



Universidad Tecnológica Nacional
Rectorado
Secretaría de Ciencia, Tecnología y
Posgrado

SISTEMA DE INFORMACION DE CIENCIA Y
TECNOLOGIA (SICyT)

FORMULARIO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Código del Proyecto: CCUTNCO0007805

1. Unidad Científico-Tecnológica

FR Córdoba - CIII: CENTRO DE INVESTIGACION EN INFORMATICA PARA INGENIERÍA

2. Denominación del PID

Algoritmos de exploración para búsqueda y rescate usando enjambres de robots de bajo costo

3. Resumen Técnico del PID

En las últimas décadas, gracias a los avances en la conectividad, el mundo ha sido testigo de grandes catástrofes naturales y provocadas. Terremotos, inundaciones, atentados o accidentes tienen en común la presencia de equipos de búsqueda y rescate (SAR por las siglas de Search and Rescue), formados por expertos que arriesgan sus vidas buscando sobrevivientes. En los últimos años se han comenzado a incorporar robots a los equipos SAR, lo que permite explorar zonas de riesgo minimizando la exposición de los rescatistas a los peligros inherentes a la situación. Motivado por el accidente nuclear de Fukushima en 2011, desde 2012 a 2015 se llevó a cabo el DARPA Robotics Challenge, competencia que incentivaba a empresas, universidades y centros de investigación a desarrollar robots que puedan operar en ambientes peligrosos de tipo industrial de manera autónoma. Desde 2019 hasta 2021 se lleva a cabo el DARPA Subterranean Challenge, que consiste en la exploración por parte de robots autónomos de distintos ambientes bajo tierra: túneles de ciudades, minas subterráneas y cuevas. En este contexto, viendo que son problemas que están siendo abordados en la actualidad, este proyecto plantea resolver el problema de la exploración de un ambiente no estructurado, con robots móviles heterogéneos. Se propone almacenar una combinación entre mapas métricos y topológicos para la exploración. Se espera explotar la gran cantidad de información que provee un mapa métrico, que permite acciones de bajo nivel como la evasión de obstáculos, y de forma complementaria la representación simple de los mapas topológicos que permiten tareas de alto nivel como la planificación de trayectorias para el regreso a la base.

4. Programa

Electrónica, Computación y Comunicaciones

5. Proyecto

Tipo de Proyecto: UTN (PID UTN) SIN INCORPORACION EN PROGRAMA INCENTIVOS

Tipo de Actividad: Investigación Aplicada

Campos de Aplicación:

Rubro	Descrip. Actividad	Otra (especificada)
DEFENSA Y SEGURIDAD	Otros - Defensa Y Seguridad	
PROMOCION GENERAL DEL CONOCIMIENTO	Ciencias de la ingeniería y arquitectura	

Disciplinas Científicas:

Rubro	Disciplina Científica	Otras Disciplinas Científicas
MATEMÁTICA	Estadística	-
INGENIERIA AERONÁUTICA	Instrumentación	-
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES ELECTRÓNICA Y CONTROL	Comunicaciones	-
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA	Robótica	-

Palabras Clave

Robótica, exploración, mapeo, planificación, fusión sensorial, redes, UAV

6. Fechas de realización

Inicio	Fin	Duración	Fecha de Homologación
01/01/2020	31/12/2021	24 meses	21/11/2019

7. Aprobación/ Acreditación / Homologación / Reconocimiento (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

7.1 Aprobación / Acreditación / Reconocimiento (para ser completado por la FR cuando se posea N° Resolución)

N° de Resolución de aprobación de la FR:

7.2 Homologación (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

Código SCTyP: CCUTNCO0007805

Disposición SCTyP: 148/2019

Código Ministerio:

8. Estado (para ser completado por la SCTyP - Rectorado)

HOMOLOGADO

9. Aavales (presentación obligatoria de aavales)

10. Personal Científico Tecnológico que participa en el PID

Apellido y Nombre	Cargo	Hs/Sem	Fecha Alta	Fecha Baja	Otros Cargos
PEREZ PAINA, GONZALO FERNANDO	CO-DIRECTOR	10	01/01/2020	31/12/2021	-
GONZÁLEZ DONDO, DIEGO	INVESTIGADOR FORMADO	10	01/01/2020	31/12/2021	-
PAZ, CLAUDIO JOSÉ	DIRECTOR	20	01/01/2020	31/12/2021	-
PEREYRA, MAIRA ESTEFANIA	INVESTIGADOR TESISISTA	10	01/01/2020	31/12/2021	-
SCHNEIDER, AXEL CRISTIAN	BECARIO ALUMNO UTN-SAE	6	01/01/2020	31/12/2021	-
NIEVAS, MARTIN	BECARIO POSGRADO - DOCTORAL EN EL PAÍS	10	01/01/2020	31/12/2021	-
DIAZ DURAN, FRANCISCO JAVIER	BECARIO ALUMNO UTN-SCYT	12	01/01/2020	31/12/2021	-
HERNANDO, DIEGO JOAQUIN	BECARIO BIND	20	01/01/2020	31/12/2021	-

