

Estado de la Red de Estaciones Permanentes GNSS del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Current status of the IGN GNSS Permanent Stations Network

Esther Azcue Infanzón, Sergio Calvo Ferruelo, Pedro Gonzalo López, Jose Antonio Sánchez Sobrino, Marcelino Valdés Pérez de Vargas

Area de Geodesia - Instituto Geográfico Nacional

General Ibañez de Ibero, 3 – 28003 Madrid

ezazcue@fomento.es, scalvo@fomento.es, pgonzalo@fomento.es, jassobrinno@fomento.es,
mvaldes@fomento.es

RESUMEN/RESUMO

Actualmente la red de estaciones permanentes GNSS del Instituto Geográfico Nacional está compuesta por unas 70 estaciones. En los últimos años se han incorporado nuevas estaciones, al mismo tiempo que se han suscrito convenios o acuerdos con las instituciones que gestionan las redes de las Comunidades Autónomas para la inclusión de algunas de sus estaciones en la Red Geodésica Nacional de Referencia de Estaciones Permanentes GNSS, para llegar a formar finalmente una red homogéneamente distribuida por todo el territorio nacional de unas 90 estaciones.

Esta Red tiene dos vertientes fundamentales: por un lado el mantenimiento del marco de referencia a través de la publicación de datos RINEX y el soporte para postproceso, mientras que por otro lado, junto con todas las demás estaciones GNSS de las Comunidades Autónomas, la diseminación en tiempo real del marco de referencia, mediante los diferentes servicios de posicionamiento en tiempo real.

ABSTRACT

Currently the network of GNSS permanent stations GNSS of IGN is composed of about 70 stations. In recent years new stations have been incorporated to the network and agreements have been signed with institutions that manage regional GNSS networks for the inclusion of some of its stations in the National Geodetic Reference GNSS Permanent Stations Network to finally integrate a well distributed network throughout the national territory of about 90 stations.

This network has two fundamental aspects: on the one hand the maintenance of the geodetic frame through the publication of RINEX data and support for postprocessing, while on the other hand, together with all other GNSS stations from Autonomous Regional organisms, the dissemination in real-time of the geodetic frame through the different real time positioning services.

Principales proyectos del Centro de Análisis de datos GNSS del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Main Projects of GNSS Data Analysis Center of IGN

Esther Azcue Infanzón, Sergio Calvo Ferruelo, Pedro Gonzalo López, Jose Antonio Sánchez Sobrino, Marcelino Valdés Pérez de Vargas

Area de Geodesia - Instituto Geográfico Nacional

General Ibañez de Ibero, 3 – 28003 Madrid

eazcue@fomento.es, scalvo@fomento.es, pgonzalo@fomento.es, jassobrino@fomento.es,
mvaldes@fomento.es

RESUMEN/RESUMO

El Instituto Geográfico Nacional es Centro de Análisis de EUREF desde el año 2001, procesando semanal y diariamente una subred de estaciones permanentes GNSS que abarca gran parte del occidente de Europa (España, Portugal, Francia, Italia, Gran Bretaña, Irlanda...). Desde entonces, nuevos proyectos de procesamiento de datos GNSS han surgido, tanto puntuales en el tiempo como de procesamiento continuo, con fines no solo puramente de dotación de coordenadas a estaciones permanentes GNSS, sino también de otros objetivos como la obtención de series temporales geodinámicas o el cálculo en tiempo casi-real del retardo troposférico de la señal para aplicaciones meteorológicas. En este artículo se enumeran los diferentes proyectos que el IGN está llevando a cabo actualmente en este ámbito.

ABSTRACT

National Geographic Institute is Analysis Center of EUREF since 2001, carrying out weekly and daily processes of a subnetwork of GNSS permanent stations covering mainly the western Europe part (Spain, Portugal, France, Italy, Great Britain, Ireland...). Since then, new GNSS data processing projects have emerged, not only those who require a punctual processing, but others requiring continuous processing. The objectives of these projects are not only the obtaining of coordinates of GNSS permanent stations, but also other objectives such as obtaining geodynamic time series or calculating in almost-real time tropospheric delay signal for meteorological applications. This article discusses the different projects where the IGN is currently involved.

La Red GNSS del Real Observatorio de la Armada y su viabilidad en un sistema de alerta temprana de seísmos.

The GNSS net of the Royal Spanish Naval Observatory and its viability in a earthquake early warning system.

Ángel Cibeira⁽¹⁾, Antonio Pazos⁽¹⁾ Jorge Gárate⁽¹⁾

⁽¹⁾Royal Spanish Naval Observatory, Plaza Tres Marinas s/n CP:11100, San Fernando Cádiz

cibeira@roa.es/pazos@roa.es/jgarate@roa.es

RESUMEN

El Real Observatorio de la Armada (ROA) comenzó en 2005 a desplegar una red de estaciones GNSS en el sur de la Península Ibérica. Inicialmente pensada con fines geodinámicos, dichas estaciones se configuraron en sesiones diarias con observaciones cada 30 segundos. Gracias al desarrollo de equipos con mayor capacidad de almacenamiento y carga de procesado, así como de receptores de mayores prestaciones, parte de estas estaciones se pudieron configurar con sesiones horarias a 1 Hz. Esto último posibilita el empleo de la red en aplicaciones en tiempo real. El Real Observatorio de la Armada forma parte del sistema de alerta temprana de seísmos ALERTES-RIM. Dada la situación de la red del ROA, se está estudiando la viabilidad de implementar técnicas GNSS con datos procedentes de las estaciones pertenecientes a la red anterior para la mejora del sistema.

