

Navegación Autónoma Inteligente para Vehículos Aéreos no Tripulados

Gesley Tarazona, Claudio Delrieux

Laboratorio de Ciencias de las Imágenes – www.imaglabs.org

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras - www.ingelec.uns.edu.ar

Instituto de Investigación en Ingeniería Eléctrica – CONICET – www.iiie-conicet.gob.ar

Universidad Nacional del Sur – Av. Alem 1253 - 8000 Bahía Blanca – Argentina

cad@uns.edu.ar

Resumen

Se presenta la descripción de un nuevo proyecto de investigación orientado al estudio e implementación de sistemas de navegación autónoma para vehículos aéreos autopilotados (UAVs). Los objetivos del mismo permitirán extender en gran medida el campo de aplicación actual de esta tecnología. Se presenta el contexto institucional del trabajo, los objetivos generales y particulares, el estado del arte en la temática, y otros aspectos relacionados con el grupo de trabajo y la formación de recursos humanos.

Contexto

El presente proyecto se da en el marco la colaboración conjunta entre el Laboratorio de Ciencias de las Imágenes (IIIE-CONICET) y el IADO-CONICET, que comprende varios proyectos de investigación (PGI 24/K043: "Procesamiento Inteligente de Imágenes", financiado por la Universidad Nacional del Sur. Período 2013-2016, renovable, y ANPCyT PICT Start-Up 2442-2010 "Herramientas de Hardware y Software para el Relevamiento y Modelado Ambiental", entre otros). Entre el equipamiento disponible se cuenta con un SUAV modelo Arcangel de 3 metros y 8kg de carga paga¹, un UAV de 2 metros y 1kg de carga paga, varios multicopteros, y las cámaras ópticas GoPro y Nikon de alta resolución, una cámara hiperespectral de 40 canales RIKOLA², 2 DGPS (uno de tipo RTK con precisión milimétrica en vertical), sondas multiparamétricas Horiba e YSI., sistemas automatizados de control de vuelo y estabilidad de las cámaras y GPS. Para realizar el procesamiento de imágenes se equipamiento, bibliografía y software propio para brindar apoyo a estas tareas de investigación. En particular se cuenta con supercomputadoras basadas en GPUs de última generación, las cuales, dada la naturaleza de la investigación, son fundamentales para este desarrollo.

Objetivos

Los UAVs (unmanned aerial vehicles) constituyen una alternativa tecnológica sobresaliente para realizar estudios científicos y socioprodutivos, especialmente cuando las áreas a estudiar son de difícil acceso, peligrosas, o bien se desea preservar sus condiciones ambientales sin interferirlas. Específicamente, la toma de imágenes y video por medio de estos dispositivos constituye actualmente la solución más efectiva en costo, dado que se supera en mucho la calidad de las imágenes satelitales, obteniéndose una calidad equivalente o superior a las imágenes aéreas convencionales (aviones o helicópteros tripulados), pero con una capacidad y simpleza operativa mucho mayor. Una gran limitación para las aplicaciones de este tipo de móviles está dada por los sistemas de autopiloteo actuales, los cuales poseen limitadas posibilidades de navegación autónoma. Por ejemplo, carecen de capacidad para orientarse en forma independiente si se pierde el enlace radial, para seguir un objeto móvil determinado (por ejemplo un automóvil en una ruta), o para buscar y reportar anomalías en instalaciones de gran extensión (oleoductos o líneas de alta tensión). Al mismo tiempo, en vuelos autónomos, es deseable que el

¹<http://aero-vision.com.ar/index.html>

²<http://www.rikola.fi>

dispositivo se preserve de situaciones potencialmente peligrosas para terceros o para sí mismo. Estas capacidades han sido ya desarrolladas en la navegación terrestre autónoma, por lo que estudiar su aplicabilidad en UAVs surge como una alternativa potencialmente valiosa. Por dicha razón, en este plan de trabajo se propone investigar y desarrollar dispositivos electrónicos de autopiloteo para dotar a UAVs de diverso tipo (aviones, multicopteros, etc.) de capacidades de navegación autónoma que extiendan (siendo compatibles con) las actualmente existentes en los autopilotos disponibles. El resultado buscado permitiría un uso masivo de esta tecnología para un gran número de aplicaciones, en monitoreo y sensado remoto y en aplicaciones socioproductivas. Los objetivos específicos planteados son los siguientes:

