

# Implementaciones de GNSS RTK en Sistemas Embebidos Autónomos

José Hipólito Moyano      Karina Cenci      Jorge R. Ardenghi  
 Laboratorio de Investigación en Sistemas Distribuidos  
 Laboratorio de Investigación en Ingeniería de Software y Sistemas de Información  
 Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación  
 Universidad Nacional del Sur  
 Bahía Blanca - Buenos Aires - Argentina  
 e-mail: {jose.moyano, kmc, jra} @cs.uns.edu.ar

## RESUMEN

Esta línea de investigación tiene como objetivo general analizar y comparar diferentes tecnologías existentes en el área de *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), buscando destacar las ventajas y desventajas ofrecidas. Como objetivo particular, se buscará realizar el análisis y el desarrollo de GNSS de alta precisión, con dispositivos electrónicos de bajo costo, valiéndose de la biblioteca *Real Time Kinematic Library* (RTKLIB), la cual implementa algoritmos de *Real Time Kinematic* (RTK) para cualquier dispositivo embebido.

**Palabras clave:** RTK, high-precisión, GPS, GNSS, Sistemas Embebidos.

## CONTEXTO

Esta línea de investigación y desarrollo se lleva adelante en el ámbito del Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación de la Universidad Nacional del Sur (UNS). En particular, como parte de las tareas que se realizan en el Laboratorio de Investigación en Sistemas Distribuidos (LISIDI) y en Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software y Sistemas de Información (LISSI). El proyecto se financia parcialmente con fondos asignados por la UNS a proyectos de investigación.

## INTRODUCCIÓN

En función de cumplir el objetivo para el que fueron diseñados, los sistemas embebidos integran cuatro tipos de recursos: actuadores, sensores, comunicación e interfaces. Para muchas de las aplicaciones de estos sistemas, principalmente aquellas que implican

desplazamiento de un nodo o agente, es necesario incorporar sensores que permitan conocer la localización en el espacio. Los sensores predilectos para georreferenciar, es decir, posicionar al sistema en un mapa terrestre, son los que miden una o varias de las constelaciones de GNSS.

La medición GNSS logra precisiones del orden de metros. Se puede tomar, por ejemplo, el GNSS desplegado por USA, *Navigation System with Timing and Ranging, Global Positioning System* (NAVSTAR-GPS) popularmente conocido como GPS. Este sistema, en condiciones óptimas, logra una precisión que oscila los 7 metros [USGov08]. En situaciones promedio y peor caso, se considera entre 12 y 30 metros [USGov08].

Esta precisión resulta insuficiente para la mayoría de las aplicaciones, por lo que generalmente se utilizan sensores adicionales y estrategias algorítmicas para asistir y mejorar la georeferencia del sistema, como la fusión de datos de mapas, las técnicas de *dead reckoning* mediante sensores y procesamiento de imágenes [Mou13, GBR16].

Existen distintas técnicas para mejorar la precisión del sistema de posicionamiento GNSS, por ejemplo, *Real Time Kinematic* (RTK), *Precise Point Positioning* (PPP) o *Dinamic Global Positioning System* (DGPS). La técnica de RTK distingue dos elementos en el sistema de posicionamiento. Una estación base (*base*) que, en función de su posición conocida y la onda portadora de la señal del satélite, genera y transmite correcciones en tiempo real en los modelos de estimación, permitiendo a un nodo móvil (*rover*) corregir su propia estimación de georreferenciamiento a partir de la información recibida. La técnica de RTK mejora a los sistemas de GNSS hasta

lograr precisiones del orden de centímetros. Estos sistemas se denominan GNSS de alta precisión.

A medida que el *rover* se aleja de la *base*, la información de corrección pierde relevancia, y el error en el posicionamiento aumenta. En países desarrollados, se cuenta con programas e inversiones lo suficientemente grandes, como para instalar estaciones base que emiten información de corrección a quien la requiera, construyendo redes de estaciones base RTK. Lo que permite la red de *bases* es ampliar el territorio de alcance del servicio de RTK, dando continuidad al posicionamiento de alta precisión en territorios amplios. A medida que los *rovers* se desplazan en el terreno, cambian la fuente de la información de corrección a la *base* más cercana. Estas redes son conocidas como *Continuos Operating Reference Stations* (CORS) y son piezas fundamentales en el análisis topográfico y mapeo de extensiones nacionales. Las CORS permiten los análisis del ecosistema, proyectar la evolución de la expansión poblacional y la reacción ante emergencias y catástrofes [GSum15].

