

GNSS multipropósito de bajo coste. Procesado Open Source como alternativa viable en procesos de producción cartográfica

Oscar Cuadrado Méndez⁽¹⁾, Silverio García Cortes⁽²⁾, Agustín Menéndez Díaz⁽²⁾

⁽¹⁾ Servicio de Cartografía. Gobierno del Principado de Asturias. C/Coronel Aranda S/N. 33071. Oviedo.

⁽²⁾ Departamento de Explotación de Minas. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres. C/Gonzalo Gutiérrez Quirós. 3360.0 Mieres.

Resumen

El posicionamiento GNSS se ha implantado en el día a día del ser humano, en cualquier sector de la sociedad, desde el geómetra que necesita de su rover para posicionar la base desde la que va a realizar un levantamiento para catastro como el pastor que está monitorizando su rebaño gracias al sistema de posicionamiento y modem 3G que lleva en el collar su carnero. Esto es una realidad, con todas sus consecuencias.

Recientemente se ha acuñado el concepto de “socialización de la precisión” con la irrupción en el mercado de sistemas de bajo coste, tanto en hardware como en software, permitiendo un acercamiento de las metodologías a diferentes ámbitos de aplicación.

Uno de los ámbitos en los que está teniendo una gran acogida este concepto es en el de los RPAS, impulsados por grupos de trabajo amparados bajo diferentes licencias de Open Source y Open Hardware.

Con esta línea de trabajo se ha pretendido demostrar que el estado actual de desarrollo de los diferentes proyectos Open Source relacionados con el posicionamiento preciso existente permitiría trabajar de forma óptima y con unos plazos y costes que podrían competir directamente con las herramientas comerciales existentes.

Es necesario resaltar que vivimos una situación de crisis que obliga a la optimización de los recursos tanto públicos como privados, con el objeto de intentar abaratar costes o amortizar correctamente la inversión realizada. En este trabajo se han realizado determinados ensayos con el objeto de desarrollar una metodología de trabajo diaria que permita el empleo de equipos "Low-Cost" junto con software libre, unión que puede ser poco productiva (de momento) desde un punto de vista operacional, pero cumple la función para la que se está utilizando, es decir, producir cartografía de precisión acorde a la escala requerida.

Se ha intentado determinar la precisión alcanzable con este tipo de combinaciones, gracias al ensayo con diferentes dispositivos GNSS en escenarios convencionales, cañones urbanos, vegetación, cielos despejados, trayectorias cinemáticas o posicionamientos estáticos (RTK o postproceso).

Como resultado final se concluye que es importante no centrarse exclusivamente en el receptor GNSS sino en el conjunto total del equipo, así como, en el método de posicionamiento empleado, vinculado fundamentalmente al tipo de comunicaciones del que podemos disponer, así como del entorno de trabajo.

Summary

The GNSS positioning has been implemented in the daily life of the human being, in any sector of society, from the geometer who needs your rover to position the base from which will conduct a survey to land registry as the shepherd who is monitoring his flock thanks to the positioning system and leading 3G modem in your ram necklace. This is a reality, with all its consequences.

Recently it coined the concept of "socialization of precision" with the arrival on the market of low cost systems, both hardware and software, allowing approach methodologies to different areas of application.

One of the areas where it is having a great reception this concept is in the RPAS, driven by work groups protected under various licenses of Open Source and Open Hardware.

With this line of work we have tried to show that the current state of development of various projects related to existing permit precise positioning and work optimally with delays and costs which could compete directly with existing commercial tools Open Source.

It should be stressed that we are living a crisis situation that requires optimization of both public and private resources with the aim of trying to reduce costs or properly amortize the investment. In this work we have performed certain tests in order to develop a methodology daily work that allows the use of equipment "Low-Cost" along with free software, a union that can be very productive (for now) from an operational point of view but it performs the function for which it is being used, ie produce precision mapping according to the scale required.

It has attempted to determine the accuracy attainable with such combinations, thanks to test different scenarios GNSS conventional devices, urban canyons, vegetation, clear skies, cinematic paths or static positioning (RTK or post-processing).

As a final result is concluded that it is important not to focus solely on the GNSS receiver but the full set of equipment as well as in the positioning method used, linked mainly to the type of communications that we have and the work environment .

Palabras clave

Low-cost GNSS Positioning, PPP/PPK, Ublox, Skytrack, Glab, GPSTK, RTKLIB, Open Source, postproceso cinemático, redundancia, ajustes

Introducción

Cada vez es más frecuente la dependencia de instrumentación y herramientas geodésicas basadas en desarrollos comerciales, sobre las que no tenemos ningún tipo de control. No sabemos qué está haciendo internamente la herramienta, o no podemos modificarla para adaptarla a nuestras necesidades.

Por otro lado, la inversión en software se lleva un alto porcentaje del coste de un proyecto, teniendo una vida útil de amortización muy corta, debido fundamentalmente a la necesidad de contratar servicios de actualización con el fabricante motivados por los ya conocidos y aceptados parches de actualización.