- Estudiar las diferentes tecnologías y componentes de hardware y software que se requieren para el desarrollo integral de sistemas de navegación autónoma inteligente en dispositivos aviónicos.
- Estudiar e implementar algoritmos que permitan integrar información de video y otros sensores al lazo de control del autopiloto.
- Estudiar e implementar algoritmos inteligentes para la solución de problemas específicos como el seguimiento de objetos móviles o instalaciones de gran extensión.
- Implementar un prototipo de autopiloto autónomo inteligente que incluya la información y algoritmos desarrollados en los dos puntos anteriores.
- Integrar los resultados de la investigación con los desarrollos realizados el LCI-CONICET y el IADO-CONICET, aplicándolos a los problemas específicos de estudio (ambientales, productivos, territoriales).
- Proponer metodologías para adaptar los resultados a otros tipos de dispositivos autónomos (por ejemplo, vehículos terrestres o acuáticos).

Antecedentes

Uno de los principales problemas para el monitoreo remoto en aplicaciones científicas (relevamiento y monitoreo ambiental) y socioproductivas (control agropecuario, ordenamiento territorial, turismo) es la obtención de datos de base cubriendo una amplia escala espaciotemporal [24]. Para poder realizar estos estudios se suelen requerir inversiones significativas para la adquisición de sistemas de monitoreo cuyos costos son prohibitivos para grupos de trabajo con bajos recursos económicos. Por dicha razón, el monitoreo intensivo solo se efectúa sobre áreas limitadas. Una situación similar se puede observar en el monitoreo de instalaciones muy extensas, como por ejemplo oleoductos o líneas de alta tensión, cuya inspección requiere movilizar recursos humanos y operativos considerables.

Esta situación está modificándose drásticamente debido a que la tecnología de los UAVs se tornó práctica y accesible para la realización de este tipo de estudios [6, 11], como lo muestra la reciente aparición de numerosos trabajos científicos en los cuales la fuente de monitoreo ambiental se basa en el uso de estos dispositivos [5, 7, 8, 22, 23]. Además de las aplicaciones ambientales del monitoreo basado en UAVs, es posible mencionar su uso en el sector productivo, por ejemplo en el agro [12] o en el ordenamiento territorial [15]. Asimismo, cabe destacar la utilización en nuestro país para la seguridad pública como es el caso del Municipio de Tigre³ o la Ciudad de Buenos Aires⁴, en donde han demostrado ser una herramienta de suma importancia.

En el Laboratorio de Ciencias de las Imágenes (UNS-CONICET), en conjunción con el IADO-CONICET, se vienen realizando trabajos de investigación conjuntos que involucran el monitoreo ambiental basado en imágenes [2, 3, 4, 18], y también aplicado al estudio de la geomorfología y dinámica de ambientes costeros y lagunas [20, 21]. Recientemente, en el marco del proyecto PICT Start-Up 2442-2010 se han iniciado tareas de investigación que involucran la utilización de UAVs, con un aporte importante de

³ <http://www.lanacion.com.ar/1550818-tigre-sumo-robots-voladores-para-la-lucha-contr-el-delito.htm>

⁴ <http://www.faverwaver.com/2013/04/metrocoptero-el-drone-volador-que-desarrolla-la-ciudad-de-buenos-aires-para-emergencias.htm>

equipamiento de parte de la Universidad Nacional del Sur, lo cual ha generado nuevas oportunidades de investigación ambiental, así como la creación de posibilidades concretas de vinculación y transferencia de tecnología, tal como se refleja en las publicaciones y convenios de transferencia realizados. Esto ha creado a su vez la necesidad de extender las posibilidades operativas de los UAVs existentes, dotándolos de mayores y mejores prestaciones

