

# Proyecto PID 2173

## Localización de Robots Móviles Utilizando Información Métrica y Semántica

Informe para la solicitud de prórroga

9 de junio de 2015

### 1. Motivos de la solicitud de prórroga

Uno de los objetivos iniciales del año 2014 era el estudio, implementación y evaluación de algoritmos de localización y mapeo simultáneos (SLAM, Simultaneous Localization and Mapping) utilizando una única cámara. En este sentido se logró obtener una implementación funcional utilizando técnicas del estado del arte. Sin embargo, surgió la necesidad de comparar los resultados obtenidos en la estimación del SLAM utilizando el filtro de Kalman Extendido y Unscented dado que la literatura consultada no presenta resultados concluyentes. Los resultados obtenidos de dicha comparación fueron presentados en las *VIII Jornadas Argentinas de Robótica* (Perez Paina et al., 2014). Otros de los objetivos del año 2014 era realizar propuestas e implementar esquemas de estimación de pose (posición y orientación) de un vehículo con seis grados de libertad a partir de mediciones de unidades inerciales. Con respecto a esto se realizó la propuesta de un esquema novedoso que fusiona la información inercial con la estimación del ángulo de guiñada utilizando una cámara y características espectrales. Además, como complemento a dichos trabajos se finalizó el desarrollo de la plataforma robótica móvil RoMAA-II y publicó en la *Revista del IEEE América Latina* (Perez Paina et al., 2014), utilizado en los demás trabajos como plataforma de experimentación.

Uno de los objetivos pendientes del año 2014 es incorporar información de sensores inerciales a la estimación en SLAM monocular. Actualmente nos encontramos realizando el estudio del estado del arte en esta área incluyendo esquemas de fusión débil y fuertemente acoplados (Abeywardena et al., 2013; Nützi et al., 2011; Pinies et al., 2007), además se está desarrollando el modelo de movimiento con unidades inerciales necesario para la implementación del filtro de estimación. En este punto surge también la necesidad de implementar algoritmos de calibración entre la unidad inercial y la cámara, como también entre la cámara y el robot sobre la que se encuentra montada, que se plantea como un nuevo objetivo. Esperamos tener una implementación inicial en pocos meses y poder presentar los resultados en congresos locales.

Por otro lado, en cuanto a los objetivos planteados para el año 2015, los mismos se encuentran enfocados a la localización semántica en robots móviles. En este sentido se han realizado avances en esquemas de clasificación en imágenes utilizando técnicas del estado del arte, como son los vectores de Fisher, presentado en *Pattern Recognition Letters* (Sánchez and Redolfi, 2015). Los resultados obtenidos han sido enviados para su evaluación *Simposio Argentino de Inteligencia Artificial (JAIIO)* (Redolfi et al., 2015 (en revisión) y *20th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP)* (Redolfi et al., 2015 (under revision)). En dichos trabajos se evalúan esquemas de clasificación de imágenes (particularmente hojas de plantas), y los mismos serán extendido para su aplicación a la localización semántica de robots. Otros de los objetivos de este año, en directa relación es la integración de información semántica y métrica en la localización de robots. En este punto, actualmente se está realizando el estudio del estado del arte enfocados principalmente en la aplicación de la información semántica para resolver el problema del cierre de lazo en el SLAM métrico. Además, se está evaluando el algoritmo conocido como FABMAP (Glover et al., 2012) y realizando propuestas para obtener mejores prestaciones usando técnicas de clasificación de imágenes en particular.

Por todo lo expuesto anteriormente y en base a los objetivos logrados en la actualidad, nos permite realizar una proyección optimista en cuanto al cumplimiento de los objetivos propuestos. Sin embargo, en

el último punto relacionado a la integración de información métrica y semántica, consideramos factible lograr avances notorios explotando las propuestas realizadas en cuanto a clasificación de imágenes. Es por ello que solicitamos se tenga a bien considerar prorrogar por un año adicional el presente proyecto.