ABSTRACT

The Royal Spanish Naval Observatory (ROA) began to deploy by 2005 a net of GNSS stations in the South of the Iberian Peninsula. Initially thought for geodynamic purposes, those stations were configured in daily sessions with a 30 seconds rate of observation. Thanks to the development of equipment with bigger storage and burden, as well as more capable receptors, a part of these stations could be configured with hourly session at a rate of 1 Hz. The former allows the use of the net in near real time applications. The Royal Spanish Naval Observatory is a part of the earthquake early warning system ALERTES-RIM. Due to the location of the net of the ROA, the viability of the use of GNSS techniques with data from the stations that belong to the former net is under study in order to improve the system.

SONMICAT: Sistema de Observación del Nivel del Mar Integrado en Catalunya

SONMICAT: Sea Level Observation System of Catalunya

A. Térmens⁽¹⁾ , J.J. Martínez-Benjamín⁽²⁾

⁽¹⁾Geoinquiets-BCN, Barcelona. atermens@gmail.com

⁽²⁾Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. jj.benjamin@upc.edu

atermens@gmail.com

RESUMEN

SONMICAT es el sistema integrado de observación del nivel del mar de Catalunya. Tiene como objetivo proporcionar mediciones continuas de alta calidad de los niveles de mar y tierra en la costa catalana - tanto desde mareógrafos como de técnicas geodésicas modernas - para estudios sobre las tendencias del nivel del mar a largo plazo, pero también para la calibración de satélites altimétricos. Esta sinergia es de hecho la única manera de obtener una imagen clara e inequívoca de lo que realmente está pasando en la costa catalana.

SONMICAT pretende ser: un sistema integrado para monitorizar el nivel del mar (diferentes tipos de datos, instrumentos, escalas temporales y espaciales); un sistema de información del nivel del mar gestionando los datos observados desde diversas redes (i.e. GLOSS, ESEAS) y una interfaz local/regional para proyectos y bases de datos globales (i.e. PSML, TIGA).

Actualmente, hay un espacio vacío de datos globales del nivel del mar (GLOSS, PSML, TIGA) en la zona costera de Catalunya, aunque son varios los grupos que han empezado a hacer algunos trabajos que podrán ser incluidos en SONMICAT. Hasta ahora, el sistema se ha iniciado en los puertos de l'Estartit y Barcelona.

Se presenta una descripción de la infraestructura actual y campañas que componen actualmente SONMICAT, especialmente en el puerto de Barcelona.

ABSTRACT

SONMICAT (Sistema d'Observació del Nivell del Mar Integrat de Catalunya) is the integrated sea level observation system of Catalonia. SONMICAT aims at providing high-quality continuous measurements of sea- and land levels at the Catalan coast from tide gauges and from modern geodetic techniques for studies on long-term sea level trends, but also the calibration of satellite altimeters, for instance. This synergy is indeed the only way to get a clear and unambiguous picture of what is actually going on at the coast of Catalonia.

SONMICAT aims to be: an integrated sea level monitoring system (different types of data, sources, time and space scales); a sea level information system handling the

data measured by different observation networks; a local/regional component of international sea level observing systems (i.e. GLOSS, ESEAS) and a local/regional interface for related European and Global projects and databases (i.e. PSML, TIGA).

Actually, there is a gap of sea level data (GLOSS, PSML, TIGA) in the coastal area of Catalonia, although several groups have started to do some work. SONMICAT will fit it. Up to now, the system has started at l'Estartit and Barcelona harbours.

A description of the actual SONMICAT infrastructure and campaigns – especially at Barcelona harbour – are presented.

Nivelación y gravimetría en la Red GNSS de Estaciones Permanentes (ERGNSS) y la Red de mareógrafos del IGN
Levelling and gravimetry in GNSS Permanent Station Network (ERGNSS) and Tide Gauge Network of IGN

Pedro A. Vaquero

Área de Geodesia, Instituto Geográfico Nacional, Madrid

pavaquero@fomento.es

RESUMEN

La nueva Red de Nivelación de Alta Precisión de España (REDNAP) ha pasado por diferentes etapas desde su inicio en 2001 con la Red Nivelación de Alta Precisión en la Zona de Pirineo Español (Interreg-2 Project). Tras la finalización de las observaciones, cálculos y compensaciones de los nodos de la red, en 2008 se inició una fase para densificar los polígonos que la forman, así como la observación de varios ramales a diferentes puntos de interés. Ahora, REDNAP consta de cerca de unos 25.000 puntos de referencia a lo largo de unos 20.000 kilómetros. Estas observaciones se complementan con observaciones GPS y gravedad relativa, y han servido para obtener un nuevo geoide, adaptando el modelo global de gravedad EGM2008 al sistema de referencia vertical en España, materializado por REDNAP. Actualmente, el área está desarrollando un plan de mantenimiento para REDNAP.

Durante estos años se han realizado enlaces de nivelación a la Red GNSS de Estaciones Permanentes (ERGNSS) y a diferentes mareógrafos, tanto de la red del IGN como a de otros organismos nacionales. También se han hecho observaciones de gravedad absoluta en varias estaciones permanentes de ERGNSS y, ahora, el Área de Geodesia está iniciado un plan para la observación periódica de la gravedad absoluta y la nivelación de alta precisión de todas las estaciones permanentes de ERGNSS y los mareógrafos. Todo ello para un mejor control de los movimientos verticales de estas redes y de los cambios en el nivel medio del mar.

ABSTRACT

The new High Precision Levelling Network of Spain (REDNAP) has gone through successive stages from start with the High Precision Levelling Network in the Spanish Pyrenees Zone (Interreg-2 Project) in 2001. After completion of observations, calculations and compensation of network nodes, in 2008 began a phase to densify the polygons that constitute it, as well as observation of various branches to different points of interest. Thus, REDNAP now consists of about 25,000 benchmarks along about 20,000 km. These observations are complemented by GPS and relative gravity observations, and they have served to obtain a new geoid, adapting the world gravity model EGM2008 to the vertical reference system in Spain, materialized by REDNAP. Currently, the department is facing the

replacement of lost benchmarks, the re-observation of some sections of the network and developing a maintenance plan for REDNAP.