11. Datos de la investigación

Estado actual de concimiento del tema

Cuando ocurre un desastre ya sea natural o provocado, las acciones llevadas a cabo en las primeras horas del acontecimiento son las más importantes en el rescate de sobrevivientes [1]. La utilización de robots exploradores como herramienta para los rescatistas, puede mejorar las posibilidades de supervivencia de las víctimas de la catástrofe y minimizan el riesgo inherente al trabajo en zonas de desastre. En comparación con rescatistas y perros entrenados en búsqueda y rescate, los robots tienen la ventaja de no sufren estrés ni fatiga [2]. Otra ventaja es que los robots de rescate, en la medida que puedan ser construidos, podrían desplegarse en grandes cantidades, mientras que los profesionales de rescate con experiencia y los perros de rescate entrenados son recursos escasos [3]. Además, los robots son prescindibles, al contrario de los humanos y perros de rescate: si un robot de rescate es dañado, puede ser reparado o reemplazado, pero la pérdida de rescatistas o perros es difícil de sobrellevar debido a su rol social [4]. Sistemas de emergencia que cuenten con múltiples robots podrían cubrir mayores áreas de terreno, minimizando el tiempo de rescate. Sin embargo esto incrementaría también la cantidad de personal calificado necesario para comandar los robots. Sería útil contar con sistemas autónomos o semi-autónomos que requieran mínima interacción con operadores.

Por lo tanto, existe una oportunidad para la investigación y el desarrollo de grupos robots de búsqueda y rescate que puedan ser liberados inmediatamente después de un desastre, donde las condiciones sean demasiado peligrosas, y de forma cooperativa aumenten las posibilidades de éxito de la tarea de rescate. Sin embargo, la navegación autónoma en zonas de desastre es especialmente complicada debido a que el área en cuestión es usualmente desordenada, desestructurada e impredecible [4].

El proceso de exploración se puede entender como un proceso de navegación de un robot móvil, en un entorno desconocido para construir un modelo del medio ambiente. Dependiendo de la aplicación, del entorno y del tipo de robot entre otras cosas, los problemas asociados a la navegación son muy diversos. Un algoritmo de exploración se puede definir como un procedimiento iterativo que consiste en una selección de un nuevo objetivo y una navegación hacia este objetivo. Tal algoritmo se termina siempre que se cumpla la condición definida (objetivo de la misión). La estrategia de exploración determina el próximo objetivo del robot en cada iteración (un paso de exploración) con respecto a la posición real del robot, el conocimiento actual sobre el entorno y un criterio de optimización seleccionado. La identificación de las regiones inexploradas del entorno se puede hacer de diferentes maneras dependiendo de la representación del espacio que utiliza el robot. Uno de los más populares es el uso de mapas utilizando una cuadrícula o grilla de ocupación [5]. Éstos mapas representan la probabilidad de ocupación de cada

zona del entorno dentro de una cuadrícula. A medida que el robot se mueve, la probabilidad de ocupación para cada celda se actualiza con la información de los diferentes sensores. Según la probabilidad de ocupación, las celdas se pueden clasificar como libres, ocupadas o desconocidas. Usando esta representación, un robot puede alcanzar una zona inexplorada mediante la navegación hacia las celdas de frontera que separan las celdas libres de las celdas desconocidas [6]. Sin embargo, otros autores usan representaciones diferentes, y por lo tanto identifican las regiones no exploradas de diferentes maneras. Por ejemplo, Wulschleger et al. [7] usan una representación del entorno donde cada segmento corresponde a una pared diferente de un ambiente interior. En este caso, la exploración se lleva a cabo dirigiendo el robot a los segmentos abiertos del entorno. Makarenko et al. [8] utilizan una planificación de ruta basado en el costo-utilidad. Su función de utilidad considera la ganancia de información del mapa de ocupación en el punto objetivo así como la capacidad de localización del robot en este punto. De esta manera, las fronteras que están cerca de los puntos de referencia tienen una mayor utilidad. Consideran solo las fronteras como posibles objetivos, sin embargo, sugieren utilizar lugares donde las posibilidades de re localización son altas cuando la covarianza de la pose de los robots es demasiado grande.

Una vez identificadas las áreas de interés, el siguiente paso es elegir dónde se moverá el robot. Las técnicas anteriores [6,7] seleccionan la región inexplorada más cercana, pero no consideran la utilidad de llegar a una región en particular, solo el costo de alcanzar la misma. En este sentido, otros autores utilizan un modelo donde se elige la siguiente ubicación, como la posición que maximiza el beneficio entre el costo y la utilidad [9]. Estrategias de exploración más complejas intentan determinar las mejores posiciones de observación para mejorar la eficiencia del proceso de exploración. En particular, su objetivo es reducir el tiempo de exploración, realizando un pequeño número de pasos de exploración y limitando la ruta recorrida, mientras se construye un mapa preciso. En general, estos métodos emplean un enfoque voraz (o greedy en inglés) [10], que consiste en mover el robot desde su ubicación actual hacia la siguiente mejor posición de observación.