Todo esto se podría solventar si se pudieran desarrollar y utilizar herramientas libres para solucionar las necesidades básicas de posicionamiento, intentando utilizar equipos geodésicos lo más abiertos posibles que permitan al usuario ir complementándolos en función de sus necesidades sin tener la necesidad de sustituir el equipo base.

El objetivo principal de este proyecto ha sido el de testear las diferentes herramientas existentes en varios proyectos desarrollados a nivel mundial con licencia GNU/GPL dentro del ámbito de los sistemas GNSS, buscando su adaptación a unas necesidades muy concretas como pueden ser las de automatización de procesamientos de datos GNSS o el posicionamiento RTK en sistemas UAV.

El empleo de estas herramientas ha favorecido la toma de contacto con los diferentes formatos de almacenamiento y transmisión de observables GNSS, permitiendo sentar las bases de conocimiento necesarias para continuar con futuros trabajos.

Todo el proyecto gira en torno a tres conceptos fundamentales:

- Reducción de costes o coste mínimo.
- Reaprovechamiento tanto de esfuerzo humano y trabajo en equipo como de instrumentación geodésica existente.
- Automatización de procesos repetitivos.

De los resultados obtenidos se han obtenido diferentes conclusiones en algunos casos poco favorables que será necesario desarrollar en proyectos futuros.

Metodología

En el presente trabajo se han realizado diferentes ensayos empleando para ello diferentes herramientas de software libre [1], bnc ntrip client , rtcm2rinex, rtcm3decoder, gpstk, rtklib y otras como teqc, que no disponen de código en abierto pero son de uso libre.

Los diferentes ensayos realizados durante el proyecto requieren de enlace con un marco de referencia preciso que permita realizar el posicionamiento en modo relativo.

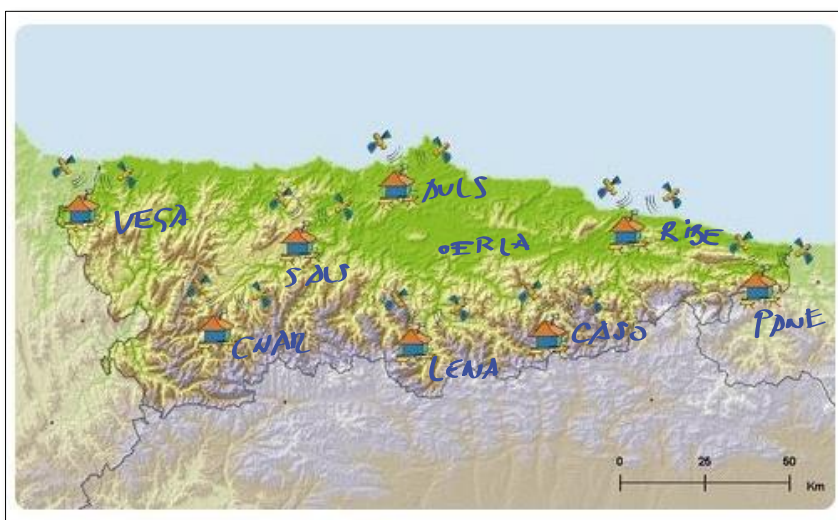


Fig. 1 Distribución de estaciones de referencia cercanas al campo de pruebas

Para ello se han empleado las estaciones de referencia de la Red GNSS autonómica (<http://rgapa.cartografia.asturias.es>), de la cual se disponen de datos en formato RINEX. La Red RGAPA dispone de coordenadas cartesianas tridimensionales obtenidas a partir de enlace con estaciones fiduciales de EUREF, empleando en el procesamiento las recomendaciones de este organismo, así como software científico [2].

En algunos ensayos se han empleado estaciones de referencia locales emitiendo correcciones RTCM propias a través de algún dispositivo, por lo que previamente se han determinado las coordenadas de estas estaciones enlazando con el marco de referencia definido por RGAPA. La metodología seguida en estas ocasiones es la de trabajar en tiempo real mediante conexión al caster NTRIP correspondiente y realizando el enlace mediante la obtención de tres vectores RTK a tres estaciones cercanas y realizando ajuste posterior.

Un ejemplo de este tipo de estaciones sería la empleada en las pruebas de emisión de datos RTCM mediante router WIFI desarrolladas en un velódromo.