During these years there have been levelling links to the GNSS Permanent Station Network (ERGNSS) and at different tide gauges, both of IGN network as the tide gauges of other national agencies. There have also been observations of absolute gravity in various permanent stations of ERGNSS, and now the department of Geodesy has started a plan for regular observation of absolute gravity and high precision levelling of all permanent stations of ERGNSS and tide gauges that can be used to better control of vertical movements of these networks and to control changes in the mean sea level.

Evaluación de la influencia de diversas variables en la estimación del retraso troposférico con GNSS en tiempo casi real.

Assessment of different variables influence to determinate the tropospheric delay with near real-time GNSS.

E. Azcue Infanzón⁽¹⁾, J. A. Sánchez Sobrino⁽¹⁾, M. Valdés Pérez de Vargas⁽¹⁾

⁽¹⁾Area de Geodesia - Instituto Geográfico Nacional, General Ibañez de Ibero, 3 – 28003 Madrid

eazcue@fomento.es

RESUMEN/RESUMO

El interés de la meteorología en las mediciones GNSS tiene su origen en la gran sensibilidad que presentan éstas respecto al contenido de vapor de agua en la atmósfera. El cálculo del retraso que sufren las señales en su propagación, con suficiente celeridad y precisión, puede servir para la mejora de los modelos de predicción meteorológica. Con esta finalidad surge el proyecto europeo E-GVAP (EUMETNET EIG GNSS water vapour programme), en el que el Instituto Geográfico Nacional participa como centro de análisis estimando en intervalos horarios y a tiempo casi real el retraso troposférico de las señales.

La precisión final de la estimación depende de diversas variables involucradas en el cálculo como: efemérides utilizadas, red procesada, precisión de las coordenadas fijadas de las estaciones, modelo troposférico a priori utilizado o consideración de los modelos de corrección de carga atmosférica y oceánica. En este artículo se pretende evaluar la influencia de estas variables en el cálculo del retraso troposférico en componente cenital (ZTD) de las señales GNSS, con el objetivo de determinar la mejor estrategia de procesamiento.

ABSTRACT

The interest of meteorology in GNSS measurements is motivated by their high sensibility in relation to the content of water vapour of the atmosphere. Fast and accurate signal delay estimation enables to improve the numerical weather prediction models. The European project E-GVAP (EUMETNET EIG GNSS water vapour programme) looks for achieving this purpose. The National Geographical Institute of Spain participates in the hourly and near real time estimation of tropospheric signal delay.

The final accuracy of estimation is related to different variables as: ephemeris data, network processed, fix coordinates of the stations, a priori tropospheric model or the use of atmospheric and ocean tide loading corrections. This article evaluates the influence of this factors in the final estimation of zenith total delay (ZTD) for reaching the optimal processing strategy.

Madrid, 2016

COMPARAÇÃO DE SERVIÇOS DE PROCESSAMENTO ONLINE DE DADOS GNSS USANDO A REDE IGS

Online PPP service comparison using GNSS data from the global IGS station network

Rafael Couto⁽¹⁾, Carlos Barrico⁽¹⁾, Rui Fernandes⁽¹⁾, Machiel Bos⁽¹⁾

⁽¹⁾ SEGAL (UBI/IDL), Covilhã, Portugal.

rafael.couto@segal.ubi.pt

RESUMEN/RESUMO

Os serviços online de processamento de dados GNSS têm vindo a ganhar cada vez mais adeptos, muito devido à sua simplicidade de uso bem como pelo facto de tornar este tipo de pós-processamento mais acessível a grupos com menores recursos financeiros e/ou conhecimentos específicos. Este tipo de serviços caracteriza-se pelo facto de permitir o cálculo preciso (nível centimétrico) num referencial global (atualmente o ITRF2008), à época da observação, sem necessitar de um conjunto explícito de estações de referência.

Existem atualmente vários serviços online gratuitos que efetuam este tipo de pós-processamento, cada um com as suas particularidades e um modelo de processamento diferente, o que torna difícil a escolha de qual o serviço mais adequado (nomeadamente em termos de acesso e precisão). Adicionalmente, se um utilizador pretender utilizar uma média ponderada das diferentes soluções obtidas usando diversos serviços, tem de tomar em conta a diferença entre os erros formais dados pelos diferentes serviços.

Neste trabalho, investiga-se e compara-se os resultados de três serviços online: APPS (USA), NRCAN (Canada) e AUSPOS (Austrália). Foi analisada uma rede de 50 estações IGS com uma boa distribuição geográfica global. De forma a garantir estatísticas robustas, foram processados todos os dados disponíveis para o ano de 2015. Os resultados obtidos permitem concluir que nenhum destes serviços é significativamente superior aos outros mas que é necessário estimar e aplicar fatores de forma a normalizar as incertezas quando se pretende calcular as posições médias a partir das soluções individuais.

ABSTRACT

Online GNSS data processing services have been gaining more and more users, largely due to its simplicity of use and the fact that this type of post-processing technique is

Madrid, 2016

more accessible to groups with smaller financial resources and/or specific knowledge. This type of service is characterized by its precise calculation (centimetre level) in a global reference frame (currently ITRF2008) without the need to specify a set of reference stations.

Currently, there are several free online services that perform this type of post-processing, each one with its peculiarities and using different processing models, which makes it difficult to choose which service fits best the needs of the user (in terms of access and precision). Additionally, if a user wants to use a weighted average of the obtained solutions, using the solutions provided by the available services, he/she has to consider the difference between the formal errors given by the different services.

This study investigates and compares the results of three online services: APPS (USA), NRCAN (Canada) and AUSPOS (Australia). A set of 50 IGS stations with a good geographical distribution was analysed. In order to assure a robust statistical analysis, all available data from 2015 were taken into consideration. The obtained results lead to the conclusion that none of the services is significantly better than the others, but that it is necessary to estimate and apply scale factors in order to normalize uncertainties when one wants to calculate average positions from individual solutions.

