere a un estado de equilibrio del dron donde permanece suspendido a una cierta altura, permitiendo actividades de inspección y monitoreo con una cámara de video. La desventaja de estos artefactos es el alto consumo de energía comparado con otro tipo de aeronaves, como aviones o dirigibles. En particular, los helicópteros de tipo cuadri-rotor son los más usados, ya que la configuración de sus rotores reduce los efectos giroscópicos y sus hélices se mantienen fijas, a diferencia de los helicópteros clásicos, que

requieren variar la inclinación.

En México, recientemente se han publicado regulaciones sobre la operación de aeronaves pilotadas a distancia. De manera general, se puede extraer que cualquier vehículo volador con un peso mayor a 2 kg debe ser pilotado por una persona capacitada que cuente con una licencia para operar drones. Los detalles de la normatividad fueron publicados en la circular obligatoria CO-AV23/10 R4, emitida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil. Lo anterior refleja un avance en materia de regulación. Sin embargo, todavía se están creando aplicaciones, surgen más variedades de vehículos aéreos y las normas deberían estar actualizándose acorde al avance de estas tecnologías.

Cabe mencionar que, gracias al gran avance en electrónica en los últimos años, se pueden encontrar dispositivos cada vez más pequeños y con enorme capacidad de procesamiento que pueden ser integrados en los drones y que permitirán desarrollar nuevas aplicaciones o bien incrementar las habilidades de las ya existentes. En ese sentido, las técnicas de inteligencia artificial, como aprendizaje automático, la computación evolutiva y las redes neuronales, entre otras, tienen un gran potencial para ser implementadas en aplicaciones con vehículos voladores, donde la función es adquirir información a través de sensores para procesarla y así brindar al usuario y al dron una ventaja competitiva y distintiva.

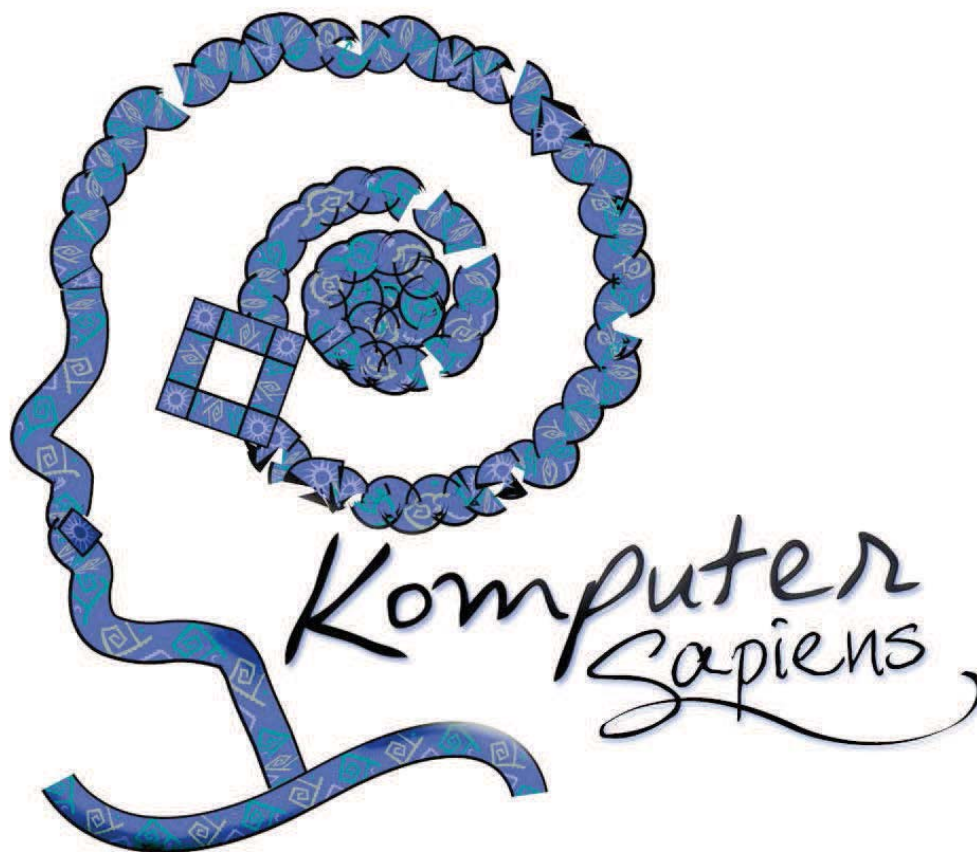
Para concluir, las tareas actuales y, sobre todo, las futuras para

estos drones, que van desde entrega de objetos, como medicamentos, mercancías y equipo de primeros auxilios, la manipulación de objetos en actividades como la agricultura, la construcción y el almacenamiento hasta el uso de drones como estaciones de comunicación y el tráfico aéreo mismo dentro de una urbanización, demandan que estén dotados de más herramientas útiles, sean adaptables a distintas condiciones geográficas y misiones, posean mayor autonomía de vuelo y de decisión, y, muy importante, que sean seguros en el ambiente urbano. Por todo esto, hay una gran oportunidad de investigación y desarrollo de estos vehículos voladores que cada vez están más presentes en nuestra cotidianidad.*



Arcturus UAV T-Series, un vehículo aéreo no tripulado de origen estadounidense con el que cuenta la armada de México.

Imagen tomada de: <https://arcturus-uav.com/product/t-20>.



¡Publique en Komputer Sapiens!



Komputer Sapiens solicita artículos de divulgación en todos los temas de Inteligencia Artificial, dirigidos a un amplio público conformado por estudiantes, académicos, empresarios, tomadores de decisiones y consultores. Komputer Sapiens es patrocinada por la SMIA, la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial



www.smia.org.mx

Instrucciones para autores e información general: <http://www.komputersapiens.org>
Síguenos en las redes sociales: www.facebook.com/Komputer.Sapiens, twitter.com/KomputerSapiens