Una limitación muy importante en la tecnología actual de autopilotos consiste en la falta de capacidad de toma autónoma de decisiones en situaciones donde se pierde el enlace radial, o bien en situaciones en las que estando bajo alcance radial, el dispositivo debe decidir por sí mismo aspectos locales de la ruta adecuada [13, 24]. Tal es el caso del seguimiento de objetos móviles, instalaciones extensas, accidentes geográficos, etc. En otras palabras, el autopiloto solamente permite establecer una ruta estática definida de antemano, lo cual es inadecuado para un gran número de aplicaciones y tipos de misiones.

Por su parte, la navegación autónoma terrestre ha sido estudiada desde hace décadas, existiendo un cuerpo de conocimiento muy extenso (ver por ejemplo [14]). Si bien en principio esos resultados no son directamente aplicables en la navegación autónoma aérea, dado que el contexto operativo y de aplicación son muy diferentes, es posible su adaptación parcial en muchos casos concretos. En particular, la navegación autónoma terrestre basada en visión ha logrado recientemente resultados importantes [10, 17], debido fundamentalmente al abaratamiento del hardware y a la existencia de bibliotecas de software como OpenCV⁵ que facilitan mucho el prototipado de sistemas de procesamiento de video en tiempo real. En particular, el denominado *modelo observacional* se basa en la sustracción del fondo seguida de una estimación del tamaño y trayectoria de los objetos, para finalmente generar trayectorias con objetivos específicos.

La aplicación de estos resultados generados en la navegación autónoma terrestre al contexto de los UAV permitirá investigar y desarrollar sistemas de autopilotos más genéricos que los actuales, con capacidad para resolver en forma autónoma problemas de navegación, poder solucionar en forma adaptativa situaciones inesperadas, y dotar a su vez al dispositivo de la inteligencia necesaria para preservar a terceros y a sí mismo frente a determinadas situaciones peligrosas. La aplicabilidad en tiempo real y con hardware específico⁶ permite una implementación limitada de modelos de navegación autónoma, la cual depende entre otras cosas de la cantidad de objetos que se estén siguiendo. Por dicha razón, en el contexto de los UAV se hace mandatorio el uso de algoritmos inteligentes de optimización y supervisión para mantener la controlabilidad de las trayectorias. Este tipo de workflow (algoritmo de tracking observacional con supervisión) permitiría resolver una cantidad importante de los problemas planteados en este plan de trabajo, como ser el seguimiento de objetos extendidos (líneas de transmisión de energía, oleoductos, etc.).

Actividades y Metodología

La toma sistemática de datos es uno de los mecanismos fundamentales para el análisis de información y la consiguiente toma de decisiones. Por lo tanto, para el desarrollo de un sistema como el propuesto se deben cumplir una serie de instancias definitorias. Cada una de estas etapas se describe a continuación. Las actividades a realizar, y sus aspectos metodológicos asociados (cuando corresponda) son las siguientes:

- **Estudio de la bibliografía y las tecnologías actuales.** Se realizará un relevamiento bibliográfico en la temática de navegación autónoma, visión computacional y dispositivos aéreos autónomos. Se estudiarán asimismo las tecnologías actuales y sus componentes de hardware y software para el desarrollo integral de dispositivos aviónicos autónomos inteligentes. Se hará foco en la evaluación de riesgos de las tecnologías existentes para determinar cuáles son aptos para uso en aviónica.
- **Investigación de modelos de navegación.** Se propondrán diferentes métodos y modelos de navegación autónoma basados en la información instrumental y de visión. Se tomará como punto de

⁵ <http://opencv.org>

⁶ <https://developer.nvidia.com/jetson-tk1>

partida los desarrollos actuales con que cuenta el grupo de trabajo (navegación asistida) y los resultados recientemente publicados en la temática de navegación aérea autónoma basada en visión [1, 16]. Se realizarán simulaciones y pruebas para evaluar la factibilidad de dichos modelos y su comportamiento operativo.