Cálculo y análisis de diferentes tipos de altitudes en La Red Española de Nivelación

Computation and analysis of different types of heights in the Spanish Leveling Network

Abelardo Bethencourt Fernández⁽¹⁾, Víctor Puente García⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Madrid, ETSITGC, Campus Sur, Autovía de Valencia km 7, 28031, Madrid

⁽²⁾ Sección Departamental de Astronomía y Geodesia, Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain

abelardo.bethencourt@upm.es/vpuente@ucm.es

RESUMEN

La altitud ortométrica se define como la distancia entre el geoide y la superficie terrestre medida a lo largo de la línea de la plomada. Su determinación a partir de las medidas de desniveles y gravimétricas requiere la obtención del valor medio de la gravedad entre el geoide y la superficie terrestre. Dada la imposibilidad práctica de obtener este valor de forma empírica se utiliza para su cálculo determinados modelos aproximados. El método de Helmert aplica el de reducción de Poincaré-Prey, considerando como gradiente de la gravedad aire libre el de la gravedad normal y la atracción de la placa de Bouguer de densidad constante.

Otras aproximaciones más refinadas consisten en tener en cuenta las desviaciones de la topografía con respecto a la placa de Bouguer. En este sentido se tienen las altitudes ortométricas de Niethammer, donde se evalúa el valor medio de la atracción de la topografía a lo largo de la línea de la plomada mediante la discretización de la integral correspondiente y las de Mader, en las que bajo el supuesto de variación lineal se calcula como la media aritmética de sus valores en el geoide y en la superficie terrestre.

En este trabajo se comparan las diferentes altitudes previamente descritas, así como las obtenidas mediante una nueva metodología para el cálculo riguroso del valor medio de atracción de la topografía a lo largo de la línea de la plomada. Todo ello se aplica en puntos de la Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP).

ABSTRACT

The orthometric height is defined as the length from the geoid to the Earth's surface measured along the plumbline. Its determination from spirit levelling and gravity measurements requires the computation of the mean value of the gravity between the geoid and the Earth's surface. Given that the computation of this value by an empirical way is not possible in practical terms, approximate models are used. Helmert's method applies Poincaré-Prey reduction considering the normal gravity as

gradient of gravity in free air as well as the attraction of Bouguer shell of constant density.

More refined approximations take into account the deviations of the topography with respect to Bouguer shell. In this regard, Niethammer orthometric heights use the mean value of terrain attraction along the plumbline evaluated by the discretization of the corresponding integral; and Mader orthometric heights are computed using the mean of the terrain effect at the geoid and at the Earth's surface, under the hypothesis of linear variation.

In this work, the different types of heights previously described are compared, as well as those obtained by means of a new method for rigorous computation of the mean value of terrain effect along the plumbline. This comparison is applied to points from the High Precision Spanish Leveling Network

Análise Preditiva de uma Base GNSS Permanente ***Predictive Analysis of a GNSS Permanent Baseline***

João Casaca⁽¹⁾ and José Nuno Lima⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa

⁽²⁾Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa

jmmcasaca@gmail.com/jnplima@lnec.pt

RESUMO

A comunicação apresenta uma análise preditiva Bayesiana das medições de uma base “permanente” GNSS, muito curta, levadas a cabo durante cerca de dois meses com recetores de duas frequências e antenas geodésicas. Para avaliar a estabilidade temporal da base foram usadas as possibilidades preditivas posteriores de novas observações contra um conjunto de observações iniciais. As possibilidades preditivas posteriores da nova observação são dadas pela razão do máximo da densidade preditiva posterior pela densidade preditiva posterior da nova observação. A análise de cerca de 1500 medições da base mostrou que apenas 5% apresentam erros de observação significativos.

ABSTRACT

The paper presents a Bayesian predictive analysis of the measurements of a very short GNSS “permanent” baseline carried out along two months with two frequency receivers and geodetic antennae. The posterior predictive odds of new observations against a set of initial observations are used to assess the temporal stability of the baseline. The posterior predictive odds are the ratios between the posterior predictive density’s maximum and the posterior predictive density of the new observations. The analysis of c. 1500 measurements of the baseline showed that only 5% were contaminated by significant observation errors.

Mitigando o ruído das séries temporais GNSS com filtros digitais *GNSS time series noise mitigation with digital filters*

José Nuno Lima⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa

jnplima@lnec.pt

RESUMO

Da utilização do GNSS em contínuo para monitorizar fenómenos geofísicos, nomeadamente a vigilância vulcânica, sísmica e tectónica, e as respostas dinâmicas e quase estáticas das grandes estruturas de engenharia civil resultam séries temporais que devem ser convenientemente filtradas em função do tipo de sinal (frequência e amplitude) que se pretende monitorizar. Com o GNSS e utilizando o mesmo tipo de equipamento, mas empregando modos de posicionamento diferentes, é possível monitorizar numa banda muito larga. Com efeito, o GNSS em modo estático relativo é mais adequado para vigilância de longo período porque este tipo de posicionamento caracteriza-se por detectar deslocamentos de baixa frequência com exactidão milimétrica. Por outro lado, para a monitorização de movimentos rápidos, deslocamentos de curto período e vibrações recorre-se a um posicionamento GNSS mais expedito, como o modo de posicionamento cinemático em tempo real ou o posicionamento cinemático pós-processado. Sendo estes últimos mais afectados pelos efeitos de *multipath* e, por essa razão, menos precisos do que o modo estático. A aplicação de filtros digitais permite melhorar a precisão do posicionamento GNSS pela mitigação do ruído das séries temporais. Nesta comunicação, aplicam-se dois filtros digitais, a média móvel simples e a média móvel exponencial, que são do tipo passa-baixo, a uma série temporal GNSS obtida numa base curta instalada no campus do LNEC.

