

Badajoz 2018

Jornadas de Automática

5 - 7 Septiembre

Libro de Actas



XXXIX JORNADAS DE AUTOMÁTICA

Actas

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Badajoz, 5-7 de Septiembre de 2018

Actas de las XXXIX Jornadas de Automática
Badajoz, 5-7 de Septiembre de 2018

Editores: Inés Tejado Balsera
Emiliano Pérez Hernández
Antonio José Calderón Godoy
Isaías González Pérez
Pilar Merchán García
Jesús Lozano Rogado
Santiago Salamanca Miño
Blas M. Vinagre Jara

© 2018 Universidad de Extremadura

© Los autores

Publicado por: Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Extremadura

Fecha de publicación: Septiembre de 2018

Páginas: 1109

ISBN 978-84-09-04460-3

INTEGRACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA RTK DE BAJO COSTE EN UN VEHÍCULO TERRESTRE NO TRIPULADO

Iván del Pino, Miguel Á. Muñoz-Bañón, Francisco A. Candelas y Fernando Torres.
Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial (AUROVA)
Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig S/N, Alicante, Spain.

Resumen

En el presente trabajo se describe la integración y evaluación de un sistema de posicionamiento GNSS de bajo coste (u-blox C94-M8P) en un vehículo terrestre no tripulado. Este sistema es capaz de proporcionar una solución RTK out-of-the-box, –la cual deseamos estudiar para evaluar si puede ser empleada como ground-truth para el contraste de algoritmos de SLAM– y de proveer acceso al raw data haciendo posible la implementación de algoritmos de fusión sensorial a bajo nivel. Mediante procedimientos experimentales se evalúa el rendimiento del sistema en diferentes condiciones y se discute la idoneidad del mismo para la aplicación propuesta.

Palabras clave: RTK, UGV, Robótica móvil, u-blox.

1 INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (o GNSS por sus siglas en inglés) son, sin lugar a dudas, los sistemas más extendidos para el posicionamiento en exteriores [20]. Estos sistemas se emplean de manera extensiva en aplicaciones para teléfonos móviles y navegadores en vehículos de carretera [9], además de los sectores que fueron pioneros en el uso de estos sistemas, como el aeronáutico o el militar [8]. Además del posicionamiento basado en código [12], existen multitud de técnicas que permiten mejorar la precisión del posicionamiento [17] tales como *Real Time Kinematics* (RTK) [13] y *Precise Point Positioning* (PPP) [18], mediante las cuales se pueden obtener niveles de error en el orden de los centímetros [19]. Sin embargo el uso de la información GNSS no resulta tan común como sería de esperar en el campo del *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM). Tal y como se apunta en [4], esto se debe por una parte a que este campo tienen sus orígenes en la localización *indoor* [1] – donde el uso del GNSS resulta extremadamente complejo [6] – y por otra parte en la dificultad de la incorporación de la información GNSS en un *framework* de SLAM debido a las dificultades



Figura 1: Vehículo terrestre no tripulado empleado para la evaluación del sistema de RTK u-blox C94-M8P.

que presenta la caracterización y el modelado de las incertidumbres propias de los sistemas GNSS [15]. Esto supone un reto que resulta de gran interés para nuestro grupo de investigación (AUROVA) y en el que pensamos invertir parte de nuestro trabajo futuro. Para el desarrollo de estas investigaciones, resulta necesario disponer de una plataforma experimental que disponga de los sensores necesarios para realizar tanto SLAM convencional como posicionamiento GNSS, lo cual nos llevó en trabajos anteriores [16] a desarrollar el robot BLUE (ver Fig. 1). El presente trabajo relata las tareas que se han llevado a cabo para integrar y evaluar el sistema de posicionamiento basado en satélite (u-blox c94-m8p) en el robot, incluyendo medidas de *precision* y *accuracy* con respecto de puntos geo-referenciados con un sistema geodésico.