En cuanto a la exploración con múltiples robots [11,12] introdujeron una coordinación mediante la reducción de la utilidad inicial determinada dada a cada frontera dependiendo de la probabilidad de estar en el rango del sensor de otros robots. La asignación de fronteras a los robots se realiza de forma secuencial utilizando un enfoque de costo-utilidad con la longitud de la ruta mínima como costo. Simmons et al. [13] mejoró este modelo considerando la utilidad inicial como el número de células visibles no exploradas de cada frontera. Por otra parte, Burgard et al. [14] sugirieron que la asignación de fronteras a los robots podría optimizarse utilizando el Método Húngaro [15] en lugar de la asignación secuencial. En [16] se utilizó un conjunto de tres comportamientos: evasión de obstáculos, explorar fronteras y evadir otros robots de forma reactiva. Juliá et al. [17] amplió este modelo agregando dos nuevos comportamientos: mejorar los puntos de referencia imprecisos y dirigirse a zonas inexploradas. Estos comportamientos introducen el concepto de ganancia de información a partir de un mapa métrico y un mapa topológico. En [18] se presenta un enfoque integral al problema de la exploración y realiza una comparación mediante simulaciones con otros algoritmos de exploración.

Otras técnicas utilizadas son por ejemplo el enfoque de SRT [19] que se extiende a equipos de múltiples robots considerando la coordinación de Franchi et al. [20]. Su enfoque mejora usando un gráfico aleatorio basado en sensores (SRG por sus siglas en inglés) mediante la adición de puentes al árbol. Este hecho permite a los robots planificar trayectorias rápidas, ya que de esta manera no necesitan realizar un seguimiento de todos los nodos del árbol en ambientes con bucles [21]. Algoritmos de exploración basados en la frontera de Yamauchi [11] también presentan ventajas al ser utilizados en exploración con múltiples robots.

En los años recientes, se han desarrollado algunas propuestas para la problemática de búsqueda y rescate utilizando varios robots [22,23,24,25], las cuales han sido puestas en práctica en la última década con la participación en terremotos y atentados terroristas [26,27,28]. En general, el objetivo principal de un robot de búsqueda y rescate (SAR por sus siglas en inglés) en una misión es explorar escenas de desastres, mientras se buscan víctimas. Debido a que los robots deben determinar su posición y orientación de manera precisa y robusta en ambientes interiores, posiblemente desconocidos y no estructurados donde no se cuentan con señales de GPS [29], los robots deben recurrir a otras alternativas de localización como la fusión entre unidades inerciales y sistemas que determinen flujo óptico [30].

Para resolver el problema del mapeo en ambientes de gran escala se necesita mayor capacidad de cómputo, ya que la información disponible aumenta rápidamente con el paso del tiempo. Sin embargo, con el objeto de evadir obstáculos y regresar a la base, no hace falta contar con un mapa para localizar el vehículo, sino un mapa atravesable [20]. La planificación en estos términos es el algoritmo que, dado el mapa del ambiente de trabajo, la localización de la base en el mismo y la posición del vehículo, determina la mejor trayectoria libre de obstáculos para retornar a la base.

[1] Huder, R.C. "Disaster Operations and Decision Making", Wiley. 2013

[2] Burke, Jennifer L.; Murphy, Robin R.; Covert, Michael D. ; Riddle, Dawn L. "Moonlight in Miami: Field Study of Human-Robot Interaction in the Context of an Urban Search and Rescue Disaster Response Training Exercise", Journal in Human-Computer Interaction. 2014

[3] Casper, J.; Murphy, R. "Human-robot interactions during the robot-assisted urban search and rescue response at the World Trade Center" IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 2003.

[4] Casper, J.; Micire, M.; Murphy, R. "Issues in intelligent robots for search and rescue", Proceedings of SPIE. 2000.