ABSTRACT

From the monitoring of geophysical phenomena, including volcanic, seismic and tectonics surveying, and dynamic and quasi-static responses of large civil engineering structures with GNSS result time series that must be properly filtered in accordance with the signal type (frequency and amplitude) to be monitored. With GNSS and using the same type of equipment but using different positioning modes, it is possible to monitor a very wide band. Indeed, the relative GNSS static mode is more suitable for long time monitoring because this type of positioning is characterized by detecting low frequency displacement with millimeter accuracy. And by the other hand, for monitoring of fast movements, short period displacements and vibrations require a more expeditious GNSS positioning, like the kinematic positioning mode in real time or the post-processed kinematic positioning. The latter are more affected by the effects of multipath and, therefore, less accurate than the

static mode. The application of digital filters can improve the accuracy of such positioning, reducing the noise of the time series. In this communication, two digital filters were applied to GNSS time series obtained from a short baseline installed in LNEC campus: the simple moving average and the exponential moving average, which are low-pass filters.

Un enfoque de red en gravimetría cinemática inercial ***A network approach for strapdown inertial kinematic gravimetry***

A. Térmens⁽¹⁾

⁽¹⁾Geoinquiets-BCN, Barcelona. atermens@gmail.com

atermens@gmail.com

RESUMEN

La extracción de las anomalías de gravedad aerotransportada SINS se ha basado fundamentalmente en el enfoque SSA, que aunque tiene muchas ventajas muestra un inconveniente grave, a saber, su capacidad muy limitada de manejar las correlaciones espaciales. Esta presentación examina una alternativa a través de la conocida aproximación de redes ampliamente usada en geodesia, en el que las ecuaciones de mecanización INS se interpretan como las ecuaciones de observación de un problema de estimación de parámetros por mínimos cuadrados. En términos numéricos, las ecuaciones INS se resuelven por un método de diferencias finitas, donde los valores iniciales de frontera se sustituyen por las ecuaciones de observación apropiadas. La autora considera que el enfoque expuesto tiene algunas ventajas que valen la pena explorar, sobretodo que la modelización del campo gravitatorio terrestre puede realizarse de una manera más rigurosa que con SSA y que las ecuaciones de observación externas y/o auxiliares pueden explotarse mejor. Es importante mencionar que, actualmente, este enfoque no puede aplicarse a la navegación en tiempo real. Sin embargo, aquí no se trata de resolver un problema de navegación, sino uno de geodésico. En esta presentación se presentan diferentes maneras de tratar el sistema lineal de ecuaciones asociado y se muestran algunos resultados prácticos a partir de datos simulados.

ABSTRACT

Traditionally, airborne gravity processing consists of various independent steps, such as filtering, gridding and adjustment of misfits at crossover points. Each of these steps may introduce errors that accumulate in the course of processing. Mainly, the extraction of gravity anomalies from airborne strapdown INS gravimetry has been based on the state-space approach (SSA), which has many advantages but displays a serious disadvantage, namely, its very limited capacity to handle space correlations (like the rigorous treatment of crossover points). This dissertation explores an alternative approach through the well-known geodetic network approach, where the INS differential mechanization equations are interpreted as observation equations of a least-squares parameter estimation problem. In numerical terms, the INS equations are solved by a finite difference method where the initial/boundary values are substituted with the appropriated observation equations. The author believes that the above approach has some advantages that are on worth exploring; mainly, that modelling the Earth gravity field can be more rigorous than with the SSA and the external information can be better exploited. It is important to remark that this

approach cannot be applied to real-time navigation. However, here we are not trying to solve a navigation problem but a geodetic one. A discussion of the different ways to handle with the associated system of linear equations will be described and some practical results from simulated data are presented and discussed.

Operacionalização da estimativa do Vapor de Água Precipitável em tempo quase-real usando dados GNSS para Portugal

Operational Forecast in Near Real Time of Perceptible Water Vapor from GNSS data for Portugal

Hugo Valentim⁽¹⁾, André Sá^(1,2), R.M.S Fernandes^(1,3), M.S. Bos⁽¹⁾, J. Martins⁽⁴⁾

⁽¹⁾ SEGAL (UBI/IDL), C4G, Covilhã, Portugal

⁽²⁾ IPG, Guarda, Portugal

⁽³⁾ TUDelft, Delft, The Netherlands

⁽⁴⁾ IPMA, C4G, Lisbon, Portugal

hugo.valentim@segal.ubi.pt

RESUMO

Nos últimos anos, Sistemas de Posicionamento e Navegação Global por Satélite (GNSS), em particular o Sistema de Posicionamento Global (GPS), têm provado a sua capacidade para monitorizar o vapor de água existente na atmosfera, com uma precisão idêntica ao de sensores meteorológicos mais tradicionais. Estes sistemas tem várias vantagens comparado com os tradicionais sistemas de observação, em particular, o baixo custo de operacionalização, e a alta cobertura espacial e temporal. Como resultado a previsão de Atraso Zenital Total (ZTD) (parâmetro diretamente estimado com as observações GNSS) e a consequente previsão de Vapor de Água Precipitável (PWV) foi estabelecido como uma técnica standard. ZTDs e PWVs já são hoje em dia utilizados em vários países (e.g., Reino Unido, França e Alemanha) como parâmetros a incorporar na modelação de previsões meteorológicas em tempo quase-real. No âmbito do projeto NUVEM (Novos métodos para Usar estimativas de GNSS-PWV na Meteorologia de Portugal), foi implementado pelo SEGAL (UBI/IDL), em colaboração com o IPMA (Instituto Português responsável pela previsão meteorológica) um sistema de processamento de ZTD/PWV em tempo quase real com base em observações GNSS. Um dos objetivos deste projeto, para além da definição e implementação das rotinas necessárias, foi avaliar a qualidade das incertezas destas estimativas, baseadas em órbitas ultra rápidas.