El presente trabajo se estructura como sigue: En la sección 2 se comentan brevemente las características del kit de evaluación de u-blox empleado en los experimentos; la sección 3 está dedicada a describir detalladamente los experimentos llevados a cabo; en la sección 4 se muestran los resultados obtenidos; finalmente en la sección 5 extraemos las conclusiones y apuntamos los trabajos futuros.

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA u-blox NEO-M8P

El sistema de posicionamiento basado en satélite NEO-M8P de u-blox permite obtener un posicionamiento GNSS de gran precisión mediante el uso de correcciones diferenciales, para lo cual resulta necesario emplear una pareja de receptores. Estos receptores son idénticos desde el punto de vista *hardware*, pero mediante determinados cambios en los parámetros de configuración se puede fijar el comportamiento de uno de ellos como *base* y otro como *rover*. Además este sistema provee una solución RTK con la cual se pueden obtener valores de *accuracy* en el orden de los centímetros. Los receptores GNSS NEO-M8P de u-blox permiten el uso simultáneo de dos constelaciones diferentes, siendo la configuración por defecto el uso conjunto de GPS y GLONASS, aunque puede trabajar también con GALILEO y Bei-Dou. Estos receptores son *single-frequency* por lo que trabajan con la banda L1 de GPS y sus equivalentes en los demás sistemas. El envío de las correcciones diferenciales se produce mediante mensajes de tipo RTCM 3 (*Real Time Correction Messages*) [10]. Para esto se utiliza un enlace de radio en Ultra Alta Frecuencia (UHF). El receptor configurado como *rover* entrará en modo RTK en cuanto comience a recibir mensajes de RTCM. Este modo tiene dos variantes: *Float Mode* y *Fixed Mode*. El modo *Float* se activa en el momento en el que se comienzan a recibir mensajes RTCM, y se pasa a *Fixed* cuando el algoritmo logra resolver al menos cinco ambigüedades, para lo que se requiere al menos seis satélites debido a las dobles diferencias [14]. El tiempo que transcurre hasta alcanzar el *Fixed Mode* se conoce como tiempo de convergencia del algoritmo [2]. En caso de perder la *senal* que transporta las correcciones RTCM, – cosa que puede ocurrir si el *rover* se separa demasiado de la *base*, o existen obstáculos como edificios que rompen el *line of sight*– el receptor del *rover* pasa inmediatamente a modo *standalone* con lo que se obtiene una precisión estandar en el posicionamiento GNSS [11]. Una característica muy destacable de los receptores NEO-M8P es que permiten acceder a la información a bajo nivel extraída de los satélites, de este modo, además del *fix* de posición se dispone de los pseudo-rangos y la fase y frecuencia Doppler de la portadora. Esta información se puede emplear para implementar arquitecturas de fusión sensorial de tipo *tight integration* [5, 7, 3], lo cual constituye una de las principales fuentes de trabajo futuro previstas en nuestro grupo, ya que buscamos desarrollar algoritmos de tipo SLAM que fusionen tanto los sensores locales (LiDAR, IMU, odómetros...) como las observaciones a bajo nivel de los satélites a



Figura 2: Vista aérea de nuestra zona de trabajo. En esta imagen podemos ver la situación del laboratorio principal del grupo AUROVA, así como el punto escogido para ubicar la estación base.

la vista, para obtener un posicionamiento *outdoor* preciso y robusto.

3 EXPERIMENTACIÓN

3.1 ENTORNO DE LOS EXPERIMENTOS

Para realizar los experimentos que se exponen en esta sección, se ha elegido la zona del campus donde se pretenden llevar a cabo las futuras investigaciones del grupo concernientes a la línea en robótica móvil. Como vemos en Fig. 2, en esta área del campus disponemos de zonas despejadas, zonas arboladas, y zonas donde podemos encontrar edificios próximos.