### 1.1. Producidos hasta la fecha

- Gastón Araguás, Claudio Paz, David Gaydou, and Gonzalo Perez Paina. Quaternion-based orientation estimation fusing a camera and inertial sensors for a hovering UAV. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 77(1):37–53, 2015. ISSN 0921-0296. doi: 10.1007/s10846-014-0092-z. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s10846-014-0092-z>
- Jorge Sánchez and Javier Redolfi. Exponential family fisher vector for image classification. *Pattern Recognition Letters*, 59:26–32, 2015
- Javier Redolfi, Jorge Sánchez, and Julián Pucheta. Identificación de hojas de plantas usando vectores de fisher. In *Argentine Symposium on Artificial Intelligence, ASAI (JAIIO)*, 2015 (en revisión)
- Javier Redolfi, Jorge Sánchez, and Julián Pucheta. Leaf image classification with exponential family. In *20th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP)*, 2015 (under revision)
- 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. ISBN 978-987-1978-19-9
- Gonzalo Perez Paina, Gaston Araguas, David Gaydou, Guillermo Steiner, and Luis Rafael Canali. RoMAA-II, an open architecture mobile robot. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 12(5):915–921, Aug 2014. ISSN 1548-0992. doi: 10.1109/TLA.2014.6872906
- Claudio Paz, Gabriel Infante, Jeremías Báez Carballo, Federico Díaz Báez, and 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

## 2. Resumen técnico para el año 2016

Cuando se utiliza una cámara sobre un robot móvil es necesario conocer la transformación rígida entre ellos, también conocido como parámetros extrínsecos. Esto resulta necesario en diferentes situaciones como por ejemplo al aplicar acciones de control sobre el robot a partir de mediciones de la cámara, o cuando se necesita estimar el movimiento de la cámara a partir del movimiento del robot. En ([Araguás et al., 2010](#)) se presenta un procedimiento offline de calibración cámara/robot de fácil aplicación basado en movimientos simples de un robot de tracción diferencial.

Por otro lado, en ([Civera et al., 2009](#)) se presenta un esquema de calibración online de los parámetros intrínsecos de una cámara que opera en conjunto con un algoritmo de SLAM monocular. Para realizar esta estimación se utiliza un filtro de suma de gaussianas (SOG, Sum Of Gaussians), el cual opera como un banco de filtros EKF en paralelo. El algoritmo también presenta una forma de ir eliminando los filtros EKFs o gaussianas que resultan con bajo peso, dado que se asume que la estimación final será unimodal.

Para el caso de calibración entre una unidad inercial y una cámara, en ([Kelly and Sukhatme, 2009](#)) se presentan los modelos necesarios para estimar la traslación y los ángulos de orientación que definen la transformación rígida entre ambos sistemas aplicando el filtro de Kalman Unscented (UKF, Unscented Kalman Filter).

Un problema común en el SLAM métrico es la detección de cierre de lazo, que se da cuando el robot retorna luego de una trayectoria cerrada a la proximidad de una zona previamente visitada. Recientemente, se han demostrado importantes avances en la detección del cierre de lazo mediante localización basada en apariencia. Dado que la apariencia es independiente del error incremental en la estimación de pose, estos métodos pueden detectar de forma rápida y robusta el cierre de lazo. El estado del arte actual en la detección de cierre de lazo basado en apariencia es FAB-MAP (Fast Appearance-Based Mapping) ([Cummins and Newman, 2008](#)), el cual está inspirado en los sistemas de reconocimiento de imágenes de

bolsa de palabras. En (Glover et al., 2012) se presenta una implementación libre del algoritmo FAB-MAP con diferentes mejoras como la posibilidad de ajustar parámetros internos del algoritmo original.

Por último, un algoritmo reciente para la detección de cierre de lazo en SLAM métrico de nombre OBR-SLAM se presenta en (Mur-Artal and Tardos, 2014; Mur-Artal and Tardós., 2014), el cual es una combinación del esquema de SLAM basado en keyframe PTAM (Parallel Mapping and Tracking) junto a técnicas de reconocimiento utilizando características OBR (Oriented Fast and Rotate Brief). Dicho sistema se compone de tres tareas principales: tracking, mapeo local y cierre de lazo, las cuales corren en paralelo en una máquina multi-núcleos.

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivos generales

Realizar propuestas e implementaciones algorítmicas novedosas de esquemas de integración de información semántica y métrica orientado a la localización en robots móviles, incluyendo también la calibración online de los parámetros que determinan la transformación rígida entre los diferentes sensores a bordo del robot.