- [5] Moravec, H.; Elfes, A. "High resolution maps from wide angle sonar". Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation (ICRA'85). 1985.
- [6] Yamauchi, B. "A frontier based approach for autonomous exploration". Proceedings of the IEEE international symposium on computational intelligence in robotics and automation (CIRA'97). 1997.
- [7] Wulschleger, F. H.; Arras, KO, Vestli, S. J.. "A flexible exploration framework for map building". In Third European workshop on advanced mobile robots (Eurobot'99). 1999.
- [8] Makarenko, A.; Williams, S.; Bourgoult, F.; Durrant-Whyte. "An experiment in integrated exploration". Proceedings of the IEEE-RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'02). 2002.
- [9] González-Baños, H. H.; Latombe, J. C. "Navigation strategies for exploring indoor environments". International Journal of Robotics Research. 2002.
- [10] Tovey, C.; Koenig, S. "Improved analysis of greedy mapping". Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2003.
- [11] Yamauchi, B. "Frontier-based exploration using multiple robots". AGENTS '98: Proceedings of the second international conference on Autonomous agents. 1998.
- [12] Burgard, W.; Moors, M.; Fox, D.; Simmons, R.; Thrun, S. "Collaborative multi-robot exploration". Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation (ICRA'00). 2000.
- [13] Simmons, R.; Apfelbaum, D.; Burgard, W.; Fox, D.; Moors, M.; Thrun, S.; Younes, H. "Coordination for multi-robot exploration and mapping". Proceedings of the AAAI national conference on artificial intelligence. 2000.
- [14] Burgard, W.; Moors, M.; Stachniss, C.; Schneider, F. "Coordinated multi-robot exploration". IEEE Transactions on Robotics. 2005.
- [15] Kuhn, H. "The Hungarian method for the assignment problem". Naval Research Logistics Quarterly. 1955.
- [16] Lau, H. "Behavioural approach for multi-robot exploration". Proceedings of the Australasian conference on robotics and automation (ACRA'03). 2003.
- [17] Juliá, M.; Gil, A.; Payá, L.; Reinoso, O. "Local minima detection in potential field based cooperative multi-robot exploration". International Journal of Factory Automation, Robotics and SoftComputing. 2008.
year = {2008}
- [18] Juliá, M.; Reinoso, O.; Gil, A.; Ballesta ,M.; Payá ,L. "A hybrid solution to the multi-robot integrated exploration problem". Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2009.
- [19] Freda, L.; Oriolo, G. "Frontier-based probabilistic strategies for sensor-based exploration". Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation (ICRA'05). 2005.
- [20] Franchi, A; Freda, L; Oriolo, G; Vendittelli, M. "The sensor-based random graph method for cooperative robot exploration". IEEE/ASME Transactions in Mechatronics. 2009.
- [21] Franchi, A.; Freda, L.; Oriolo, G.; Vendittelli, M. "A randomized strategy for cooperative robot exploration". In Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation (ICRA'07). 2007.
- [22] Liu, Yugang; Nejat, Goldie. "Robotic Urban Search and Rescue: A Survey from the Control Perspective". Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2013.
- [23] Incze, M.L.; Sideleau, S.R.; Gagner, C.; Pippin, C.A. "Communication and collaboration of heterogeneous unmanned systems using the joint architecture for Unmanned Systems (JAUS) standards". OCEANS. 2015
- [24] Yanguas-Rojas, D.; Cardona, G. A.; Ramirez-Rugeles, J. Mojica-Nava, E. "Victims search, identification, and evacuation with heterogeneous robot networks for search and rescue". IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC). 2017.
- [25] Serrano López, Daniel; Moreno, German; Cordero, Jose; Sanchez, Jose. "Interoperability in a Heterogeneous Team of Search and Rescue Robots". Search and Rescue Robotics. 2017.
- [26] Murphy, R. "Activities of rescue robots at the world trade center from 11–21 September 2001". IEEE Robot.Autom. Mag. 2004.
- [27] Guizzo, E. "Japan earthquake: Robots help search for survivors". IEEE Spectrum. 2011.
- [28] Guizzo, E. "Japan earthquake: more robots to the rescue". IEEE Spectrum. 2011.

[29] Thrun, S.; Thayer, S.; Whittaker, W. "Autonomous exploration and mapping of abandoned mines". IEEE Robotics and Automation Magazine. 2005.

[30] Paz, Claudio J. "Estimación eficiente de la posición y orientación de un vehículo en tiempo real por medio de sensores de bajo costo". Tesis Doctoral. 2016.

Grado de Avance

Una de las áreas más desarrolladas en el Centro de Investigación en Informática para la Ingeniería (CII) trabaja en temáticas fuertemente relacionadas con el presente proyecto. Se destacan los aportes en investigaciones y desarrollos relativos a la estimación de posición y/o orientación, mapeo y planificación de trayectorias mediante la fusión de información de diferentes sensores utilizados típicamente a bordo de VANT, principalmente cámaras y unidades inerciales.

Se pueden destacar los siguientes: en [31,32] se presenta un esquema de fusión sensorial para la estimación de orientación implementado en un sistema embebido, fusionando la información de mediciones inerciales provenientes de acelerómetros y giróscopos, en conjunto con mediciones de orientación absoluta obtenidas de un magnetómetro, y un sonar para determinar la altura del VANT. En particular, en [33,34] además de la fusión se corrige el error en el sonar provocado por la inclinación del VANT. Como alternativa a los telémetros también se realizó un trabajo fusionando la unidad inercial con un barómetro [35] donde el aporte fue realizar una linealización previa de la función de observación.

Cuando la información de orientación dada por un magnetómetro no está disponible o resulta altamente perturbada por el entorno, se reemplaza dicha mediciones por información similar obtenida a partir de una cámara, lo que se puede realizar de distintas maneras, como se describe en [36, 37, 38, 39, 40, 41, 42] y se valida en [43]. Además, se han propuesto y evaluado diferentes esquemas de fusión utilizando variantes del filtro de Kalman (EKF y UKF) y filtro de partículas (PF y GPH) como se presenta en [44]. En [44, 45] se presenta la evaluación de estos algoritmos en plataformas con distinta capacidad de cómputo.

Por otro lado, la utilización de una única cámara o visión monocular permite determinar la pose del vehículo mediante el algoritmo de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), contando con aportes también en esta línea de investigación. En [46] se presenta un esquema de SLAM monocular que utiliza técnicas del estado del arte para la inicialización de características, donde la estimación se realiza con un filtro UKF (Unscented Kalman Filter), mientras que en [47] se describe un esquema similar utilizando el filtro EKF (Extended Kalman Filter).

En cuanto a la planificación de trayectorias se pueden destacar tanto trabajos con un vehículo [48] como con múltiples VANTs [49].

Otros aportes relevantes concierne a las investigaciones relativas al calibrado de cámaras para su uso en odometría visual [50]. Por último, el equipo de trabajo mencionado cuenta también con experiencia relevante en el diseño y desarrollo de diferentes modelos de vehículos voladores y terrestres tal como se describe en [51, 52].