Los circuitos integrados (IC) GNSS comerciales que implementan el ajuste de su posición a partir de información de corrección tienen un costo levemente superior al de un IC de GNSS convencional. Sin embargo, las estaciones base que se ofrecen en el mercado tienen un costo prohibitivo (mayores a los 15.000 USD).

### LÍNEAS DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN

La línea de investigación tiene como objetivo general el análisis y la comparación de las distintas tecnologías de GNSS, centrado en GNSS de alta precisión y en la técnica de RTK, implementada sobre sistemas embebidos.

Se buscará analizar la factibilidad y exactitud de un sistema de GNSS de alta precisión, implementado sobre dispositivos embebidos comerciales de bajo costo, basados en RTKLIB.

Como parte de la factibilidad, será necesario un análisis de las necesidades de

procesamiento, y de la capacidad ofrecida por un sistema embebido promedio, y como estas se ajustan a las necesidades de RTK.

Un objetivo particular será diseñar y desarrollar sistemas RTK donde sus nodos tengan la propiedad de convertirse de *rovers* a *bases*, y de *bases* a *rovers*. Con esta función, en lugar de contar con una estación base que nuclea toda la información de corrección en una zona, es posible construir una red dinámica de estaciones *base* y *rover*. Un nodo que comienza operando como *rover*, puede posicionarse en un punto alejado de la base, detenerse, y utilizando la información de corrección, determinar su posición con precisión. Una vez detenido, puede convertirse en una nueva *base*, emitiendo información de corrección en una nueva zona, ampliando el rango de cobertura de RTK.

### RESULTADOS ESPERADOS

En un principio, se construirá un ambiente de desarrollo para las pruebas de experimentación. Estará conformado por un sistema embebido basado en Linux, sobre una placa de desarrollo que sea soportada por *Yocto Project* (una plataforma que permite construir sistemas basados en Linux a medida de un dispositivo embebido). A este sistema operativo se le dará soporte RTKLIB, compilando las bibliotecas con el *toolchain* correspondiente a la plataforma. La placa de desarrollo tendrá una conexión con un IC GNSS, que cuente con entradas para información de corrección RTK. Preferentemente se seleccionará un IC que soporte más de una constelación GNSS, para ampliar el rango de posibilidades de prueba.

Los experimentos se llevarán a cabo con implementaciones de software cruzadas, que se puedan ejecutar en el ambiente de desarrollo y recopilar datos, para ser contrastados con información topográfica conocida, tanto de posición geográfica como de altitud.

El ambiente de desarrollo con soporte RTKLIB, será el prototipo de un nodo *base* de un sistema RTK.

Además, se trabajará sobre la posibilidad de que cada nodo tenga la función dual y

dinámica de convertirse en *rover*. Con esta capacidad, sería factible crear redes dinámicas, que puedan expandirse o contraerse al cambiar la localización de las *bases*, para ajustarse a las necesidades del terreno y la aplicación.

Por la naturaleza de la implementación (costo, consumo, capacidad de cálculo), la precisión de estos sistemas puede no llegar a ser la misma que la de un sistema comercial costoso, pero sí muy superior a un sistema sin corrección, llegando a una precisión menor a los diez centímetros, útil para la mayoría de las aplicaciones [TY09, MOA15, WBM13].

Sin embargo, es importante considerar que el error de un sistema GNSS de alta precisión aumenta, al aumentar la distancia entre el base. Dado el bajo costo de las estaciones base propuestas, se espera poder plantear la creación de una red de estaciones base, conectadas entre sí en forma de *mesh*, permitiendo a cualquier *rover* conectarse siempre a la estación base más cercana, evitando una degradación significativa. O detenerse, y sumarse a la red de bases, para proveer servicio a otros *rovers*.

Una red de estaciones base de bajo costo combina los beneficios de alta precisión, con amplitud de alcance. Por otro lado, la dualidad de funcionamiento (*base/rover*) permite proyectar redes dinámicas de información de corrección, que puedan cambiar su forma para ocupar distintas áreas de terreno.

La solución obtenida permitiría a países en vías de desarrollo, contar con una solución de GNSS de alta precisión a bajo costo, que aún con precisiones no tan buenas como los sistemas comerciales existentes, permitiría resolver la mayoría de las necesidades de georreferenciamiento de precisión.

## FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

En relación con la formación de los recursos humanos, los resultados de la investigación serán utilizados como parte del desarrollo de una tesis de Magister en Ciencias de la Computación. Además, esta línea de investigación permitirá la dirección de tesis y

trabajos finales de alumnos de grado. Asimismo, se podrá generar *courseware* para materias optativas a dictarse en el Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación de la UNS.

## BIBLIOGRAFÍA

[USGov08] GPS Standard Positioning System (SPS) Performance Standard, September 2008, US Government, 4th Ed.

[TY09] Takasu, T., & Yasuda, A. (2009, November). Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. In international symposium on GPS/GNSS (pp. 4-6). Jeju, Korea: International Convention Centre.

[MOA15] Matias, B., Oliveira, H., Almeida, J., Dias, A., Ferreira, H., Martins, A., & Silva, E. (2015, May). High-accuracy low-cost RTK-GPS for an unmanned surface vehicle. In OCEANS 2015-Genova (pp. 1-4). IEEE.

[WBM13] Wiśniewski, B., Bruniecki, K., & Moszyński, M. (2013). Evaluation of RTKLIB's Positioning Accuracy Using low-cost GNSS Receiver and ASG-EUPOS. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 7(1), 79-85.

[GSAge15] GSA, European GNSS Agency. GNSS Market Report. Issue 4. Luxembourg: Publications Office of the European Union, March 2015.

[KH05] Kaplan, E., & Hegarty, C. (2005). *Understanding GPS: principles and applications*. Artech house.

[SB11] Stempfhuber, W., & Buchholz, M. (2011, January). A precise, low-cost RTK GNSS system for UAV applications. In Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zürich (pp. 289-293).

[PHH14] Pesyna Jr, K. M., Heath Jr, R. W., & Humphreys, T. E. (2014). Centimeter positioning with a smartphone-quality GNSS

antenna. Proceedings of the ION GNSS, Tampa, FL.

[And12] Andrei, C. O. (2012, June). Cost-effective precise positioning using carrier phase navigation-grade receiver. In 2012 International Conference on Localization and GNSS (pp. 1-6). IEEE.

[GSum15] Report from the 2015 Geospatial Summit on Improving National Spatial Reference System.

[TYN14] Ryosuke Takai and Liangliang Yang and Noboru Noguchi. Development of a crawler-type robot tractor using RTK-GPS and IMU Engineering in Agriculture, Environment and Food, vol 7, no. 4, pp 143-147, 2014.

[TMFC15] Deodato Tapete, Stefano Morelli, Riccardo Fanti and Nicola Casagli. Localising deformation along the elevation of linear structures: An experiment with spaceborne InSAR and RTK GPS on the Roman Aqueducts in Rome, Italy. Applied Geography, vol 58, pp 65-83, 2015

[Hon12] Hongtao Xu. Application of GPS-RTK Technology in the Land Change Survey. Procedia Engineering In 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering.

[PP17] Jacek Paziewski and Pawel Wielgosz. Investigation of some selected strategies for multi-GNSS instantaneous RTK positioning. Advances in Space Research 2017.

[Ox117] Oxley, Alan. Uncertainties in GPS Positioning – Academic Press, pp 19-38 (2017)

[OFHS06] Manabu OMAE, Takehiko FUJIOKA, Naohisa HASHIMOTO and Hiroshi SHIMIZU. The application of RTK-GPS and Steer-By-Wire technology to the automatic driving of vehicles and an evaluation of driver behavior. 2006. IATSS Research.

[WKMBL07] René Warnant, Ivan Kutiev, Pencho Marinov, Michael Bavier and Sandrine Lejeune (2007). Ionospheric and geomagnetic conditions during periods of degraded GPS position accuracy: 2. RTK events during disturbed and quiet geomagnetic conditions. Advances in Space Research.

[Mou13] Hossein Mousazadeh. A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles. 2013 Journal of Terramechanics.

[GBR16] Dominique Gruyer, Rachid Belaroussi and Marc Revilloud (2016). Accurate lateral positioning from map data and road marking detection. Expert Systems with Applications.

[MN13] Mustafa Berber and Niyazi Arslan (2013). Network RTK: A case study in Florida. Measurement vol. 46.