Neste trabalho descrevemos a implementação do esquema de processamento em tempo quase real, as limitações encontradas para este esquema específico (baseado na aplicação GIPSY-OASIS), e alguns resultados obtidos quando comparando as soluções GNSS-PWV em tempo quase-real com as soluções de referência.

ABSTRACT

In recent years, the Global Navigation Satellite Systems (GNSS), in particular the Global Positioning Systems (GPS), have proved their capacity to monitor atmospheric water vapor with an accuracy similar to other conventional meteorological sensors. GNSS has several significant advantages compared to these traditional observing systems such as:

low operating expense, all-weather operability and high temporal/spatial coverage. As a result, the provision of Zenith Total Delays (ZTDs) (parameter directly estimated from the GNSS observations) and the consequent Perceptible Water Vapor (PWV) prediction was established as a standard technique. ZTDs and PWVs are currently used as one of the parameters routinely incorporated in the process of meteorological predictions in near real time in several countries (e.g., United Kingdom, France and Germany). In the scope of the NUVEM (New methods to Use GNSS Vapor Estimates for Meteorology of Portugal) project, such a system was implemented for Portugal by SEGAL (UBI/IDL), in cooperation with IPMA (Portuguese institute responsible for the meteorological forecasts). One of the goals in this project, apart from the definition and implementation of the necessary routines, was to assess the quality of the uncertainty of these estimations, based on Ultra Rapid Orbits.

In this work we describe the implementation of the near real-time processing scheme, the limitations discovered to this specific implementation (based on the application GIPSY-OASIS) and compare the GNSS-PWV computed in near real-time with reference solutions (computed using Final Orbits).

Madrid, 2016

Contraste de modelos geoidales mediante observaciones GPS y nivelación geométrica en la comunidad de Galicia/ Contraste de modelos geoidales por meio de observações GPS e nivelamento geométrico na comunidade de Galicia

Geoid contrast models using GPS and geometric levelling observations in the Galicia community

José Antonio Tarrío Mosquera⁽¹⁾, Alfonso Núñez-García del Pozo⁽²⁾, Marcelo Caverlotti Silva⁽²⁾

⁽¹⁾Profesor Dr. en I+D en Geotecnologías, Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile, Chile

jose.tarrio@usach.cl

⁽²⁾Catedrático de Universidad de Salamanca, Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, Universidad de Salamanca, España

U59@usal.es

⁽³⁾Profesor Dr en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Geográfica,, Universidad de Santiago de Chile, Chile

marcelo.caverlotti@usach.cl

RESUMEN/RESUMO

El presente trabajo explica la comprobación y contraste de diferentes modelos geoidales disponibles, aplicados en la zona noroeste de España, concretamente en la comunidad de Galicia y limítrofes, así como el norte de Portugal. El contraste de los modelos se realiza comparando las ondulaciones directas de los mismos con la ondulación calculada en clavos de nivelación de la REDNAP (red española de nivelación de alta precisión) sobre los cuales se observa y calcula la altura elipsoidal mediante observaciones GPS en modo estático con tiempos no menores a 3 horas, además se observan vértices de la red REGENTE del IGN y de la RGN de Portugal. Los puntos fiduciales son antenas activas de la red ERGNSS, ITACYL y de GALNET. Se realizaron observaciones en 136 puntos, 116 clavos REDNAP y 20 vértices geodésicos, uno de ellos en Portugal. Los modelos de comprobación empleados fueron IBERGEO95, EGM96, EGG97, IGG2005, EGM08 y la adaptación del mismo a REDNAP por el IGN, el EGM08REDNAP. Se eligieron clavos cada aproximadamente 10 km, y tratando de que a la vez fuesen puntos medidos por el IGN. Los resultados arrojan diferencias en los vértices REGENTE con las coordenadas oficiales probablemente por el diferente marco de referencia, pero también se observa que tienen mayor precisión de la indicada. Los clavos de nivelación tienen en el 97 % de los casos mejor precisión a 12 mm. Con el contraste de los modelos se verificó que los de mejor adaptación son los más recientes y que la precisión indicada por los organismos oficiales en relación al EGM08REDNAP es sensiblemente inferior a la indicada.

Madrid, 2016

ABSTRACT

This work describes the physical and contrast of different geoid models availables, applied in the northwest of Spain, in the community and neighbouring of Galicia and northern Portugal. The model contrast is done by comparing the direct undulations with the one calculated on levelling nails using REDNAP (Spanish Network of High-precision Levelling); in which it is observed and calculated the ellipsoidal height using GPS measurements in static mode with time no less than 3 hours, also vertices are observed in the REGENTE (Spanish Geodesic Network for Space Technics) network from the National Geographic Institute (IGN) and the Portugal National Geodesic Network (RGN). The fiducial points are active antennas from the ERGNSS, ITACYL, and GALNET network. Observations were done on 136 points, 116 nails REDNAP and 20 geodetic vertices, one of them was made in Portugal. The test models used in this work were IBERGEO95, EGM96, EGG97, IGG2005, EGM08, and an adapted version of EGM08 to REDNAP by IGN, and finally EGM08REDNAP. Nail separation was chosen to be about 10 km, and the position was the same that the one measured by IGN. The results showed differences in REGENTE vertices with official coordinates probably because of the different frame system used, but also notes that are more accurate than indicated by IGN. Levelling nails are in 97% of the cases a better precision than 12 mm. Contrasting the models verified that the best fit is the most updated one, and it showed that the precision indicated by official organizations in relation to EGM08REDNAP is significantly lower than specified.

