

IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA MULTI-GNSS EN UN VEHÍCULO TERRESTRE NO TRIPULADO

Edison P. Velasco¹, Miguel Á. Muñoz-Bañón², Francisco A. Candelas³, Santiago T. Puente⁴

Grupo AUROVA, Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, Alicante, España.

¹evs25@alu.ua.es, ²miguelangel.munoz, ³francisco.candelas, ⁴santiago.puente}@ua.es

Resumen

En este trabajo se presenta un sistema Multi-GNSS de bajo coste conformado por 3 módulos UbloxNeo-m8n que ha sido implementado sobre un vehículo terrestre no tripulado, y se compara con un sistema GNSS-RTK (u-blox C94-M8P). La redundancia de datos del sistema multi-GNSS permite un mayor número de muestras y un mejor filtrado de datos. Mediante experimentos en distintos circuitos, se han obtenido resultados donde el sistema puede llegar a una frecuencia de muestreo de 3 Hz. Además, el sistema Multi-GNSS presenta un menor error que en un sistema GNSS-RTK (u-blox C94-M8P) cuando éste último no tiene línea de vista directa hacia su antena base RTK.

Palabras clave: Multi-GNSS, robótica móvil, GNSS-RTK, u-blox.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de localización basados en GNSS son muy utilizados en robótica móvil para entornos exteriores no estructurados; debido a su tiempo de muestreo lento, no pueden trabajar por sí solos para ofrecer un sistema de referencia de localización. Es por ello que se suelen fusionar varios sensores como *encoders*, IMU, LiDAR o cámaras. Esto permite corregir errores de posicionamiento a lo largo de un trayecto [4] [6].

Los sistemas basados en GNSS-RTK permiten obtener un posicionamiento de gran precisión mediante el uso de correcciones diferenciales teniendo en cuenta las distintas fuentes de incertidumbre [5]. Para esto es necesario tener un par de receptores GNSS, uno de ellos trabajando como estación base RTK y un segundo receptor denominado como rover, el cual está montado sobre el vehículo que deseamos conocer su posición [1]. Mediante el uso de una comunicación UHF, estos receptores corrigen los errores de posicionamiento hasta el rango de los centímetros, presentando la dependencia de una estación base para una correcta geolocalización. Esto puede provocar incertidumbre en las medidas cuando ambos

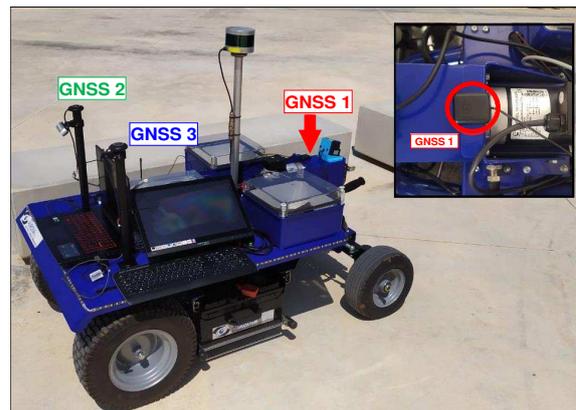


Figura 1: Distribución de módulos UbloxNeo-m8n sobre vehículo terrestre BLUE.

receptores GNSS no tienen una línea de vista directa entre ellos, generando posibles errores de multipath [3].

La ventaja de tener un sistema de múltiples receptores GNSS sobre la misma plataforma es disponer de varias medidas de la posición del robot, y de esta manera, si alguno llegase a fallar, los otros receptores pueden corregir la incertidumbre de la señal. Los autores en [8] aumentan la precisión de posición mediante tres receptores GNSS de bajo coste que tienen un alto error instantáneo, y lo combinan con un sensor IMU a través de un filtro de Kalman. Además, eliminan los valores de datos incorrectos utilizando la distancia de Mahalanobis, una distancia euclidiana entre puntos junto con una matriz de covarianzas.

En este trabajo presentamos un sistema multi-GNSS de bajo coste basado en tres módulos UbloxNeo-m8n distribuidos de manera triangular (Fig.1), el cual permite obtener el posicionamiento del vehículo móvil terrestre BLUE [2] mediante el filtrado de las señales de cada módulo con el dato de distancia euclidiana promedio y la varianza instantánea de longitud y latitud. Además, como datos adicionales para el filtrado, cada módulo tiene un peso de ganancia que es directamente proporcional a la cantidad de satélites que tiene en línea de vista en cada instante de tiempo.