#### 3.2. Objetivos particulares y actividades

1. Estudio y evaluación de técnicas del estado del arte para la calibración entre sensores (IMU/cámara) y el robot sobre los que se encuentran, incluyendo calibración online y offline.
2. Realizar propuestas de técnicas de calibración online capaces de operar en conjunto con los algoritmos de SLAM desarrollados.
3. Estudio del estado del arte de técnicas de localización semántica en robótica y evaluación de dichos algoritmos.
4. Propuestas de esquemas de integración de la información semántica y métrica.
5. Documentación y divulgación

### 4. Cronograma de actividades

Actividades	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1												
2												
3												
4												
5												

Dr. Luis Canali  
Director PID

## Referencias

- 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. ISBN 978-987-1978-19-9.
- Gonzalo Perez Paina, Gaston Araguas, David Gaydou, Guillermo Steiner, and Luis Rafael Canali. RoMAA-II, an open architecture mobile robot. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, 12(5):915–921, Aug 2014. ISSN 1548-0992. doi: 10.1109/TLA.2014.6872906.
- D. Abeywardena, Zhan Wang, S. Kodagoda, and G. Dissanayake. Visual-inertial fusion for quadrotor micro air vehicles with improved scale observability. In *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*, pages 3148–3153, May 2013. doi: 10.1109/ICRA.2013.6631015.
- Gabriel Nützi, Stephan Weiss, Davide Scaramuzza, and Roland Siegwart. Fusion of imu and vision for absolute scale estimation in monocular slam. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 61(1-4):287–299, 2011. ISSN 0921-0296. doi: 10.1007/s10846-010-9490-z. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s10846-010-9490-z>.
- P. Pinies, T. Lupton, S. Sukkarieh, and J.D. Tardos. Inertial aiding of inverse depth slam using a monocular camera. In *Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on*, pages 2797–2802, April 2007. doi: 10.1109/ROBOT.2007.363895.
- Jorge Sánchez and Javier Redolfi. Exponential family fisher vector for image classification. *Pattern Recognition Letters*, 59:26–32, 2015.
- Javier Redolfi, Jorge Sánchez, and Julián Pucheta. Identificación de hojas de plantas usando vectores de fisher. In *Argentine Symposium on Artificial Intelligence, ASAI (JAIIO)*, 2015 (en revisión).
- Javier Redolfi, Jorge Sánchez, and Julián Pucheta. Leaf image classification with exponential family. In *20th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP)*, 2015 (under revision).
- A. Glover, W. Maddern, M. Warren, S. Reid, M. Milford, and Gordon Wyeth. Openfabmap: An open source toolbox for appearance-based loop closure detection. In *Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on*, pages 4730–4735, May 2012. doi: 10.1109/ICRA.2012.6224843.
- Gastón Araguás, Claudio Paz, David Gaydou, and Gonzalo Perez Paina. Quaternion-based orientation estimation fusing a camera and inertial sensors for a hovering UAV. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 77(1):37–53, 2015. ISSN 0921-0296. doi: 10.1007/s10846-014-0092-z. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s10846-014-0092-z>.
- Claudio Paz, Gabriel Infante, Jeremías Báez Carballo, Federico Díaz Báez, and 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.
- Gastón Araguás, Jorge Sánchez, and Luis Canali. Monocular visual odometry using features in the fourier domain. In *Proceedings of the VI Jornadas Argentinas de Robótica (JAR)*, pages 211–215, November 2010.
- J. Civera, Diana R. Bueno, A.J. Davison, and J. M M Montiel. Camera self-calibration for sequential bayesian structure from motion. In *Robotics and Automation, 2009. ICRA '09. IEEE International Conference on*, pages 403–408, May 2009. doi: 10.1109/ROBOT.2009.5152719.
- Jonathan Kelly and GauravS. Sukhatme. Fast relative pose calibration for visual and inertial sensors. In Oussama Khatib, Vijay Kumar, and GeorgeJ. Pappas, editors, *Experimental Robotics*, volume 54 of *Springer Tracts in Advanced Robotics*, pages 515–524. Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-642-00195-6.
- Mark Cummins and Paul Newman. Fab-map: Probabilistic localization and mapping in the space of appearance. *The International Journal of Robotics Research*, 27(6):647–665, 2008. doi: 10.1177/0278364908090961.

R. Mur-Artal and J.D. Tardos. Fast relocalisation and loop closing in keyframe-based slam. In *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*, pages 846–853, May 2014. doi: 10.1109/ICRA.2014.6906953.

Raúl Mur-Artal and Juan D. Tardós. Orb-slam: Tracking and mapping recognizable features. *Robotics: Science and Systems (RSS) Workshop on Multi View Geometry in RObotics (MVGRO)*. Oral presentation, July 2014.