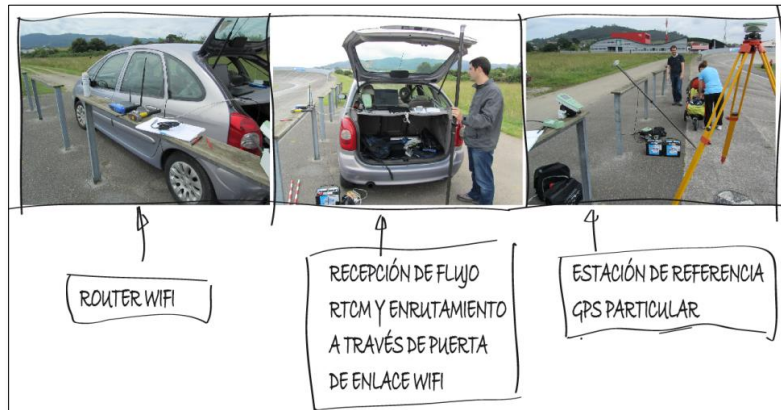


Fig. 2 Estación de referencia emitiendo flujo RTCM a través de router WIFI

Se han levantado puntos de control sobre un velódromo ubicado en las instalaciones deportivas donde se han realizado parte de los ensayos, de tal forma que disponemos de un pasillo controlado sobre los que realizar las pruebas de metodología cinemáticas.

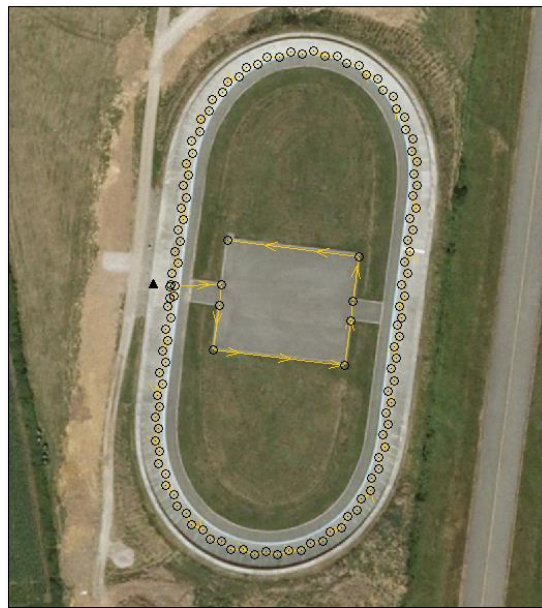


Fig. 3 Campo de contrastación de resultados

Para la determinación de estos puntos de control se ha utilizado los métodos estático y cinemático combinados. Las coordenadas de la estación de referencia se han determinado mediante post-procesamiento de datos estáticos registrados mientras se realizaba el levantamiento RTK mediante enlace por radio con esta referencia. Posteriormente se han procesado y ajustado los datos de dicha estación realizando una transformación de todas las coordenadas y vectores observados en campo.

Igualmente se ha empleado cartografía 1:1.000 para el chequeo de las observaciones cinemáticas en los ensayos de este tipo. La precisión teórica de dicha cartografía es suficiente para contrastar los resultados obtenidos.

Se han realizado diferentes ensayos con instrumentación convencional y low-cost, empleando diferentes metodologías de observación y procesado.

Escenario 1: Procesamiento RTK & estático. Comparación de métodos

Este test se ha realizado en un área deportiva ubicada en el término municipal de Llanera. El punto seleccionado ha sido un clavo de nivelación perteneciente al campo de chequeo de niveles digitales existentes en esa misma zona. Es una zona adecuada por su tranquilidad y ubicación. En ella se puede realizar un despliegue de equipos sin interferir con otros usuarios de las instalaciones.



Fig. 4 Ubicación de puntos de control.

En la determinación de las coordenadas precisas del punto de control, así como de las de otros puntos adyacentes, se ha utilizado un receptor GNSS LEICA ATX1230+, enlazando con las dos estaciones de referencia de la red GNSS autonómica más cercanas con metodología RTK-NTRIP (AVLS, LENA). Se han empleado flujos de datos RTCM en versión 3.1, utilizando en el cálculo datos GPS+GLONASS [3] [4].



Fig. 5 Determinación de coordenadas precisas de los puntos de control mediante RTK-NTRIP

Para cada uno de los puntos observados se ha realizado un registro de varios minutos con la resolución de ambigüedades FIJA durante todo este tiempo. Una vez registrados los datos, se ha realizado el tratamiento y ajuste de la observación con el software Leica Geo Office.

Id de punto	Clase de...	Inicio	Fin	Duración	Tipo GNSS	Tipo	Lectura de al...	Tipo de medición	Tipo de antena
NAP1	Medido	06/12/2011 08:04:14	06/12/2011 08:05:59	01' 45"	GPS/GLONASS	Est...	2.00000	Vertical	ATX1230+ GNSS Pole
NAP1	Medido	06/12/2011 08:07:49	06/12/2011 08:11:17	03' 28"	GPS/GLONASS	Est...	2.00000	Vertical	ATX1230+ GNSS Pole
NAP2	Medido	06/12/2011 08:17:57	06/12/2011 08:20:05	02' 08"	GPS/GLONASS	Est...	2.00000	Vertical	ATX1230+ GNSS Pole
NAP2	Medido	06/12/2011 08:22:02	06/12/2011 08:31:26	09' 24"	GPS/GLONASS	Est...	2.00000	Vertical	ATX1230+ GNSS Pole

Fig. 6 Tiempos de observación RTK para cada uno de los puntos de control

Una vez determinadas las coordenadas patrón de los puntos de control, se han realizado observaciones con el receptor UBLOX, únicamente sobre el punto NAP 2. No se han realizado observaciones sobre el punto NAP 1 por problemas logísticos de acceso mediante vehículo, dado que la configuración diseñada en ese momento exigía de una toma de corriente cercana.