3.2 ESTACIÓN BASE

3.2.1 Hardware

Debido a que la estación base debe pasar largos periodos a la intemperie, y sin supervisión, se ha optado por emplear una configuración muy sencilla que no precisa del uso de un computador, de este modo la alimentación del receptor se obtiene desde una batería de plomo que proporciona 12V y una capacidad de 7 Ah, lo que supone una autonomía teórica de varios meses de funcionamiento continuado. El conjunto batería, receptor GNSS y antena UHF para el envío de los mensajes RTCM se encapsula en una caja robusta capaz de soportar adecuadamente las condiciones de intemperie, a la vez que proporciona una apertura lateral para la conexión de la antena GNSS que debe estar en el exterior. El receptor GNSS de la *base* se ha de reconfigurar cuando la estación cambia de lugar, por lo que solo en estos casos será necesario conectar un PC, para lo cual basta con desatornillar la tapa y acceder al puerto USB.

3.2.2 Elección del punto de instalación

Para obtener un buen funcionamiento del sistema diferencial resulta de vital importancia la correcta elección del emplazamiento de la estación base, ya que debemos asegurar la mejor visibilidad posible del cielo –evitando oclusiones y los efectos del multi-camino– y también el enlace UHF debe estar situado en un punto elevado que facilite la cobertura para que el *rover* pueda disponer de un amplio espacio de trabajo. Del mismo modo el punto a elegir debe quedar aproximadamente centrado en el entorno de interés para que la cobertura resulte lo más homogénea posible.

Teniendo en cuenta los requerimientos descritos, seleccionamos la azotea del edificio de la Politécnica II como punto para situar nuestra estación base (ver Fig. 2).

3.2.3 Configuración del receptor GNSS

Entre las distintas modalidades permitidas por el u-blox NEO-M8P para funcionar como estación base (*Moving baseline*, *Attitude sensing* y *Static mode*), se selecciona la configuración estática. En este modo el receptor necesita conocer con exactitud su propia posición si se desea que el posicionamiento relativo del *rover* respecto de la *base* resulte preciso a nivel global. El receptor u-blox permite realizar un proceso de *survey-in* para que el propio receptor sea capaz de estimar su propia posición, sin embargo resulta complicado obtener un error inferior a un metro, al tratarse de un receptor de una sola frecuencia y no disponer de correcciones diferenciales. Por este motivo se decidió emplear un receptor de alta gama para geo-referenciar el punto en el que se decidió instalar la *base* para los experimentos. Posteriormente se empleó la información obtenida para fijar mediante la interfaz proporcionada por el software U-Center la posición del u-blox NEO-M8P. El receptor empleado para geo-referenciar el punto para la estación base es un Leica GPS900, se trata de un receptor profesional de doble frecuencia (L1 + L2), ampliamente utilizado en aplicaciones de geodesia, capaz de obtener una precisión centimétrica en pocos minutos. Finalmente comentar que, para que el receptor configurado como base sea capaz de emitir las correcciones diferenciales a través del enlace UHF es necesario configurar el puerto UART, especificando como protocolo de entrada *none*, y como protocolo de salida RTCM3 *Real Time Correction Message 3*.

3.3 ROVER

El vehículo terrestre no tripulado empleado para este estudio ha sido desarrollado por el grupo

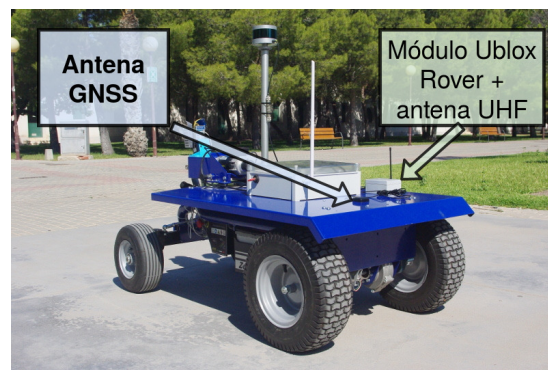


Figura 3: El módulo u-blox configurado como rover se encuentra en una caja protectora con la antena UHF colocada en posición vertical. La antena GNSS se sitúa sobre el centro del eje trasero, con la plataforma principal actuando como *ground plane*.