Referencias:

[31] Claudio Paz, Gabriel Infante, Jeremías Báez Carballo, Federico Díaz Báez, Cristian Cavenio. "Implementación de un filtro extendido de Kalman para la estimación de la orientación de un UAV utilizando el estándar CMSIS". In Proceedings of the Microelectrónica Aplicada. 2014.

[32] Claudio Paz, Gonzalo Perez Paina, Gabriel Infante, Cristian Cavenio, Gastón Araguás. "Fusión sensorial para la estimación de la orientación y la altura de un UAV utilizando un EKF". In Proceedings of the VIII Jornadas Argentinas de Robótica (JAR). 2014.

[33] Claudio J. Paz, Gonzalo Perez Paina, Martín A. Pucheta. "Acoplamiento en la estimación de la orientación y la altura mediante filtro Extendido de Kalman". XXII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones, ENIEF. 2016.

[34] Claudio J. Paz, Sergio Nesmachnow. "Double Coupling Between Inertial Sensors and Visual Odometry in Multicopters". XLIII Conferencia Latinoamericana de Informática, CLEI. 2017.

[35] Claudio J. Paz, Julio H. Toloza, Luis R. Canali. "Linealización Alternativa del Modelo Atmosférico para Estimación de Altitud con Filtro de Kalman". IEEE ARGENCON 2016.

[36] Gastón Araguás, Claudio Paz, David Gaydou, Gonzalo Perez Paina. "Quaternion-based orientation estimation fusing a camera and inertial sensors for a hovering UAV". Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2015.

[37] Gastón Araguás, Claudio Paz, David Gaydou, Gonzalo Perez Paina. "Orientation estimation fusing a downward looking camera and inertial sensors for a hovering UAV". 16th International Conference on in Advanced Robotics, ICAR. 2013.

[38] Claudio Paz, Gastón Araguás, Gonzalo Pérez Paina, Hugo Toloza. "Algoritmo de paralelización para la estimación en tiempo real del ángulo de guiñada de un UAV". In Proceedings of the Argencon. 2014.

[39] Gastón Araguás, Claudio Paz, Gonzalo F. Perez Paina, Luis Rafael Canali. "Visual homography based pose

estimation of a quadrotor using spectral features" 2nd Latin-American Congress on Computational Intelligence, LA-CCI. 2015.

[40] Gonzalo Perez Paina, Martin Pucheta, Claudio J. Paz. "IMU- and exteroceptive sensor- based fusion for UAV control". XVII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, RPIC. 2017.

[41] Gonzalo Perez Paina, Claudio Paz, Miroslav Kulich, Martin Saska, Gastón Araguás. "Fusion of monocular visual-inertial measurements for three dimensional pose estimation", Modelling and Simulation for Autonomous Systems, Lecture Notes in Computer Science. 2016.

[42] Gastón Araguás, Claudio Paz, Gonzalo F. Perez Paina, Luis Rafael Canali. "Monocular pose estimation for an Unmanned Aerial Vehicle using spectral features". Designing with Computational Intelligence. Studies in Computational Intelligence. 2017

[43] Gonzalo Perez Paina, Claudio J. Paz, Martín Pucheta, Bruno Bianchini, Fernando Martinez, Martín Nievas. "Validation of an IMU-camera fusion algorithm using an industrial robot". IX Jornadas Argentinas de Robótica, JAR. 2017.

[44] Claudio J. Paz, Gonzalo F. Perez Paina, Julio H. Toloza. "A comparison of bayesian filters for orientation estimation". In Proceedings of the XV Workshow on Information Processing and Control, RPIC. 2013.

[45] Claudio Paz, Sergio Nesmachnow, Julio Hugo Toloza. "A Parallel Multilevel Data Decomposition Algorithm for Orientation Estimation of Unmanned Aerial Vehicles". Latin American High Performance Computing Conference, 2014.

[46] Gonzalo Perez Paina, Claudio Paz, Martín Baudino, and Luis Canali. "SLAM monocular basado en UKF para la localización de un robot móvil". In Proceedings of the VIII Jornadas Argentinas de Robótica, JAR. 2014.

[47] Gonzalo F. Perez Paina, Eduardo Destéfani. "Monocular simultaneous localization and mapping system for a wheeled mobile robot". In Proceedings of the XV Workshow on Information Processing and Control, RPIC. 2013.

[48] Martín A. Pucheta, Nicolas Alberto, Claudio J. Paz, Gonzalo Perez Paina. "Trajectory Planning for an Unmanned Quadrotor". XXII Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones, ENIEF. 2016.

[49] Diego Gonzalez Dondo, Maira E. Pereyra, Gastón Araguás. "Multirobot path planning using distributed target tracking in a camera network". International Symposium of Experimental Robotics, ISER. 2018.

[50] Gastón Araguás, Gonzalo Perez Paina, Guillermo Steiner, and Luis Canali. "Extrinsic calibration of a camerarobot system under non-holonomic constraints". In Proceedings of the AST in 40th Argentine Conference on Informatics (JAIO), pages 157–167, 2011.