Fig. 7 Oficina móvil de observación.

Se han realizado dos sesiones de observación independientes con equipos informáticos diferentes pero con idéntico sensor GPS (portátil con Windows 64 bits y Tablet PC con Windows 32 bits). Esta configuración se ha seleccionado para descartar problemas de procesamiento achacables al sistema operativo.

- Sesión 1. Observación estática de 55 minutos.
- Sesión 2. Observación estática de 67 minutos

Para poder realizar el procesamiento de los datos registrados en formato UBLOX, tanto con software comercial como libre, ha sido necesario emplear la herramienta TEQC. Para ello se genera un script con los parámetros de transformación necesarios y se aplica a los ficheros nativos de cada una de las sesiones. Tras un tiempo, en el cual se abre una

consola y se nos muestra información de la transformación, obtenemos un fichero Rinex para cada uno de los ficheros UBLOX.

Procesamiento de datos con software comercial

Para comprobar cómo se comporta el software comercial con los datos del receptor UBLOX se ha realizado un primer análisis procesando las dos sesiones con el programa LGO de la firma comercial Leica Geosystems.

En la tabla adjunta se muestra un cuadro de diferencias entre las coordenadas obtenidas a partir de los vectores ajustados RTK-NTRIP del punto de control NAP2 y los procesamientos de las dos sesiones. Se muestran las diferencias entre los resultados obtenidos a partir de vectores independientes a las diferentes estaciones de referencia.

	PUNTO DE CONTROL					
	XECEF	YECEF	ZECEF	Desv. Est. X	Desv. Est. Y	Desv. Est. Z
NAP2	4614861.8353	-471227.6168	4363040.5657	0.0135	0.0066	0.0127
ID	XECEF	YECEF	ZECEF	Diferencia 3D	Longitud del Vector GPS	
NAP2UBX	4614861.8800	-471227.6239	4363040.6061	0.0606	31950 m	Punto procesado con la estación de LENA
NAP2UBX	4614861.9101	-471227.6301	4363040.6255	0.0967	15572 m	Punto procesado con la estación de AVLS
NAP2UBX	4614861.8983	-471227.6276	4363040.6179	0.0825		Punto ajustado
NAP2UBX2	4614861.8619	-471227.6327	4363040.5864	0.0373	31950 m	Punto procesado con la estación de LENA
NAP2UBX2	4614861.9053	-471227.6268	4363040.6120	0.0845	15572 m	Punto procesado con la estación de AVLS
NAP2UBX2	4614861.9053	-471227.6268	4363040.6120	0.0845		Punto ajustado
NAP2UBX	4614861.8948	-471227.6299	4363040.6035	0.0717	1734 m	Punto procesado con la estación de ERLA
NAP2UBX2	4614861.8962	-471227.6317	4363040.6031	0.0730		Punto procesado con la estación de ERLA
Nota: El punto NAP2UBX y NAP2UBX2 son el mismo punto, observado en sesiones diferentes. Coinciden con el punto NAP2						

Fig. 8 Tabla de resultados obtenidos a partir de procesamiento con LGO.

De los resultados mostrados no se puede sacar ninguna conclusión vinculante, ya que los vectores con una longitud mayor parecen ser los que muestran un mejor resultado. Por otro lado, mayores tiempos de observación no mejoran notablemente el resultado.

Procesamiento de datos con software libre

Se realiza el procesamiento con la librería Open Source. Para agilizar las tareas de análisis se han generado una serie de scripts que lanzan un determinado número de procesos con los parámetros seleccionados. De esta manera es mucho más sencillo realizar un análisis de los resultados.

Se han lanzado un total de 6 procesos, enlazando cada sesión de observación con tres estaciones de referencia cercanas. Se muestran los resultados a continuación, siendo estos muy esperanzadores, dadas las discrepancias entre las coordenadas obtenidas mediante GPS de bajo coste y software libre, frente a soluciones comerciales

PUNTO DE CONTROL						
	XECEF	YECEF	ZECEF	Desv. Est. X	Desv. Est. Y	Desv. Est. Z
NAP2	4614861.8353	-471227.6168	4363040.5657	0.0135	0.0066	0.0127