AUROVA en el contexto del proyecto “BLUE: a roBot for Localization in Unstructured Environments” (ver Fig. 1). Se trata de una plataforma de investigación integrada en ROS y derivada de una carretilla eléctrica convencional Zallys Jespi Z105. Se encuentra completamente sensorizada, disponiendo, entre otros, de sensores LiDAR 2D (Hokuyo URG Rapid-URG) y 3D (Velodyne VLP-16), IMU (Redshift Labs UM7, y GNSS (u-blox NEO-M8P2)). Entre otras modificaciones introducidas a la máquina original –tales como la sustitución del timón que permitía el control manual de la dirección por un motor DC–, se incorporó también una plataforma superior para facilitar la instalación de los sensores y procesadores necesarios. Sobre esta plataforma se sitúa (adherida magnéticamente) la antena GNSS (ver Fig. 3) responsable de capturar la información proveniente de los satélites. Esta colocación permite disponer de un *ground plane* que resulta de gran importancia a la hora de facilitar el correcto funcionamiento de los algoritmos de posicionamiento –especialmente el RTK– al reducir en gran medida los efectos multi-trayecto, atenuando las señales reflejadas en el suelo. Esta plataforma se encuentra a una altura de tan sólo 45 centímetros sobre el suelo, lo cual resulta problemático, ya que dificulta la recepción tanto de las señales de los satélites como las correcciones diferenciales mediante el enlace UHF, debido a las oclusiones que producen los elementos del entorno (edificios, árboles, setos, etc.).

El receptor GNSS instalado en el robot se ha de configurar como *rover* para que *escuche* las correcciones diferenciales emitidas por la base. Esto se puede realizar de manera muy sencilla empleando el software u-center proporcionado por u-blox, configurando el puerto UART de entrada

para atender al protocolo RTCM3 (Real Time Correction Message 3) y seleccionando *none* como protocolo para la salida del UART. Evidentemente los puertos UART tanto de la base como del rover deben estar configurados para emplear el mismo *baudrate*.

4 RESULTADOS

4.1 Evaluación del sistema GNSS-RTK para puntos estáticos

Tal y como se mencionó en la sección 2, el sistema GNSS del *rover* puede funcionar en tres modos distintos: *Standalone*, en caso de que no se disponga de correcciones diferenciales, *RTK-Floating* cuando sí se dispone de estas correcciones pero no se logra resolver al menos 5 ambigüedades, y *RTK-Fixed* con el que se obtiene un posicionamiento centimétrico. Para evaluar de forma cuantitativa el sistema GNSS-RTK se han geo-referenciado diferentes puntos dentro de nuestra zona de trabajo (ver Fig. 2) que han sido utilizados como *ground truth*. El equipo elegido para la geo-referenciación de los puntos, ha sido un GNSS-RTK Leica 900, que es un equipo de alta precisión. Este RTK utiliza como estación base una antena situada en el castillo de Santa Bárbara en la ciudad de Alicante. En estas condiciones, se han conseguido geo-referenciar los puntos con un error de 2cm en el plano xy , y de 4cm en el eje z .

El primer punto que se ha geo-referenciado, es el que se ha utilizado como estación base para la zona de trabajo mostrada en Fig. 2. De este modo la estación base realiza las correcciones desde un punto conocido con la precisión comentada en el párrafo anterior. El resto de puntos se han geo-referenciado en las zonas por donde circula nuestra estación móvil. Concretamente se han escogido tres puntos. El primero de ellos se sitúa en una zona relativamente cercana a la estación base, pero con riesgo de sombras en la propagación de la señal UHF. En segundo punto se ubica en una zona más alejada con respecto al punto anterior, donde la radiación puede ser más directa, pero en el que hay edificios entre el punto y la estación base. En el caso del tercer punto se ha intentado buscar una posición relativamente desfavorable, es decir, a una distancia mayor a la de los puntos anteriores, y con la presencia de árboles alrededor que pueden dificultar la visión directa con los satélites.

Para la evaluación del sistema GNSS-RTK, se han realizado medidas en los tres puntos descritos anteriormente, utilizando nuestra estación móvil en comunicación con la estación base geo-referenciada en el punto señalado en Fig. 2.