[51] David Gaydou, Gonzalo Suarez, Claudio Paz, Gonzalo Perez Paina, Gastón Araguás. "Robot volador no tripulado QA3. Diseño y construcción de un cuatrirrotor para experimentación". In Proceedings of the VIII Jornadas Argentinas de Robótica, JAR. 2014.

[52] Gonzalo Perez-Paina, Edio José Guizzo, Ignacio Torres, Diego Gonzalez-Dondo, Claudio Paz, Fernando Trasobares. "Open hardware wheeled mobile robot for educational purposes". Congreso Argentino de Sistemas Embebidos, CASE. 2018.

Objetivos de la investigación

Objetivos Generales

Realizar aportes innovadores a la problemática de la exploración autónoma con múltiples robots móviles mediante la fusión de los datos provenientes de cámaras y otros sensores de bajo costo, para generar una representación del conocimiento espacial sobre el entorno circundante y generar un mapa atravesable.
Implementar los algoritmos propuestos en las plataformas experimentales de desarrollo propio.

Objetivos Particulares

1. Desarrollar algoritmos para la exploración autónoma de un entorno desconocido generando mapas de bajo costo computacional tanto respecto de su almacenamiento como de su procesamiento.
2. Implementar un sistema de comunicación que permita vincular múltiples robots utilizando protocolos usados en redes de sensores de bajos recursos.
3. Desarrollar algoritmos para utilizar robots con distintas características de movilidad y percepción de forma coordinada para que se aumente la posibilidad de alcanzar el éxito de la misión.
4. Implementar algoritmos de exploración y navegación en plataformas capaces de paralelizar el procesamiento de

la información obtenida del entorno.

Descripción de la metodología

1. Se implementará una combinación de mapas topológicos con mapas métricos usando teoría de grafos, almacenando en cada nodo solo los puntos notables relativos a la posición estimada. Con esto se espera reducir el tiempo de transmisión, almacenamiento y procesamiento.

1.1 Para los mapas métricos se prevé utilizar el método de exploración de fronteras de Yamauchi [53], utilizando una representación en diagramas de Voronoi [54]. La detección de fronteras y puntos notables queda a cargo de un sistema experto formado por pares de cámaras estéreo [55].

1.2 Para los mapas topológicos, se considerará el problema como una búsqueda de grafos, donde el grafo no es conocido de antemano [56]. Se estudiarán esquemas de compresión de grafos mediante lista de artistas o matriz de representación.

2. Se estudiarán distintos protocolos de comunicación utilizados en redes de sensores, los cuales son eficientes respecto de los recursos físicos.

2.1 Se implementarán los distintos protocolos para su evaluación, particularmente MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) y CoAP (Constrained Application Protocol) [57] en las plataformas disponibles.

3. Se evaluarán distintos métodos de planificación de caminos, particularmente la planificación por campos de potencial para obtener funciones de costo necesarias para dividir tareas entre robots con distintas capacidades de movimiento o percepción.

4. Se implementarán los algoritmos desarrollados en plataformas de sistemas embebidos multiprocesador (MPSoC) con el objetivo de paralelizar las tareas y lograr resultados en tiempo real.

Referencias

[53] Yamauchi, B. "Frontier-based exploration using multiple robots". AGENTS '98: Proceedings of the second international conference on Autonomous agents. 1998.

[54] Wurm, K. M.; Stachniss, C.; Burgard, W. "Coordinated multirobot exploration using a segmentation of the environment". Proceedings of the IEEE-RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS'08). 2008.

[55] Wang Y.; Wang, G. "3D Feature Points Reconstruction Based on Stereo Vision of UAV". 2nd International Conference on Information Engineering and Computer Science. 2010.

[56] Bender, M. A.; Fernández, A.; Ron, D.; Sahai, A.; Vadhan, S. P. "The Power of a Pebble: Exploring and Mapping Directed Graphs". Information and Computation. 2002.

[57] Thangavel, D.; Ma, X.; Valera, A.; Tan, H.; Tan, C.K. "Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware". IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP). 2014.

12. Contribuciones del Proyecto

Contribuciones al avance científico, tecnológico, transferencia al medio

Los avances teóricos y algoritmos obtenidos del presente proyecto de investigación y desarrollo permitirán acercarse más a solucionar problemas y necesidades actuales, como son la búsqueda y rescate de víctimas de desastres naturales o provocados. Aunque también se espera que puedan aplicarse a otros campos de investigación como ser el de robots industriales o agrícolas. Y en general, a cualquier proceso que cuente con robots como herramientas, ya que se esperan aportes en lo que respecta a optimización de mapeos, planificaciones, y por supuesto exploración como integración de los dos anteriores.

Contribuciones a la formación de Recursos Humanos

Dada la importancia que tiene la ciencia y tecnología en el desarrollo de un país, se espera incorporar a estudiantes de grado al equipo de investigadores formados y en formación para fortalecer su interés en la investigación aplicada. Además, se espera con este proyecto contribuir con la formación continua de los becarios doctorales del centro de investigación donde está radicado el proyecto.