2. SISTEMA MULTI-GNSS

2.1. DISPOSITIVOS UBLOXNEO-m8n

La familia de equipos NEO-M8 de la marca Ublox, utilizan la recepción simultánea de hasta tres sistemas GNSS, permitiéndoles reconocer múltiples constelaciones simultáneamente, brindando una excelente precisión de posicionamiento. Considerando sus prestaciones, hemos utilizado módulos modelo UbloxNeo-m8n, los cuales han sido configurados con la ayuda del software del fabricante y mediante la hoja de datos proporcionada en su página web[7]. En esta documentación se detalla que estos módulos pueden tener un tiempo de muestreo mínimo de 100 ms, sin embargo, esta configuración solo puede enlazarse con satélites GPS, obteniendo errores de posicionamiento de hasta 2.5 m. Es posible aprovechar la ventaja de enlazar con GPS/Galileo junto con BeiDou o GLONASS, disminuyendo el error de posición, con el inconveniente de aumentar el tiempo de muestreo a 200 ms. La interfaz de comunicación de estos equipos es UART y utiliza los comandos NMEA(National Marine Electronics Association). Debido a su tasa de muestreo, se debe trabajar a velocidades de transmisión de datos de 115200 baudios. Es recomendable que cada módulo UbloxNeo-m8n tenga su última actualización, ya que en ella se guardan las constelaciones a las que se enlazará para el cálculo de posicionamiento.

2.2. RECOPIACIÓN DE DATOS

Cada módulo UbloxNeo-m8n está conectado a un puerto serie de un Arduino Mega (Fig.2), aprovechando que esta placa posee un microcontrolador Atmega 2560 que tiene disponible 3 canales de comunicación serie UART. Cada canal está configurado a una velocidad de 115200 baudios con la configuración 8N1 (8 bits de datos, sin paridad y un bit de parada). Para el desentramado de datos NMEA se utiliza la librería de TinyGPS++ disponible de manera gratuita en el administrador de biblioteca del IDLE de Arduino.

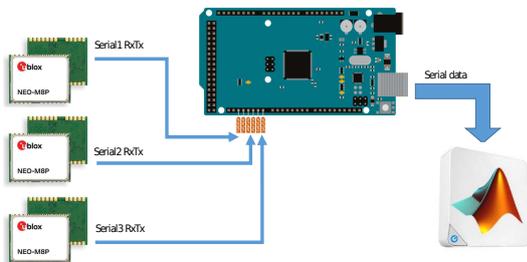


Figura 2: Diagrama de conexión de los módulos UbloxNeo-m8n hacia Arduino Mega y un ordenador.

Todo el procesamiento de filtrado se realiza sobre el mismo microcontrolador Atmega 2560, siguiendo el Algoritmo 1, para después analizar y visualizar los datos resultantes en el software MATLAB. El proceso llevado a cabo por este algoritmo se explica en el siguiente apartado.

Algoritmo 1 Filtrado de latitud y longitud

```

1:  $filter_{prev} = 0, 0$ 
2: while True do
3:    $date_{1,2,3} = gnss_{1,2,3}$ 
4:   if Invalid( $date_{1,2,3}$ ) then
5:      $valid_{1,2,3} \leftarrow 1$ 
6:   else
7:      $valid_{1,2,3} \leftarrow 0$ 
8:   end if
9:    $sat_{1,2,3} = \text{getSatellite}()$ 
10:   $valid_{1,2,3} * = sat_{1,2,3}$ 
11:   $lat_{mean} = \text{mean}[(lat_{1,2,3}) * valid_{1,2,3}]$ 
12:   $long_{mean} = \text{mean}[(lon_{1,2,3}) * valid_{1,2,3}]$ 
13:   $filter_{out} = lat_{mean}, lon_{mean}$ 
14:   $\sigma_{lat,lon} = \text{var}(filter_{out} filter_{prev})$ 
15:  if  $\sigma_{lat,lon} > 2,5e^{-9}$  then
16:     $filter_{out} = filter_{prev}$ 
17:  else
18:     $filter_{prev} = filter_{out}$ 
19:  end if
20:   $filter_{out} \rightarrow \text{sendData}()$ 
21: end while

```

2.3. FILTRADO DE DATOS

El resultado de la posición actual del vehículo terrestre se obtiene al filtrar el promedio de las señales válidas de cada UbloxNeo-m8n (eq. 1) y el cálculo de la varianza que posee con su promedio en un muestreo anterior de datos (eq. 2).

$$(\bar{x}_i, \bar{y}_i) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^3 (x_i, y_i) \right) \quad (1)$$

$$(\sigma_{x_i}^2, \sigma_{y_i}^2) = ((x_i, y_i) - (\bar{x}_{i-1}, \bar{y}_{i-1}))^2 \quad (2)$$

Un dato de geolocalización de cada UbloxNeo-m8n es válido al cumplir los siguientes parámetros:

- Fecha correcta. Debido a la lectura de 200ms, en ocasiones puede existir un error en los datos de posición que se puede descartar al verificar la fecha leída.
- Desviación estándar. Debe ser menor a $2,5e^{-9}$, lo que equivale a la varianza permitida en la experimentación.