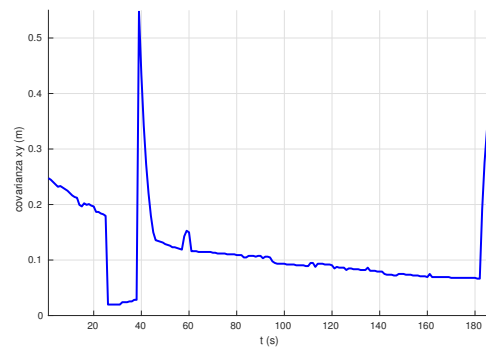


Figura 4: Módulo de la covarianza en x e y proporcionada por el sensor GNSS-RTK durante parte de la grabación de datos en el punto 2. Entre los segundos 20 y 40 vemos que la covarianza decrece al alcanzar el modo *RTK-fixed*

Posteriormente, se han procesado estos datos para obtener los valores de *precision* (que es la desviación típica obtenida al promediar las medidas) y *accuracy* (que es el error calculado entre la posición promediada de las medidas, y la posición de la medida utilizada como *ground truth*). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.1. En ninguno de los casos se ha perdido el enlace con la estación base. Por otra parte, solamente en el punto 2 se ha conseguido integrar las correcciones de forma óptima. Se puede concluir que para nuestra zona de trabajo el modo de funcionamiento más habitual sería el modo *RTK-floating*. Atendiendo a los resultados mostrados en la tabla 4.1, se puede observar que en los puntos 2 y 3, en el modo *RTK-floating*, se obtienen valores de *precision* dentro de lo esperable para este modo de funcionamiento (ver Fig. 4). Sin embargo, se pueden observar valores de *accuracy* superiores a un metro, lo cual indica que existe un *bias* en las medidas. Los *bias* detectados indican un error en el algoritmo RTK de ublox, probablemente causado por efectos de multi-trayecto. Para la caracterización de esta, y de otras posibles fuentes de error, se prevé como trabajo futuro, realizar una evaluación exhaustiva del sistema.

4.2 Evaluación del sistema GNSS-RTK para la navegación

Para evaluar el sistema RTK en navegación, se ha grabado con nuestra plataforma de investigación BLUE una trayectoria alrededor de uno de los edificios mostrados en la Fig. 2. Esta trayectoria incluye dos cerrados de bucle, que sirven para medir las divergencias en las trayectorias cuando se termina en el mismo punto donde se realizó la salida.

Se ha comparado, a través de la trayectoria grabada, nuestro sistema RTK con la fusión del

Points	Standalone		RTK-floating		RTK-fixed	
	Precision (m)	Accuracy (m)	Precision (m)	Accuracy (m)	Precision (m)	Accuracy (m)
P1	-	-	0.0155	0.1051	-	-
P2	-	-	0.1061	1.2646	0.0164	0.0616
P3	-	-	0.1256	1.0989	-	-

Tabla 1: Comparación entre los tres modos de funcionamiento de nuestro sistema RTK en tres puntos diferentes. En este caso se ha perdido el enlace con la estación base en ninguno de los tres puntos. Por esta razón se puede ver la columna *standalone* vacía. Por otro lado, solamente se ha conseguido el modo *RTK – fixed* en uno de los puntos. El modo de funcionamiento habitual para esta área de trabajo es el modo *RTK – floating*.

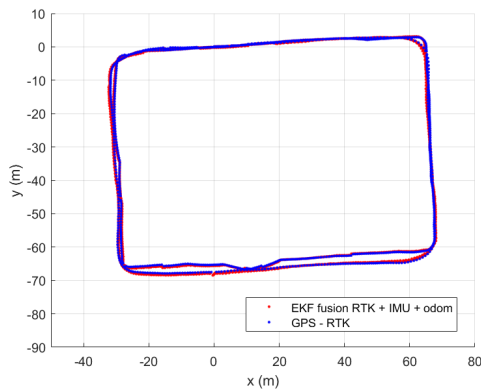


Figura 5: Trayectoria realizada durante dos cerrados de bucle alrededor de un edificio situado dentro de la zona de trabajo mostrada en la Fig. 2. Cada punto corresponde a una posición proporcionada por el RTK y trasladada a coordenadas de mapa local.

mismo con la odometría del vehículo, así como con una unidad de medida de inercia (IMU). Además se ha comparado con la trayectoria generada a través de la integración de un algoritmo de SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*).