Específicamente se prevé:

1. Incorporar dos (2) becarios de grado a las tareas de investigación enmarcadas en el proyecto.
2. Continuar con el desarrollo de la tesis de doctorado "Exploración eficiente de ambientes no estructurados utilizando robots heterogéneos" del Ing. Martín Nievas, Dirigido por el Dr. R. Gastón Araguás y Co-Dirigido por el Dr. Claudio J. Paz.
3. Continuar con el desarrollo de la tesis de doctorado "Planificación de camino y trayectoria de una formación de robots autónomos" de la Ing. Maira Estefanía Pereyra, Dirigida por el Dr. R. Gastón Araguás y Co-Dirigida por

13. Cronograma de Actividades

Año	Actividad	Inicio	Duración	Fin
1	Estudio e implementación de los algoritmos disponibles para detectar características usando cámaras estéreo	01/01/2020	3 meses	31/03/2020
1	Estudio de la representación de mapas con grafos.	01/01/2020	3 meses	31/03/2020
1	Evaluación en simulador de la representación del mapa (métrico/topológico)	01/04/2020	5 meses	31/08/2020
1	Documentación	01/04/2020	9 meses	31/12/2020
1	Divulgación de resultados obtenidos	01/09/2020	4 meses	31/12/2020
2	Puesta a punto de las plataformas disponibles para evaluar los algoritmos	01/01/2021	2 meses	28/02/2021
2	Implementación y evaluación de métodos de planificación	01/01/2021	4 meses	30/04/2021
2	Implementación y evaluación de protocolos de comunicación	01/03/2021	2 meses	30/04/2021
2	Experimentación sobre las plataformas disponibles	01/05/2021	4 meses	31/08/2021
2	Documentación	01/05/2021	8 meses	31/12/2021
2	Divulgación de resultados obtenidos	01/09/2021	4 meses	31/12/2021

14. Conexión del grupo de Trabajo con otros grupos de investigación en los últimos cinco años

Grupo Vinc.	Apellido	Nombre	Cargo	Institución	Ciudad	Objetivos	Descripción
MITech	Klette	Reinherd	INVESTIGADOR FORMADO	Universidad de Auckland	Auckland, Nueva Zelanda	Proyecto en cooperación	Implementación de SLAM visual con UKF. investigaciones para asistencia al conductor, proyecto EMPEDA
Intelligent and mobile robotics	Kulich	Miroslav	INVESTIGADOR FORMADO	Universidad Técnica de Praga	Praga, Republica Checa	Proyecto en cooperación. Formación de recursos humanos	Proyecto MINCyT ? MEYS 2013, estudio de sistemas multirobot. Codirección de tesis doctoral en el tema planificación de caminos para sistemas multirobot.
Instituto de altos estudios espaciales Mario Gulich	Ferral	Anabela	INVESTIGADOR FORMADO	Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE	Falda del Cañete, Córdoba	Formación de recursos humanos	Dirección de tesis de maestría en tema detección de embarcaciones usando imágenes satelitales.
Instituto de altos estudios espaciales Mario Gulich	Diéz	Sebastián	INVESTIGADOR FORMADO	Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE	Falda del Cañete, Córdoba	Proyectos en cooperación	Desarrollo de estaciones de medición de calidad de aire. Proyecto conjunto, PID provincia de Córdoba.
Centro de investigación y estudios en matemática	Sánchez	Jorge	INVESTIGADOR FORMADO	Universidad Nacional de Córdoba, FAMaF.	Córdoba	Formación de recursos humanos. Proyectos en cooperación	Codirección de tesis de doctorado en el tema reconocimiento y clasificación de objetos. Investigaciones conjuntas en redes neuronales convolucionales.

15. Presupuesto

Total Estimado del Proyecto: \$ 1560535,84

15.1. Recursos Humanos - Inciso 1 e Inciso 5

Primer Año

Becarios Inciso 5	Cantidad	Pesos	Origen del financiamiento
1. Becario Alumno Fac.Reg.	0	\$ 0,00	-
2. Becario Alumno UTN-SAE	1	\$ 11266,92	Facultad Regional
3. Becario Alumno UTN-SCTyP	1	\$ 18288,00	UTN- SCTyP
4. Becario BINID	1	\$ 42291,00	UTN- SCTyP
5. Becario Posgrado-Doctoral en el país	2	\$ 29210,00	UTN- SCTyP
6. Becario Posgrado Doctoral en el extranjero	0	\$ 0,00	-
7. Becario Posgrado - Especialización	0	\$ 0,00	-

8. Becario Posgrado - Maestría en el país	0	\$ 0,00	-	-
9. Becario Posgrado - Maestría en el extranjero	0	\$ 0,00	-	-

Docentes Investigadores y Otros - Inciso 1	Cantidad	Pesos
1.Administrativo	0	\$ 0,00
2.CoDirector	1	\$ 187785,00
3.Director	1	\$ 360653,00
4.Investigador de apoyo	0	\$ 0,00
5.Investigador Formado	1	\$ 95774,00
6.Investigador Tesista	0	\$ 0,00
7.Otras	0	\$ 0,00
8.Técnico de Apoyo	0	\$ 0,00

Totales	Inciso 5	Inciso 1	Total
Primer Año	\$ 101055,92	\$ 644212,00	\$ 745267,92