ID	XECEF	YECEF	ZECEF	Diferencia 3D	Longitud del Vector GPS		
NAP2UBX	4614861.9024	-471227.6244	4363040.5999	0.0757	31950 m	Punto procesado con la estacion de LENA	SESIÓN 1
NAP2UBX	4614861.8713	-471227.6281	4363040.6005	0.0513	15572 m	Punto procesado con la estacion de AVLS	SESIÓN 1
NAP2UBX	4614861.8890	-471227.6279	4363040.5989	0.0641	1800 m	Punto procesado con la estacion de ERLA	SESIÓN 1
NAP2UBX2	4614861.8894	-471227.6313	4363040.5830	0.0586	31950 m	Punto procesado con la estacion de LENA	SESIÓN 2
NAP2UBX2	4614861.8648	-471227.6249	4363040.5887	0.0383	15572 m	Punto procesado con la estacion de AVLS	SESIÓN 2
NAP2UBX2	4614861.8956	-471227.6299	4363040.6023	0.0717	1800.0000	Punto procesado con la estacion de ERLA	SESIÓN 2

Nota: El punto NAP2UBX y NAP2UBX2 son el mismo punto, observado en sesiones diferentes. Coinciden con el punto NAP2

Fig. 9 Discrepancias entre Open Source + receptor low cost y coordenadas de control

Se ha podido comprobar, que en procesamiento estático se están obteniendo muy buenos resultados, mientras que en el método RTK los resultados no son nada buenos dadas las discrepancias detectadas.

En base a los resultados del test, se ha realizado una nueva observación estática de mayor duración para realizar más pruebas de cara a poder establecer una relación tiempo-distancia-precisiones de los vectores GPS.

Escenario 2: Procesamiento estático II. Estudio de distancias-tiempo

Este test es la continuación del realizado anteriormente en el que se determinaban las coordenadas de un punto con coordenadas conocidas en tiempo real. En esta fase se ha realizado una observación de 124 minutos de forma continuada, para poder establecer alguna conclusión frente a los tiempos de observación mínimos. Se ha estacionado la antena UBLOX sobre un jalón de 2 metros sobre el punto denominado anteriormente NAP2. El esquema de montaje. Tras la fase de campo se ha transformado el fichero en formato UBX a formato RINEX mediante el programa TEQC.

La idea fundamental en esta fase es la de procesar de forma automática todas y cada una de las sesiones de procesamiento planteadas. Se ha previsto dividir el total de la observación en tramos con una duración de 5 a 120 minutos (25 segmentos), procesando cada uno de estos segmentos con cada una de las 9 estaciones de referencia disponibles en Asturias, para poder determinar alguna conclusión respecto de los tiempos recomendados de observación en función de la distancia a la base de referencia. En total obtenemos 25 x 9 sesiones de procesamiento.

Realizar esta tarea de forma manual es completamente inviable, por lo que se han modificado los scripts anteriores para adaptarlos a esta fase.

El procesamiento se ha realizado en dos máquinas virtuales Windows de 32 y 64 bits respectivamente.

Por otro lado se ha compilado la herramienta para su uso desde la consola de una máquina virtual Linux.

Los resultados se han procesado con diferentes opciones

```
% pos mode : static
% freqs : L1
% solution : forward
% elev mask : 10.0 deg
% snr mask : 0.0 dBHz
% dynamics : off
% tidecorr : off
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : precise
% amb res : fix and hold
% val thres : 3.0
```

EFEMER. PRECISAS		PUNTO DE CONTROL							
PROC1 LINUX		XECEF	YECEF	ZECEF	Devs. Est. X	Devs. Est. Y	Devs. Est. Z		
NAP2		4614861.835	-471227.617	4363040.566	0.013	0.007	0.013		
1734.90 m		15572.53 m	31951.04 m	34654.47 m	48694.04 m	61856.10 m	65096.89 m	98684.17 m.	
								101815.47 m.	
Minutos de	ERLA	AVLS	LENA	SALS	CASO	RIBE	CNAR	VEGA	PANE
124 min	0.07	0.03	0.08	0.04	0.21	0.27	0.10	0.09	0.18
120 min	0.05	0.03	0.08	0.04	0.21	0.27	0.10	0.09	0.18
115 min	0.18	0.03	0.08	0.04	0.21	0.27	0.10	0.09	0.19
110 min	0.09	0.03	0.08	0.04	0.20	0.27	0.10	0.11	0.19
105 min	0.13	0.03	0.08	0.04	0.21	0.28	0.10	0.11	0.32
100 min	0.06	0.03	0.08	0.04	0.21	0.29	0.10	0.09	0.33
95 min	2.25	0.03	0.08	0.04	0.21	0.31	0.10	0.09	0.53
90 min	1.69	0.03	0.08	0.04	0.19	0.32	0.10	0.09	0.36
85 min	0.41	0.03	0.08	0.04	0.18	0.27	0.10	0.09	0.36
80 min	0.43	0.03	0.08	0.04	0.19	0.28	0.10	0.09	0.38
75 min	0.43	0.03	0.08	0.04	0.37	0.27	0.10	0.09	0.41
70 min	1.68	0.03	0.07	0.04	0.43	0.38	0.10	0.09	0.46
65 min	2.39	0.03	0.07	0.04	2.04	0.29	0.10	0.09	0.52
60 min	0.16	0.03	2.31	0.04	0.03	3.98	0.09	0.09	0.60
55 min	4.02	0.03	0.17	0.04	18.86	1.63	0.10	0.09	0.68
50 min	5.90	0.04	0.22	0.04	32.51	5.64	0.10	0.06	1.37
45 min	1.83	0.04	0.22	0.04	0.18	5.67	0.10	0.28	0.62
40 min	0.05	0.04	0.22	0.04	0.14	3.89	0.11	0.38	0.50
35 min	9.18	0.04	0.18	0.04	0.14	5.68	0.11	0.42	0.41
30 min	1.94	0.05	0.72	0.05	0.09	1.70	0.12	0.34	0.58
25 min	5.02	0.05	0.13	0.04	0.14	13.04	0.10	1.51	0.24
20 min	1.54	0.05	0.13	0.04	0.35	0.97	0.29	0.48	0.20
15 min	0.08	0.05	0.10	0.33	0.49	2.93	0.41	0.43	0.61
10 min	0.08	0.38	1.22	0.37	0.59	1.51	5.52	4.81	0.78
05 min	0.55	0.70	0.65	0.64	0.88	1.49	1.74	0.84	1.20
< 0.05 m		0.05 m - 0.10 m		0.1 m - 0.3 m		0.3 m - 1.0 m		> 1.00 m	