En la tabla 4.2 vemos la posición calculada en cada cerrado de bucle por cada sistema empleado para la estimación de la trayectoria. En el caso ideal, estas medidas deberían ser 0, por lo tanto los valores numéricos que vemos en esta tabla para x e y muestran errores de posicionamiento. Aunque hay que destacar que el cerrado de bucle se ha realizado sobre marcas, y mediante conducción manual, lo cual introduce en las medidas el error de posicionamiento humano. Por otra parte en Fig. 5 y Fig. 6 vemos dibujadas las trayectorias obtenidas a través de cada sistema.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La integración del sistema de posicionamiento GNSS en el vehículo se ha realizado de forma satisfactoria, lo cual ha permitido la generación de



Figura 6: En la línea roja se muestra la trayectoria calculada utilizando el algoritmo de SLAM *gmaping*. El mapa mostrado en el fondo es el mapa del entorno obtenido a través del mismo algoritmo.

datasets experimentales que han sido empleados posteriormente para la evaluación del sistema. En el momento actual, nuestra plataforma de investigación BLUE es capaz de utilizar algoritmos de fusión sensorial de ROS empleando conjuntamente tanto el sistema de u-blox como la odometría y la IMU. En cuanto al kit de evaluación C94-M8P, hemos podido observar que es capaz de ofrecer la solución RTK prometida, habiendo obtenido una cobertura del enlace UHF razonable para la experimentación outdoor, si bien el modo *Fixed* no resulta fácil de conseguir y se observan problemas de *overconfidence* en el modo *Floating*, probablemente causados por errores en la resolución de ambigüedades provocados por efectos de multi-trayecto. Como trabajos futuros se plantea la realización de una serie extendida de experimentos que incluyan el empleo de las distintas combinaciones multi-constelación posibles. También deseamos estudiar el efecto de la frecuencia de refresco del sensor en el alcance del enlace UHF en-

Fusión	Cerrado de bucle 1		Cerrado de bucle 2	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
SLAM Gmapping	0.27	-0.12	0.52	-5.71
Sistema RTK	-0.62	-0.11	-0.61	-0.08
IMU + Odometría + RTK	-0.69	-0.12	-0.60	-0.07

Tabla 2: Posiciones calculadas para cada combinación de integración de sensores. El cerrado de bucle resulta muy preciso a través del algoritmo SLAM (ver Cerrado de bucle 1), pero en los casos en los que ocurre algo inesperado para este algoritmo, el error puede crecer (ver Cerrado de bucle 2). Sin embargo, el GPS-RTK no depende de condiciones externas. Por esta razón, consideramos que la fusión GNSS-SLAM puede resultar de gran utilidad para una mayor robustez del posicionamiento.

tre la base y el rover. Como punto más avanzado en los trabajos futuros se plantea la fusión a bajo nivel de los observables GNSS con algoritmos de SLAM.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD) a través de la beca FPU15/04446. Nos gustaría expresar nuestro agradecimiento a Antonio López Moraga, del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante, por su amable disponibilidad para geo-referenciar los puntos empleados en la evaluación del sistema.

English summary

Integration and evaluation of a low-cost RTK system in an Unmanned Ground Vehicle

Abstract

In the present work, we describe the integration and evaluation process of a low-cost GNSS positioning system (u-blox C94-M8P) in an Unmanned Ground Vehicle. This system provides an out-of-the-box RTK solution –which we want to study to evaluate if it is suitable to be used as ground-truth for SLAM algorithms validation– and gives access to the GNSS observables, what enables the implementation of low-level sensor-fusion strategies. We describe the experiments carried out to evaluate the system performance and discuss its suitability for the proposed application.