Seguimiento sobre basura espacial utilizando técnicas Láser. *Space Debris tracking using Satellite Ranging techniques.*

M. Catalán⁽¹⁾, A. Pazos⁽¹⁾, L.M. Cortina⁽¹⁾ and J. Martín-Davila⁽¹⁾

⁽¹⁾Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando 11100, Cádiz.

mcatalan@roa.es

RESUME

El Real Observatorio de la Armada (ROA) trabaja en geodesia espacial desde el comienzo de la carrera espacial. En 1975 se instala en el ROA una estación Láser en colaboración con el CERGA francés. Desde 1980, el ROA opera de forma autónoma dicha estación. Este equipo realiza seguimientos de forma rutinaria sobre satélites artificiales equipados con retro-reflectores. Recientemente hemos abordado un nuevo campo de trabajo. Éste es el del seguimiento de satélites artificiales actualmente no activos y equipados con retro-reflectores. Este nuevo ámbito supone un reto dadas las pobres precisiones orbitales de que se disponen para estos objetos al no ser seguidos en base de rutina. Con ello se pretende preparar a nuestro equipo para abordar en un futuro prácticamente inmediato, el seguimiento de basura espacial en sentido estricto, es decir cualquier tipo de objetos inertes y sobre los cuales no existen ningún tipo de control.

ABSTRACT

The Royal Observatory of the Spanish Navy works on satellite geodesy from the early days of the space age. In 1975 a French satellite Laser ranging station was installed and operated at ROA. From 1980 onward, ROA has run this instrument. Since then ROA has participated in different space geodesy campaigns through the International Laser Service Stations (ILRS) or its European regional organization (EUROLAS), tracking a number of artificial satellites types: ERS, ENVISAT, LAGEOS, TOPEX- POSEIDON,

Recently we opened a new field of research: space debris tracking, which is receiving increasing importance and attention from international space agencies and the European Union as well. Currently, we are performing tracking on inactive collaborative satellites as a first step to track space debris. This activity could be considered as a challenge taking into account the poor quality of the orbital elements predictions for those objects. In this communication we will show our results in this new field and experiences learnt.

Trabajos de Local Tie en el Observatorio de Yebes ***Local Tie works in Yebes Observatory***

Javier Lopez-Ramasco⁽¹⁾ , Beatriz Córdoba Hita⁽²⁾

⁽¹⁾Observatorio de Yebes (IGN), Cerro de la Palera s/n, 19141 Yebes, Guadalajara, Spain.

⁽²⁾Universidad Carlos III de Madrid.

javier.lopez@oan.es

RESUMEN

Un requerimiento importante para convertir Yebes en una Estación Geodésica Fundamental es relacionar las diferentes técnicas disponibles a través del *local tie*, que consiste en medir los vectores espaciales entre las distintas técnicas con una precisión recomendada por la comunidad científica entorno al milímetro.

El Observatorio de Yebes está provisto de dos antenas VLBI y dos antenas GNSS. Con el objetivo de calcular el *local tie* con la precisión recomendada es necesario calcular el Punto de Referencia Invariante (IRP) de cada antena, así como crear una red de pilares en el área del Observatorio.

Por esta razón se ha diseñado y a continuación construido una red de 20 pilares. Para observar la red se ha utilizado una estación total robotizada (Leica TS-50) y su ajuste se ha realizado por el método de variación de coordenadas partiendo de unas coordenadas a priori obtenidas mediante técnicas GNSS.

Hemos investigado las posibilidades de medir los puntos invariantes tanto de los radiotelescopios de 13 y 40 metros como de las antenas GNSS. El caso de la antena de 13 metros ofrece una gran ventaja debido a que su IRP se puede medir desde el interior de la cabina con la estación total controlada por ordenador y sincronizada con el movimiento del radiotelescopio, que se estaciona en el pilar central dentro de la torre de hormigón del radiotelescopio.

ABSTRACT

An important requirement to convert Yebes Station into a Fundamental Geodetic Station is to relate the different available geodetic techniques through local tie, consisting in ties that join the different techniques with the recommended accuracy by the scientific community around 1 mm.

Yebes Observatory is provided with two VLBI antennas and two GNSS antennas. With the goal of calculating the local tie with the requirement accuracy, is necessary calculate the Invariant Reference Point (IRP) of each antenna and create a pillar network in the area of the Observatory.

For this reason a network of 20 pillars has been design and built. To measure this network a robotic total station (Leica TS50) has been used and the adjustment has been performed using the coordinates variation methodology starting with a priori coordinates obtained through GNSS techniques.

We have investigated the possibility to measure both the 13 and 40 meters radio telescopes and the GNSS antennas IRP. In the case of the 13 meters antenna there is a big advantage since the measurements can be performed inside the telescope cabin with a controlled computer total station which is synchronized with the radio telescope movement and is located on a central pillar built inside the radio telescope concrete tower.

Análisis de la transformación de los sistemas terrestre-celeste en el marco del posicionamiento GNSS

Analysis of the transformation between terrestrial - celestial systems in the frame of the GNSS positioning

Víctor Puente García⁽¹⁾, Marta Folgueira López⁽¹⁾ y Laura I. Fernández⁽²⁾

⁽¹⁾ Sección Departamental de Astronomía y Geodesia, Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España

⁽²⁾ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata/CONICET. Paseo del Bosque. B1900FWA. Buenos Aires

vpuente@ucm.es / marta_folgueira@mat.ucm.es / laurafer@gmail.com

RESUMEN

El empleo de diferentes sistemas de referencia constituye un aspecto fundamental en el tratamiento matemático de las observaciones GNSS. Para este propósito, la utilización de un sistema común entre receptor y satélite, que además sea inercial, facilita la resolución del problema del posicionamiento. En este contexto, el documento de especificación de interfaces del sistema americano GPS establece que para la obtención de la posición del satélite en el sistema inercial (ECI, *Earth-Centered Inertial*) a partir de las efemérides transmitidas referidas al sistema terrestre (ECEF, *Earth-Centered, Earth-Fixed*), se pueden despreciar los efectos del movimiento del polo, nutación y precesión; y simplemente aplicar una rotación alrededor del eje de rotación terrestre de magnitud angular función de la velocidad media de rotación terrestre en el intervalo de tiempo considerado.