Fig. 10 Procesamiento Linux opción 1 con efemérides precisas.

Como se puede observar podemos encontrar diferencias notables entre el procesamiento Open Source y las coordenadas de control. Estas diferencias podrían ser achacables a la geometría de los satélites en el periodo seleccionado.

Escenario 3: Cinemático I

Se ha instalado inicialmente la antena UBLOX de forma rudimentaria para hacer una prueba de funcionamiento. El receptor GPS Ublox se gestiona desde una controladora con sistema operativo Windows Mobile 6.0 en el cual se ha instalado el software de monitorización U-Center. Desde esta herramienta se registra toda la trayectoria recorrida. Esta trayectoria se corresponde con un desplazamiento por cada uno de los bordes de una senda de dos kilómetros entre los pueblos de Lugo de Llanera y Posada. Se ha intentado mantener una velocidad constante del vehículo, manteniendo las ruedas sobre cada uno de los bordes laterales de dicha senda. Se muestran los resultados al final del apartado.



Fig. 11 Ensayo de almacenamiento de datos Ublox sobre Windows Mobile

Tras la observación de campo se procede a la transformación de los observables en formato RAW Ublox a formato RINEX para poder procesarlos con dos herramientas, comercial y libre

Tras esta transformación obtenemos un fichero RINEX, el cual procesamos inicialmente con la herramienta libre

Posicionamiento absoluto con efemérides de navegación

El método de posicionamiento empleado ha sido posicionamiento absoluto con efemérides de navegación.

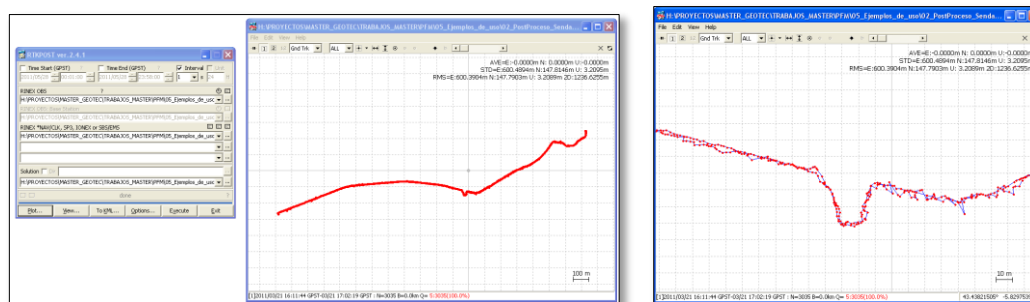


Fig. 12 Procesamiento en modo absoluto a partir del fichero de observaciones y navegación RINEX

Posicionamiento absoluto con efemérides de precisión

El método de posicionamiento empleado ha sido posicionamiento absoluto con efemérides de precisión. Se repite el mismo procesamiento anterior pero con efemérides precisas.

Se puede apreciar que el resultado del posicionamiento absoluto no mejora sensiblemente respecto del procesado con efemérides precisas.

Se muestran los resultados de los diferentes procesamientos realizados. En la imagen siguiente se pueden apreciar los resultados del posicionamiento absoluto calculado con software libre, empleando efemérides de navegación y de precisión. Se aprecia irregularidad en la trayectoria, por lo que el resultado no es el esperado.