Segundo Año

Becarios Inciso 5	Cantidad	Pesos	Origen del financiamiento
1. Becario Alumno Fac.Reg.	0	\$ 0,00	-
2. Becario Alumno UTN-SAE	1	\$ 11266,92	Facultad Regional
3. Becario Alumno UTN-SCTyP	1	\$ 18288,00	UTN- SCTyP
4. Becario BINID	1	\$ 42291,00	UTN- SCTyP
5. Becario Posgrado-Doctoral en el país	2	\$ 29210,00	UTN- SCTyP
6. Becario Posgrado Doctoral en el extranjero	0	\$ 0,00	-
7. Becario Posgrado - Especialización	0	\$ 0,00	-
8. Becario Posgrado - Maestría en el país	0	\$ 0,00	-
9. Becario Posgrado - Maestría en el extranjero	0	\$ 0,00	-

Docentes Investigadores y Otros - Inciso 1	Cantidad	Pesos
1.Administrativo	0	\$ 0,00
2.CoDirector	1	\$ 187785,00
3.Director	1	\$ 360653,00
4.Investigador de apoyo	0	\$ 0,00
5.Investigador Formado	1	\$ 95774,00
6.Investigador Tesista	0	\$ 0,00
7.Otras	0	\$ 0,00
8.Técnico de Apoyo	0	\$ 0,00

Totales	Inciso 5	Inciso 1	Total
Segundo Año	\$ 101055,92	\$ 644212,00	\$ 745267,92

TOTAL GENERAL	Inciso 5	Inciso 1	Total General
Todo el Proyecto	\$ 202111,84	\$ 1288424,00	\$ 1490535,84

15.2 Bienes de consumo - Inciso 2

Año del Proyecto	Financiación Anual	Solicitado a
1	\$ 7.000,00	UTN - SCTyP
2	\$ 15.000,00	UTN - SCTyP
Total en Bienes de Consumo		\$ 22.000,00

15.3 Servicios no personales - Inciso 3

Año	Descripción	Monto	Solicitado a
1	Viáticos nacionales	\$ 10.000,00	UTN - SCTyP
2	Viáticos nacionales	\$ 10.000,00	UTN - SCTyP
Total en Servicios no personales			\$ 20.000,00

15.4 Equipos - Inciso 4.3 - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espec.	Cantidad.	Monto Unitario	Solicitado a
-----	----------	--------	-------------	--------	--------------	-----------	----------------	--------------

1	Disponible	-	Consultar listado en documento adjunto	-	-	1,00	\$ 0,00	UTN - SCTyP
1	Necesario	-	Cámara CMOS USB	DFM 22BUC03-ML	-	2,00	\$ 9.000,00	UTN - SCTyP
2	Disponible	-	Consultar listado en documento adjunto	-	-	1,00	\$ 0,00	UTN - SCTyP
2	Necesario	-	Placa de desarrollo NVIDIA	NVIDIA Jetson Nano Developer Kit	-	1,00	\$ 10.000,00	UTN - SCTyP
Total en Equipos						\$ 28.000,00		

15.5 Bibliografía de colección - Inciso 4.5 - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espc.	Cantidad	Monto Unitario	Solicitado a
1	Disponible	-	Colección Biblioteca CIII	-	-	1,00	\$ 0,00	UTN - SCTyP
2	Disponible	-	Colección Biblioteca CIII	-	-	1,00	\$ 0,00	UTN - SCTyP
Total en Bibliografía							\$ 0,00	

15.6 Software - Disponible y/o necesario

Año	Disp/Nec	Origen	Descripción	Modelo	Otras Espc.	Cantidad	Monto Unitario	Solicitado a
1	Disponible	-	Software Libre	-	-	1,00	\$ 0,00	UTN - SCTyP
2	Disponible	-	Software Libre	-	-	1,00	\$ 0,00	UTN - SCTyP
Total en Software							\$ 0,00	

16. Co-Financiamiento

Año	RR.HH.	Bienes de Consumo	Equipamiento	Servicios no personales	Bibliografía	Software	Total
1	\$745.267,92	\$7.000,00	\$18.000,00	\$10.000,00	\$0,00	\$0,00	\$780.267,92
2	\$745.267,92	\$15.000,00	\$10.000,00	\$10.000,00	\$0,00	\$0,00	\$780.267,92
Total del Proyecto	\$1.490.535,84	\$22.000,00	\$28.000,00	\$20.000,00	\$0,00	\$0,00	\$1.560.535,84

Financiamiento de la Universidad

Universidad Tecnológica Nacional - SCyT	\$ 307.998,00
Facultad Regional	\$ 1.252.537,84

Financiamiento de Terceros

Organismos públicos nacionales (CONICET, Agencia, INTI, CONEA, etc.)	\$ 0,00
Organismos / Empresas Internacionales / Extranjeros	\$ 0,00
Entidades privadas nacionales (Empresas, Fundaciones, etc.)	\$ 0,00
Otros	\$ 0,00
Total	\$ 1.560.535,84

Avales de aprobación, Financiamiento y Otros

	Orden	Nombre de archivo	Tamaño
Descargar	1	Equipamiento_CIII_2019.pdf	53510
Descargar	2	avalesscytdecanoPazClaudio.pdf	717019
Descargar	3	ResolDirectivoNº931-19.pdf	3939539

Currículums (Currículums de los integrantes cargados en el sistema)