- **Cantidad de Satélites.** El número de satélites debe ser mayor a 3.

La señal ya filtrada se multiplica por la ganancia de cada módulo, que depende de la cantidad de satélites en cada muestreo (eq. 3).

$$(\hat{x}_i, \hat{y}_i) = \left(\frac{\sum_i Sat_i(\bar{x}_i, \bar{y}_i)}{\sum_i (Sat_i)} \right) \quad (3)$$

3. EXPERIMENTOS

La dispersión de cada geolocalización y la señal de salida en latitud y longitud se obtienen con mediciones en un punto fijo (Fig.3). En la experimentación, cada módulo UbloxNeo-m8n se denomina como $m8n-i$, siendo i el número de dispositivo acorde a la distribución de los mismos como se muestra en la Fig.1.

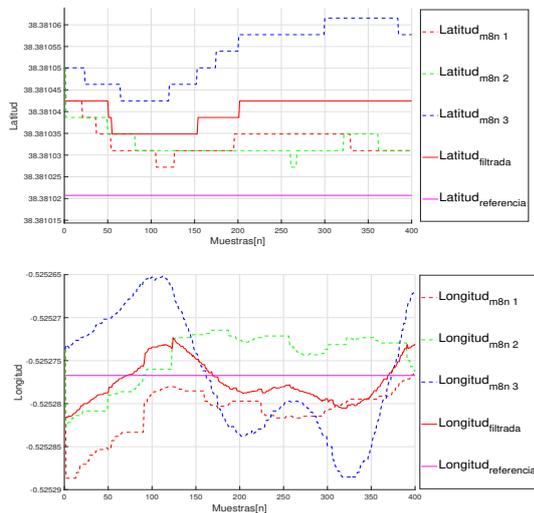


Figura 3: Comparación de latitud y longitud de cada módulo UbloxNeo-m8n, y señal de salida filtrada con un punto fijo de referencia.

El módulo con mayor desviación es el m8n-1, que presenta un error de 3 metros a la posición real. Con la ayuda del promedio y el filtrado por desviación se tiene una señal de salida más ajustada a los puntos de referencia.

En (Fig.4) se observa que la señal resultante del filtrado pasa por los puntos de referencia con menor error que los valores de cada módulo por sí solo. Cabe mencionar que para poder apreciar este experimento se han eliminado los datos basura que cada módulo entregaba, ya que estos se posicionaban en sitios muy alejados al lugar de experimentación. En (Fig.5) se recorre un circuito de 960 metros pasando en su gran mayoría por los puntos de referencia.

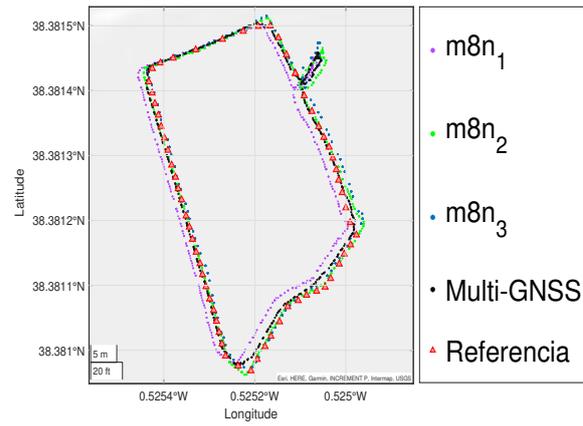


Figura 4: Geolocalización de cada módulo UbloxNeo-m8n y señal de salida filtrada en un circuito cerrado de 150 metros.