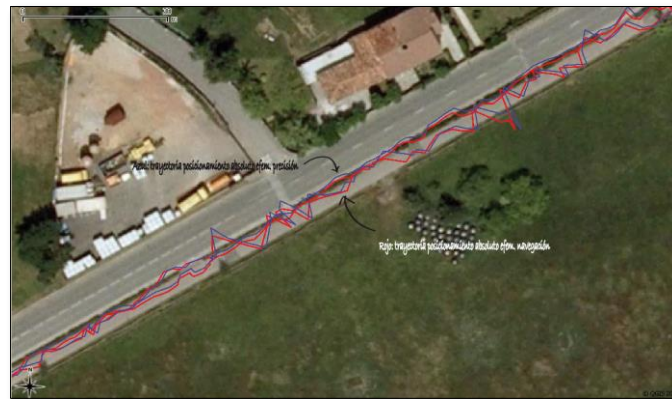


Fig. 13 Comparación de trayectorias obtenidas a partir de posicionamiento absoluto.

Finalmente se comparan los datos procesados con software libre superponiéndolos sobre la cartografía 1:1.000 disponible. Se muestran varias capturas de pantalla a lo largo de los dos kilómetros de recorrido de la trayectoria. Se puede comprobar que el resultado obtenido con este método es el que más se adapta a los márgenes de la senda.



Fig. 14 Resultados de procesamiento con software libre

Escenario 4: Cinemático II

En base a la experiencia previa, se ha instalado la antena en un soporte para evitar movimientos.



Fig. 15 Instalación de receptor GPS

En la imagen inferior podemos apreciar cómo se ha ubicado el receptor en el vehículo, así como la posición respecto de la sección de la senda en el recorrido de vuelta.



Fig. 16 Instalación de equipo GPS en "vehículo"

Se ha definido un proyecto con los mismos parámetros de procesamiento que la prueba anterior. Esta vez únicamente se ha utilizado una estación de referencia. Tras el procesamiento se aprecian resultados muy similares al caso anterior, es decir, la trayectoria no es regular, existiendo muchos puntos que definen una poligonal irregular.

Si superponemos los puntos resultantes del procesamiento podemos observar el mismo resultado que el caso anterior.



Fig. 17 Puntos procesados con Trimble TTC.

Procesamiento software libre

Se han empleado efemérides precisas y una como estación de referencia cercana, obteniendo una trama NMEA como resultado del procesamiento. Tal y como ha ocurrido

en el apartado anterior los resultados son claramente mejores que con el procesado de TTC. Las trayectorias son más regulares acercándose a los bordes de la senda por donde ha circulado el vehículo. En algunos casos se puede apreciar una fuerte dispersión en los puntos procesados. En esas zonas normalmente se puede apreciar en la cartografía la existencia de objetos que han podido ocasionar un efecto multi-camino en la señal. Del análisis visual podemos concluir que cuando ocurre este problema, interrupción de señal, normalmente los datos posteriores no son buenos, existiendo un desplazamiento durante cierto tiempo.



Fig. 18 Detalle

Escenario 5: Trayectoria de una bicicleta a lo largo de recorrido conocido

En este ensayo se ha determinado la trayectoria de una antena a lo largo de un itinerario conocido testeándola sobre cartografía 1:1000.



Fig. 19 Instalación de equipos

Los datos se han procesado empleando dos herramientas de software comercial y una libre



Fig. 20

Escenario 6: Ensayo con instrumentación redundante en cofre

En este último ensayo se han **contrastado** diferentes receptores comerciales registrando sobre un vehículo en movimiento, a la par que varios equipos low-cost. Todo el sistema ha sido introducido en un cofre de transporte.

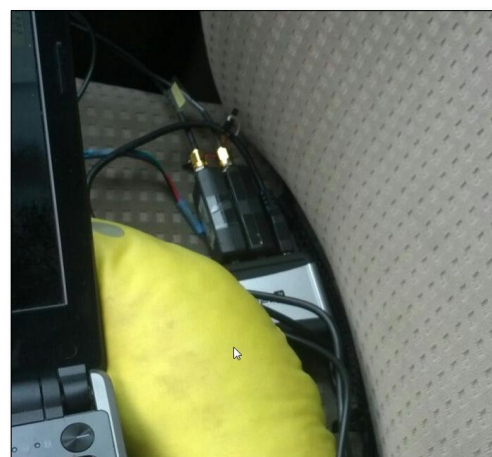


Fig. 21 Instalación en cofre sobre vehículo

Los datos obtenidos en este escenario han sido procesados con software libre exclusivamente, obteniendo resultados muy similares, independientemente del tipo de receptor GNSS utilizado. Se ha podido comprobar una gran sensibilidad a las zonas de vegetación o cañones urbanos, recuperándose de esta circunstancia mucho más rápido los equipos comerciales.



Fig. 22 Trayectorias paralelas de dos receptores

Esta fase no se ha podido completar completamente, dado que parte de la instrumentación ha sido adquirida tarde.