- **Desarrollo e integración hardware-software.** Desarrollo de software robusto y su implantación en el hardware diseñado para el equipamiento de vuelo. Se adaptarán algoritmos de razonamiento basados en imágenes para la navegación aérea autónoma [9, 19]. El desarrollo debe respetar el estándar de la JPL (NASA)⁷ o del JSF⁸.
- **Realización de vuelos de prueba.** Una vez diseñados y ensayados en laboratorio, se harán pruebas de campo de los dispositivos en un ambiente controlado con el objetivo de acumular casuística para evaluar y validar el sistema, así como duplicar el desarrollo en otros dispositivos para multiplicar la experiencia adquirida. Estas pruebas serán de valor tanto para este proyecto como para otros UAV de uso científico y socioproductivo..
- **Aplicación de los resultados.** Programación y realización de diversas misiones de estudio aplicando los resultados a los problemas específicos de investigación ambiental y territorial actualmente realizados en conjunción por el LCI y el IADO, y para problemas socioproductivos relacionados con los convenios de transferencia de tecnología desarrollados por el LCI.

Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo de esta línea de investigación se encuentra integrado por dos investigadores del CONICET y tres doctorandos. Por otra parte se cuenta con la colaboración de otros investigadores y becarios de posgrado del LCI y del IADO. A su vez se están realizando trabajos de vinculación tecnológica, con la colaboración de pasantes, que realimentan la orientación científica y académica del proyecto con aspectos y requerimientos del medio socioproductivo. Como parte de las actividades asociadas al proyecto se realizan cursos de postgrado en Procesamiento de Imágenes, Visión Computacional, Navegación Robótica, Inteligencia Computacional, y Aprendizaje Supervisado.

Referencias

- [1] Bošnjak, M; Drago Matko, Sašo Blažič (2012), Quadrocopter control using an on-board video system with off-board processing, Robotics and Autonomous Systems, Volume 60, Issue 4, Pp. 657-667, ISSN 0921-8890.
- [2] Marina P. Cipolletti , Claudio A. Delrieux , Gerardo M.E. Perillo , M. Cintia Piccolo. Super-resolution Border Segmentation and Measurement in Remote Sensing Images. Computers & Geosciences 40 (2012), pp. 87-96, ISSN 0098-3004.
- [3] Cipolletti, Marina, Claudio Delrieux, Gerardo Perillo. Claudio Delrieux, Gerardo Perillo.Border Extrapolation in Remote Sensing Imagery. Computers & Geosciences 62 (2014) pp. 25-34, ISSN 0098-3004.
- [4] Claudio Delrieux, Pablo Odorico, Lucas Rodriguez, Marina Cipolletti, Diego Marcovecchio. Real-Time Vessel and Oil Spill Detection using SAR Satellite Imagery:Application to the Argentine Ocean Littoral, Indian Journal on Marine Sciences (2015, en prensa). ISSN 0379-5136.
- [5] J. Freer, T.S. Richardson, Developing a novel UAV (Unmanned Aerial Vehicle) helicopter platform for very high resolution environmental monitoring of catchment processes. Geophysical Research Abstracts Vol. 14, EGU2012-12956, 2012.
- [6] Jensen, J.R. Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective (2nd ed.). Prentice Hall. ISBN 0-13-188950-8 (2007).

⁷ JPL Institutional Coding Standard for the C Programming Language, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 2009. http://lars-lab.jpl.nasa.gov/JPL_Coding_Standard_C.pdf?

⁸ Joint Strike Fighter air vehicle C++ coding standards for the system development and demonstration program, Lockheed Martin Corp. 2005.