Keywords: RTK, UGC, Mobile robotics, u-blox.

Referencias

- [1] Aulinas, J., Petillot, Y.R., Salvi, J., Lladó, X.: The slam problem: a survey. *CCIA* **184**(1), 363–371 (2008)
- [2] Bisnath, S., Gao, Y.: Current state of precise point positioning and future prospects and limitations. In: *Observing our changing earth*, pp. 615–623. Springer (2009)
- [3] Bourdeau, A., Sahmoudi, M., Tourneret, J.: Tight integration of gnss and a 3d city model for robust positioning in urban canyons. In: *ION GNSS*, pp. 1263–1269 (2012)
- [4] Carlson, J.: Mapping large, urban environments with gps-aided slam. Carnegie Mellon University (2010)
- [5] Crespillo, O.G., Heirich, O., Lehner, A.: Bayesian gnss/imu tight integration for precise railway navigation on track map. In: *Position, Location and Navigation Symposium-PLANS 2014, 2014 IEEE/ION*, pp. 999–1007. IEEE (2014)
- [6] Farid, Z., Nordin, R., Ismail, M.: Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications* **2013** (2013)
- [7] Fernandez, A., Wis, M., DAVIS, F., Ali, K., Silva, P., Friess, P., Colomina, I., Pares, E., Lindenberger, J.: Gnss/ins/lidar integration in urban environment: Algorithm description and results from atenea test campaign. In: *Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, (NAVITEC), 2012 6th ESA Workshop on*, pp. 1–8. IEEE (2012)
- [8] Fernandez-Prades, C., Presti, L.L., Falletti, E.: Satellite radiolocalization from gps to gnss and beyond: Novel technologies and applications for civil mass market. *Proceedings of the IEEE* **99**(11), 1882–1904 (2011)

- [9] Gebre-Egziabher, D., Gleason, S.: GNSS applications and methods. Artech House (2009)
- [10] Heo, Y., Yan, T., Lim, S., Rizos, C.: International standard gnss real-time data formats and protocols. In: IGNS Symp (2009)
- [11] Huang, B., Yao, Z., Cui, X., Lu, M.: Dilution of precision analysis for gnss collaborative positioning. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* **65**(5), 3401–3415 (2016)
- [12] Kaplan, E., Hegarty, C.: Understanding GPS: principles and applications. Artech house (2005)
- [13] Kim, D., Langley, R.B.: Gps ambiguity resolution and validation: methodologies, trends and issues. In: Proceedings of the 7th GNSS Workshop–International Symposium on GPS/GNSS, Seoul, Korea, vol. 30 (2000)
- [14] Morales, Y., Tsubouchi, T.: Dgps, rtk-gps and starfire dgps performance under tree shading environments. In: Integration Technology, 2007. ICIT'07. IEEE International Conference on, pp. 519–524. IEEE (2007)
- [15] Niu, X., Chen, Q., Zhang, Q., Zhang, H., Niu, J., Chen, K., Shi, C., Liu, J.: Using allan variance to analyze the error characteristics of gnss positioning. *GPS solutions* **18**(2), 231–242 (2014)
- [16] del Pino, I., Cova, S., Contreras, M.Á., Candelas, F.A., Torres, F.: Presenting blue: A robot for localization in unstructured environments. In: Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 2018 IEEE International Conference on, pp. 130–135. IEEE (2018)
- [17] Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., Grinter, T.: Precise point positioning: is the era of differential gnss positioning drawing to an end? (2012)
- [18] Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J., Hernandez-Pajares, M.: GNSS Data Processing, Vol. 1. ESA Communications (2013)
- [19] Wiśniewski, B., Bruniecki, K., Moszyński, M.: 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 (2013)
- [20] Yeh, S.C., Hsu, W.H., Su, M.Y., Chen, C.H., Liu, K.H.: A study on outdoor positioning technology using gps and wifi networks. In: Networking, Sensing and Control, 2009.

ICNSC'09. International Conference on, pp. 597–601. IEEE (2009)



© 2018 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC-BY-NC 3.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>).