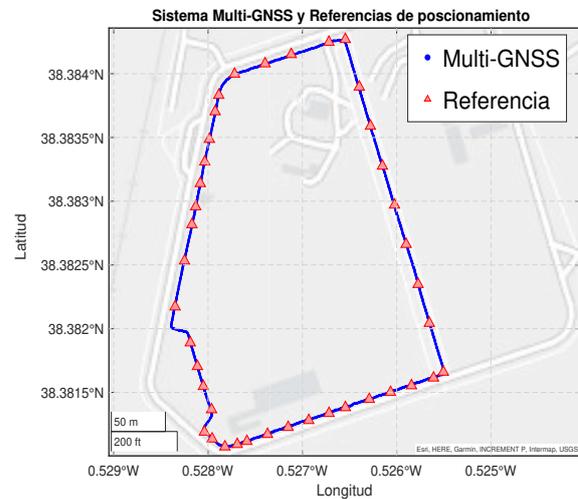


Figura 5: Sistema de geolocalización Multi-GNSS implementado sobre un vehículo terrestre móvil recorriendo y cerrando un circuito de 960 metros.

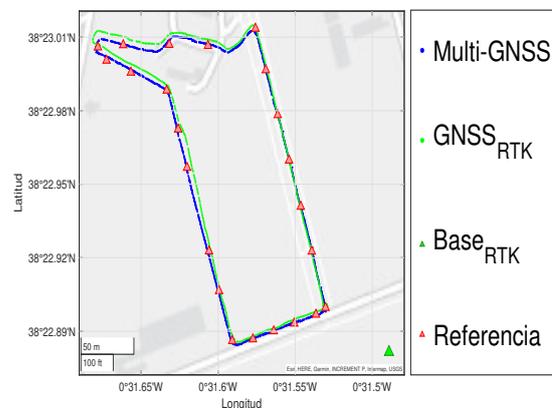


Figura 6: Comparación del Sistema Multi-GNSS propuesto y el Sistema GNSS-RTK.

3.1. SISTEMA MULTI-GNSS y GNSS-RTK

En la literatura los sistemas GNSS-RTK tienen errores en el rango de los centímetros, pero esto se logra en condiciones específicas, una de ellas es tener una línea de vista sin interferencias entre el receptor GNSS-RTK y su estación base. Además, estos sistemas suelen tener tiempos de muestreo altos en lo que concierne a la navegación autónoma. Por ello se aplican métodos de fusión de sensores para tener una localización en tiempo real [6].

Para verificar si los errores de un sistema GNSS-RTK pueden disminuir al implementar un sistema Multi-GNSS, ambos sistemas se montaron en el vehículo móvil BLUE y se probaron en un circuito cerrado de 760 metros.

Como se puede observar en la Fig.6, el sistema GNSS-RTK tiene un mayor error de geolocalización cuando se aleja el rover de su estación base, esto puede darse por problemas de multipath o por interferencias con la comunicación UHF de las correcciones de posicionamiento, llegando a perder el enlace entre base y rover. El sistema multi-receptor disminuye este problema al no depender de una estación base corrigiendo el posible error de multipath con el filtrado de datos.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Al usar varios UbloxNeo-m8n y filtrar sus medidas de posición mediante el método mostrado, se ha logrado una posición del robot con un error menor y un tiempo de muestreo de 3Hz, en comparación al tiempo de 1Hz que posee el sistema GNSS-RTK (u-blox C94-M8P). Además, el uso de una estación base-RTK en cierto modo hace que se dependa del entorno. Esto puede dificultar o limitar ciertas experimentaciones en robótica móvil de exteriores, ya que solo se lograría un buen posicionamiento cuando la estación base-RTK tienen una vista despejada al cielo y también cuando no existen interferencias para la comunicación UHF con el receptor GNSS que está ubicado en el rover. Otro inconveniente del sistema GNSS-RTK (u-blox C94-M8P) es que debe llevar algún tiempo encendido, alrededor de 15 a 20 minutos, para tener datos actualizados de los satélites y poder obtener una geolocalización adecuada para la navegación del vehículo robótico BLUE. Esto no se da con los modelos UbloxNeo-m8n, donde en sus especificaciones se detalla que tienen un tiempo *Cloud star* de hasta 45 segundos que en nuestra experimentación tomó de 1 a 2 minutos. Otra ventaja del sistema de múltiples receptores experimen-

tado es su reducido costo económico en comparación al conjunto de receptores GNSS-RTK (ulox C94-M8P).

La configuración actual de los módulos UbloxNeo-m8n (Fig.1) genera un punto de referencia de posición en el centro geométrico determinado por dichos módulos. Este punto se debe tomar en cuenta al momento de implementar sistemas de navegación y localización.