Nuevas líneas de actuación

En esta fase se ha empezado a trabajar sobre un ordenador de placa reducida (SCB) [5], concretamente sobre una BeagleBone [6], dado que dispone de 5 puertos UART (serie) permitiendo conectar hasta 4 receptores GNSS simultáneos más un sistema de telemetría.

Las pruebas manuales han dado buenos resultados, estando pendiente la automatización en Linux las tareas de inicio automático de registro al reiniciar el sistema (conexión a fuente de alimentación)



Fig. 23 Linux embebido

Conclusiones

La influencia de la antena en los resultados del procesamiento es fundamental [7] [8]. Antenas de baja calidad no son capaces de eliminar el efecto multipath de la señal. Al emplear antenas comerciales con el receptor de bajo coste los resultados se ven mejorados notablemente.

Parece ser que cuando existe un obstáculo que interrumpe la recepción de la señal, posteriormente existe un periodo donde los resultados del procesamiento no son buenos

Sería interesante mejorar las antenas de bajo coste incorporando un plano de tierra.

El número de posibilidades que ofrecen este tipo de herramientas en cuanto a la redundancia de recepción de datos por varios canales, procesos de cálculo duplicados, comprobación, etc. es muy amplio.

Los datos pueden ser procesados en tiempo real o en diferido, independientemente de que el registro sea tipo estático o cinemático. Las primeras pruebas han sido realizadas en modo estático para comprobar la veracidad de los datos procesados sobre determinados puntos de control de la red geodésica autonómica.

No se han podido obtener unas conclusiones determinantes en este apartado. Como se ha indicado en el apartado correspondiente. Sería necesario definir un test de mayor duración (24 horas) de tal manera que pudiéramos realizar un estudio completo sobre satélites, altura de estos, entrada-salida, etc.

Quedan tareas pendientes por desarrollar:

- Obtención de gráficos de análisis de observables y procesamiento de forma automatizada a través de la consola. La generación de gráficos es una tarea tediosa en el caso de plantear diferentes hipótesis.
- Análisis numérico de resultados de forma automatizada. Al igual que en la tarea anterior, en el caso de múltiples hipótesis es tedioso y arduo el tener que ir accediendo a cada uno de los ficheros de resultados para extraer la parte que nos interesa.
- Empleo de diferentes antenas para determinar cómo afecta el efecto multipath.
- Diseño de procesamiento entre cada una de las estaciones de la RGAPA en modo consola para una semana de datos a 30 s. varios tiempos de proceso. Control automático de precisiones y gráficas.
- Experimentar con los métodos PPP y PPP Kinematic [9][10][11][12]
- Para vectores largos entre estaciones de referencia comprobar si incorporando efemérides precisas se soluciona mejor.
- Diseñar un sistema de producción para monitorizar en tiempo real RTK entre estaciones de referencia [3].

Bibliografía

- [1] "Open Source Ntrip Software," *Open Source Ntrip Software*. [Online]. Available: <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/download>.
- [2] O. Cuadrado and D. Hernández, "Determination of the ETRS89 coordinates of the Active Geodesic Network of Principado de Asturias (Spain)," 2007.
- [3] T. Bellone, P. Dabove, A. M. Manzano, and C. Taglioretti, "Real-time monitoring for fast deformations using GNSS low-cost receivers," *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, vol. 7, no. 2, pp. 458–470, Oct. 2014.
- [4] N. S. Systems and K. Island, "RINEX - based GNSS positioning performance data analysis using the Open Source tool Receiver INdependent EXchange format," 2013.
- [5] T. Takasu and A. Yasuda, "Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an Open Source program package RTKLIB," *Int. Symp. GPS/GNSS*, pp. 4–6, 2009.
- [6] I. Symposium, "Development of the Low - Cost RTK - GPS R i with Receiver," 2009.
- [7] T. Takasu, "Precise Positioning Technology by Global Navigation Satellite System." [Online]. Available: <http://gpspp.sakura.ne.jp/indexe.html>.
- [8] T. Takasu and A. Yasuda, "Evaluation of RTK-GPS performance with low-cost single-frequency GPS receivers," *Proc. Int. Symp. GPS/GNSS*, pp. 852–861, 2008.
- [9] C. Rizos, V. Janssen, C. Roberts, and T. Grinter, "Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?," *FIG Work. Week 2012*, no. May, pp. 1–17, 2012.
- [10] T. Takasu, "Real time PPP with ith RTKLIB and IGS real time satellite orbit and clock," in *IGS Workshop 2010*, 2010, p. 16.
- [11] P. Srinuandee and C. Satirapod, "Use of genetic algorithm and sliding windows for optimising ambiguity fixing rate in GPS kinematic positioning mode," *Surv. Rev.*, vol. 47, no. 340, pp. 1–6, 2015.
- [12] G. Krzan, K. Dawidowicz, and K. Świątek, "Comparison of position determination accuracy conducted by PPP technique using web-based online service and dedicated scientific software," no. May, 2014.