El objetivo del presente trabajo pretende cuantificar el error que conlleva aplicar dicha aproximación frente a la transformación rigurosa ECI-ECEF que establecen las convenciones del IERS y analizar su efecto para las diferentes constelaciones de GNSS desplegadas actualmente (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou).

ABSTRACT

Usage of different reference systems plays a fundamental role in the mathematical treatment of GNSS measurements. For this purpose, using a common reference system between receiver and satellite, being also inertial, makes the resolution of positioning problem easier. In this context, specification interfaces document of the American system GPS establishes that for the computation of satellite's position in an inertial system (ECI, *Earth-Centered Inertial*) obtained from broadcast ephemeris, which are referred to the terrestrial system (ECEF, *Earth-Centered, Earth-Fixed*), polar motion, nutation and precession effects may be neglected, and it should be applied a rotation around Earth's rotation axis of an angular magnitude as function of mean Earth's rotation rate in the period of time considered.

The aim of this work is to quantify the error triggered by this approximation when compared to the rigorous ECI-ECEF transformation described in IERS Conventions and to analyse its effect for the different GNSS constellations currently deployed (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou).

Optimización 2D/3D para la navegación ortodrómica de RPAS basada en Infraestructuras de Datos Espaciales

Optimization 2D/3D for RPAS orthodromic navigation based on Spatial Data Infrastructures

P. Romero, G. Barderas, B. Pablos, G. Rodríguez-Caderot, C. Amorós

S. Dep. de Astronomía y Geodesia, Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Complutense de Madrid, Madrid

pilar_romero@mat.ucm.es

RESUMEN/RESUMO

Presentamos un problema de optimización de trayectorias de vuelo para Vehículos Aéreos pilotados por control remoto (RPAS) en un escenario real modelado empleando Sistemas de Información Geográfico. La determinación de la ruta óptima considera múltiples *waypoints* y restricciones a la trayectoria que requieren la implementación de algoritmos de optimización utilizando teoría de grafos.

Las Infraestructuras de Datos Espaciales (SDI / IDE) se utilizan para obtener la información geográfica del área de aplicación. En primer lugar, se considera una ruta bidimensional. A continuación, aplicando una estrategia similar al caso bidimensional, se presenta un algoritmo aproximado que resuelve el problema tridimensional basado en un mallado. Asimismo, se estudia la influencia de la precisión del uso de coordenadas geodésicas o UTM en la determinación de los parámetros de navegación. Como ejemplo práctico se muestran diferentes simulaciones para la distribución de correo en la Universidad Complutense.

ABSTRACT

We present an approach to a trajectory optimization problem for a Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) in a real scenario modeled using Geo-Information Systems. The process of planning the optimal route considers multiple navigation waypoints and trajectory constraints and involves the development of algorithms to solve an optimization problem using Graph Theory.

Spatial Data Infrastructures (SDI / IDE) have been used to get the Geospatial Information of the area of application. Within this navigational environment for a RPAS, with restricted regions that alter the trajectory, first a 2D projected path is considered. Then, an approximate algorithm is implemented for the 3D problem based on a mesh and applying a similar strategy to the 2D case. The influence of the accuracy of the Geodetic and UTM Coordinate Systems on the determination of the navigation parameters is analyzed as well. Several simulations for planning mail distribution between several Complutense University centers are presented.

Cálculo de la atracción gravimétrica inducida por estructuras ***Calculating gravimetric attraction, induced by structures***

R. Romero Jarén⁽¹⁾, S. Sainz – Maza Aparicio⁽²⁾ and J.J. Rueda Nuñez^(2,3)

⁽¹⁾Universitat Politècnica de Catalunya, C/Estruch, 8, 2º, 2ª, L'Hospitalet de Llobregat

⁽²⁾Instituto Geográfico Nacional, C/Alfonso XII, 3 Madrid

⁽³⁾Universidad Politécnica de Madrid

rocioromerojaren@gmail.com

RESUMEN

La atracción gravimétrica inducida por elementos estructurales artificiales cobra especial importancia a la hora de realizar trabajos de prospección gravimétrica en los que se buscan variaciones de gravedad del orden del microgal (10^{-8} m/s^2). Con el objetivo de cuantificar dicha influencia en un caso particular, se ha procedido a la modelización de la estructura del Pabellón de Gravimetría del Centro Astronómico de Yebes (Guadalajara) en distintos elementos cuya anomalía gravimétrica es fácilmente calculable. En dicho Pabellón, dotado con un gravímetro superconductor, se realizan regularmente medidas de gravedad sobre siete pilares de hormigón situados a nivel del suelo. Se ha calculado la influencia teórica sobre los valores de gravedad y de gradiente vertical observados en el interior del mismo, comparando los resultados obtenidos con valores medidos experimentalmente. La metodología seguida se pretende generalizar para ser aplicada a elementos estructurales más complejos. Paralelamente se han realizado trabajos para la georreferenciación de los pilares, entre los que se incluyen un levantamiento topográfico, dotando dichos pilares de coordenadas geográficas y por otro lado se ha procedido a la orientación respecto al norte geográfico del edificio y los pilares.

ABSTRACT

Gravimetric attraction induced by artificial structural elements is particularly important when carrying out a gravimetric prospection to detect microgal gravity variations (10^{-8} m/s^2). In order to quantify this influence for a particular case, the structure of the Pavilion of Gravimetry of The Astronomical Centre of Yebes (Guadalajara, Spain) has been modelled - using different elements - for which the gravimetric anomaly is easy to calculate. This Pavilion, is equipped with a superconducting gravimeter, and the gravity will be measured regularly over seven concrete pillars located at ground level. The theoretical influence on observed gravity and vertical gradient values inside the building have been calculated and the results have been compared with experimentally measured values. The methodology will be generalized to be applied to more complex structural elements. Concurrent research has been carried out on the georeferencing of pillars, including a topographic surveys, providing geographic coordinates for the pillars and orientation of the building and the pillars towards the geographical North is underway.