- [7] Jimenez Berni, J.A. and Zarco Tejada, P.J. and Suarez, L. and Fereres, E. Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing* 47(3). (2009).
- [8] Knoth, C., Klein, B., Prinz, T., Kleinebecker, T. Unmanned aerial vehicles as innovative remote sensing platforms for high-resolution infrared imagery to support restoration monitoring in cut-over bogs. *Applied Vegetation Science*, 16: 509-517. (2013).
- [9] Michaelsen, E.; Jochen Meidow (2014), Stochastic reasoning for structural pattern recognition: An example from image-based UAV navigation, *Pattern Recognition*, Volume 47, Issue 8, Pp. 2732-2744, ISSN 0031-3203.
- [10] Mohanty, P. and Dayal R. Parhi. Controlling the Motion of an Autonomous Mobile Robot Using Various Techniques: a Review. *Journal of Advance Mechanical Engineering* (2013) 1: 24-39.
- [11] Niethammer, U., M.R. James, S. Rothmund, J. Travelletti, M. Joswig, UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results, *Engineering Geology*, Volume 128, 2-11, ISSN 0013-7952 (2012).
- [12] Primicerio, J., Di Gennaro, S., Fiorillo, E., Genesisio, L., Lugato, E., Matese, A., Vaccari, F., A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture* Vol. 13(4), 517-523 (2012).
- [13] Rackliffe, N. Yanko, H. Casper, J. Using Geographic Information Systems (GIS) for UAV Landings and UGV Navigation. University of Massachussets. The MITRE Corporation, Bedford, Massachussets 01730-1420. IEEE (2011).
- [14] Rahiman, W.; Zainal, Z., "An overview of development GPS navigation for autonomous car," *Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2013 8th IEEE Conference on , vol., no., pp.1112,1118, (2013).
- [15] Rango A., A. Laliberte. J. Herrick, C. Winters, K. Havstad, Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management, *J. Appl. Remote Sens.* vol. 3(1), (2009).
- [16] Schmid, K., Lutz, P., Tomić, T., Mair, E. and Hirschmüller, H. (2014), Autonomous Vision-based Micro Air Vehicle for Indoor and Outdoor Navigation. *J. Field Robotics*, 31: 537–570.
- [17] Siagian, C., Chang, C. K. and Itti, L. (2014), Autonomous Mobile Robot Localization and Navigation Using a Hierarchical Map Representation Primarily Guided by Vision. *J. Field Robotics*, 31: 408–440.
- [18] Silveti, Andrea, Claudio Delrieux. Quadratic Self Correlation: An Improved Method for computing Local Fractal Dimension in Remote Sensing Imagery.. *Computers & Geosciences* 60 (2013) pp. 142-155, ISSN 0098-3004.
- [19] Varela, G.; Pilar Caamaño, Félix Orjales, Álvaro Deibe, Fernando López-Peña, Richard J. Duro (2014), Autonomous UAV based search operations using Constrained Sampling Evolutionary Algorithms, *Neurocomputing*, Volume 132, Pages 54-67, ISSN 0925-2312.
- [20] Vitale, Alejandro, Cintia Piccolo, Sibila Genchi, Claudio Delrieux, Gerardo Perillo. 3D Numerical Model of the Thermal Interaction Between Sediment-Water-Atmosphere. *Environmental Modeling and Assessment* (2014). ISSN 1420-2026.
- [21] Alejandro Vitale, Sibila Genchi, Claudio Delrieux, Gerardo Perillo. Structure-From-Motion Approach for Characterization of Bioerosion Patterns Using UAV Imagery. *Sensors* 15(2), 2015, pp. 3393-3609. ISBN 1424-8220.
- [22] Yue, Jianwei, Tianjie Lei, Changchun Li, Jiangqun Zhu, The Application of Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing in Quickly Monitoring Crop Pests. *Intelligent Automation & Soft Computing*, Vol. 18 (8), (2012).
- [23] Zang, Wenqian; Lin, Jiayuan; Wang, Yangchun; Tao, Heping, Investigating small-scale water pollution with UAV Remote Sensing Technology, *IEEE World Automation Congress (WAC)*, Vol. 1 (4), 24-28, ISBN: 978-1-4673-4497-5 (2012).
- [24] Zhang, Jianxia; Tao Yu; Jiping Chen; Liying Hou; Jingjing Diao; Yumeng Zhang, Design of ground monitor and control system for UAV remote sensing based on World Wind, *IEEE 3rd International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, 51-54. (2012).