Uno de los datos que entrega cada UbloxNeo-m8n es la dirección o curso del mismo, éste no ha sido utilizado en las pruebas, ya que el vehículo BLUE no lo obtiene solamente de la geolocalización, sino de la IMU que está montada. Se podría obtener el curso de cada módulo para hacer más robusto este parámetro en su implementación. También se dispone del dato de compás que entregan los módulos 2 y 3 mediante I2C; estos pueden ser recibidos por el mismo Arduino Mega y al ser tratados se podría conocer la orientación del robot, siendo este dato un parámetro para saber el estado inicial del vehículo BLUE. En esto último se deben hacer experimentos para conocer si la orientación del compás presenta ruido producido por interferencias electromagnéticas.

Actualmente el sistema utiliza el número de satélites para el cálculo de geolocalización, pero también existe el parámetro HDOP (desviación horizontal de la medida de posicionamiento) que puede ser utilizado en lugar del contador de satélites, ya que es un parámetro con mayor resolución (2 dígitos decimales). Esta observación se puede tomar en cuenta en los experimentos futuros siendo una posible mejora al sistema. También, mediante las mediciones realizadas, se observó que cada módulo tiene un error de medición diferente, a pesar de ser sensores del mismo modelo. Esto se podrá compensar dando una ganancia diferente a cada uno de ellos al momento de realizar el promedio de medición, y de esta manera se enfocaría la posición con los datos con menor error. Finalmente se pretende realizar en el Arduino Mega un nodo basado en *roserial* para que éste envíe el dato de posición directamente al sistema ROS y así poder implementar al actual sistema de localización.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado como parte del proyecto RTI2018-094279-B-I00, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, por la Generalitat Valenciana y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través de las becas PRE2019-088069 y ACIF/2019/088 respectivamente.

English summary

INTEGRATION AND EVALUATION OF A MULTI-GNSS SYSTEM IN AN UNMANNED GROUND VEHICLE

Abstract

In this work, we present a low cost Multi-GNSS system that has 3 UbloxNeo-M8N modules in an Unmanned Ground Vehicle and this is compared with a GNSS-RTK system (u-blox C94-M8P). Data redundancy of the Multi-GNSS system allows a greater number of samples and better filtering data. Through experiments on different circuits, we obtained sample rates of 3 Hz. In addition, the Multi-GNSS system has a smaller error compared to a GNSS-RTK system (u-blox C94-M8P) when it doesn't have a direct line view of the RTK base station.

Keywords: Multi-GNSS, Mobile robotics, GNSS-RTK, u-blox.

Referencias

- [1] Iván del Pino, Miguel Á. Muñoz-Bañón, (5-7 de Septiembre de 2018). Integración y evaluación de un sistema RTK de bajo coste en un vehículo terrestre no tripulado, *Jornadas de Automática*, pp 349-355.
- [2] Iván del Pino, Saúl Cova, (2018). Presenting BLUE: A robot for localization in unstructured environments. *IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, pp 130-135. doi:10.1109/ICARSC.2018.8374172
- [3] J. Chen, Jun. Wang. (2021). Performance Analysis of a GNSS Multipath Detection and Mitigation Method with Two Low-cost Antennas in RTK Positioning. *IEEE Sensors Journal*. doi:10.1109/JSEN.2021.3068767.
- [4] Li Tuan, Hongping Zhang, (2021). Tight Fusion of a Monocular Camera, MEMS-IMU, and Single-Frequency Multi-GNSS RTK for Precise Navigation in GNSS-Challenged Environments. *Remote Sensing*, 11(6). url: www.mdpi.com/2072-4292/11/6/610.

- [5] María S. Garrido-Carretero, (2019). Low-cost GNSS receiver in RTK positioning under the standard ISO-17123-8: A feasible option in geomatics. *Measurement*, 137, pp 168-178. doi.org/10.1016/j.measurement.2019. 01.045
- [6] Miguel Á. Muñoz-Bañón, Iván del Pino (2019). Framework for Fast Experimental Testing of Autonomous Navigation Algorithms. *Applied Sciences*, 9(10). url: www.mdpi.com/2076-3417/9/10/1997
- [7] U-BLOX. NEO-M8-Datasheet. Recuperado el 15 de junio de 2021, de https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8-FW3_DataSheet_UBX-15031086.pdf
- [8] Yun-Ki Kim, Seung-Hwan Choi (31 de octubre - 2 de noviembre de 2013). Enhanced Outdoor Localization of Multi-GPS/INS Fusion System Using Mahalanobis Distance. *10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, pp 488-492



© 2021 by the authors.
Submitted for possible
open access publication
under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).