

APLICACIÓN EN ENTORNO MATLAB PARA MANIPULACIÓN DE ECUACIONES RESULTANTES DE OBSERVACIONES GPS

Pilar Abad Real¹

¹Profesora Titular de Escuela Universitaria
e-mail: pabad@cicei.ulpgc.es

RESUMEN: Esta aplicación está formada por una serie de programas para el análisis de datos GPS, utilizando los observables pseudodistancia y medida de fase para estimar la posición tridimensional de estaciones en Tierra. El software está diseñado como una toolbox para MATLAB. El objetivo fundamental es trabajar sobre modelos no diferenciados, para evitar la pérdida de información inherente al uso de combinaciones lineales, aunque también se tienen en cuenta los modelos de simples dobles y triples diferencias. El software está compuesto de distintos módulos que ejecutan las funciones de; preparación de datos para el procesado, generación de las órbitas precisas, cálculo de las matrices de coeficientes para los distintos modelos y análisis y resolución usando mínimos cuadrados.

1.- INTRODUCCIÓN.

El trabajo consiste en la realización de una aplicación que permita generar las ecuaciones ya linealizadas asociadas a las observaciones de los satélites de la constelación GPS, tanto para el observable fase, en una o ambas frecuencias como para el observable pseudodistancia y para los modelos no diferenciados, los de simples, dobles y triples diferencias, a partir de los datos en el formato RINEX-2 (Receiver INdependent Exchange Format #2)

Los objetivos son:

1. Disponer de los modelos para su manipulación, estudio y resolución utilizando los recursos de tratamiento de ecuaciones de que dispone el software MATLAB.
2. Obtención de la estructura de la matriz de coeficientes asociada a cada modelo, en términos de dispersidad, y la variación en esta estructura al realizar reordenaciones de sus filas o columnas.
3. Visualización gráfica de los valores de la matriz de coeficientes y términos independientes, que permita detectar posibles datos erróneos.
4. Resolución y estudio detallado del modelo no diferenciado para una única estación.

Sobre el último de los objetivos es importante explicar que la supresión de la degradación en la señal (SA) desde primeros de Mayo hace aún más interesante el estudio de la determinación absoluta de la posición. Hasta ahora la introducción de la disponibilidad selectiva (SA), degradaba la precisión que se puede obtener en la posición usando GPS desde una única estación, por eso no se le había prestado mucha atención a este modelo y la mayoría de los usuarios, para conseguir un posicionamiento preciso utilizan el posicionamiento relativo respecto a una estación conocida, para eliminar los efectos de la SA, y reducir los errores comunes a las dos estaciones, esto supone usar medida de fases para determinar la posición del observador y que las ambigüedades asociadas se resuelvan de alguna forma. La distancia entre el receptor móvil y el receptor fijo puede variar desde unos pocos kilómetros hasta cientos de ellos, y a medida que la separación aumenta, los errores dependientes de ella también lo hacen y la resolución de la ambigüedad de la portadora puede experimentar grandes cambios, con la considerable pérdida de precisión. Veremos más adelante como se puede aprovechar mucho más el uso de los datos obtenidos desde un solo receptor y las ventajas que esto puede reportar, más aún sin el inconveniente de la degradación de la señal.

Mediante la manipulación de los modelos de ecuaciones se pueden estudiar estrategias para eliminar o mitigar las diferentes fuentes de error en cortas, medias o largas distancias, obtener el máximo provecho de los datos según la diferente metodología de observación, o incluso mejorar el modelo funcional, y todo ello puede ser posible si se atienden los siguientes aspectos:

1. Resolución de ambigüedades usando algoritmos más estables y precisos.
2. Resolución de los sistemas por métodos que tengan en cuenta la dispersidad de la matriz asociada.
3. Trabajar con efemérides precisas para que los errores en la posición de la órbita no influyan de forma relevante.
4. Comparación de los resultados que se obtienen dependiendo de distintas hipótesis en el modelo funcional.
5. Comparación de resultados que nos permitan contrastar modelos ionosféricos.
6. Uso de modelos no diferenciados, con un sólo receptor, que pueden dar precisiones inferiores al metro.

2.-ANTECEDENTES Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

En la actualidad casi todo el software de post-proceso existente está basado en la utilización de dobles diferencias y el uso de dos receptores simultáneamente, el tratamiento posterior, mediante lo que se conoce como posicionamiento relativo determina la posición con gran exactitud, y este tratamiento es correcto si la línea base es de pocos kilómetros de largo, en cuyo caso se puede suponer que las condiciones son similares en ambas estaciones, pero no es tan cierto cuando la longitud aumenta. Por otra parte la solución obtenida depende fuertemente de las estaciones que se toman como referencia, lo que implica nuevos cálculos si se cambian dichas estaciones, y distorsiones que afectan a todas las estaciones calculadas a partir ella. La solución obtenida por un solo receptor en tiempo real, tiene muy poca precisión, del orden de 100 m, debido al uso de efemérides poco precisas, y al tratamiento únicamente del observable pseudodistancia. La introducción de efemérides precisas y correcciones a los relojes de los satélites, junto con un tratamiento post-proceso de las observaciones desde un solo receptor, usando tanto las ecuaciones de fase como de pseudodistancia pueden mejorar esas precisiones, hasta llegar al nivel del metro, en este sentido existe un software desarrollado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL) que trabaja sobre plataformas HP900/700 de UNIX, denominado GIPSY II.(GPS-Inferred Positioning System). Las soluciones obtenidas por este tipo de posicionamiento absoluto preciso son independientes en cada estación, lo que permite un más fácil cambio de marco de referencia sin que sea necesario procesar de nuevo todas las

estaciones. Para todo el software de post-proceso existente los recursos de CPU al resolver gran número de estaciones simultáneamente crecen en proporción cúbica al número de estas, lo que hace difícil el tratamiento de redes con muchas estaciones. Con el posicionamiento absoluto preciso los recursos de CPU crecen de forma lineal, lo que permite el análisis de grandes redes con equipos ordinarios. Esta forma de procesar los datos puede satisfacer a gran número de usuarios.

El National Geodetic Survey (NGS) genera la posición precisa, y el estado de los relojes de los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), en intervalos de 15 minutos en el formato estándar SP3 (Standard Product #3), que fundamentalmente consta de dos registros diferentes, el primero de ellos marcado con P incluye la posición y el estado del reloj para cada satélite de la constelación, y el segundo que es opcional y está marcado con una V incluye las variaciones en la velocidad y en el estado. El movimiento de un satélite se describe a partir de seis condiciones iniciales (3 de posición y 3 velocidades o 6 elementos orbitales de la órbita kepleriana), mas el modelo de fuerzas que actúan sobre el satélite a lo largo de su trayectoria. Un modelo preciso para su movimiento requiere conocer la influencia gravitatoria del Sol la Luna y la Tierra, y también influencias debidas a la presión de radiación solar y emisiones de gas de los propios satélites. En un principio la trayectoria puede ser generada mediante expresiones analíticas o integrando las ecuaciones del movimiento, siendo esta última modalidad la más utilizada. La posición del satélite en función del tiempo queda pues registrada en la tabla de efemérides generada en dicha integración.

Las etapas de desarrollo serán las siguientes:

1. Determinación de las órbitas de los satélites a partir del mensaje de navegación.
2. Determinación de las órbitas con efemérides precisas.
3. Modelo general de ecuaciones a partir de los datos de navegación, para la estación de que se trate, sea esta la fija o la móvil. Pudiendo generarlas a partir de las órbitas con efemérides precisas o sin ellas.
4. Resolución del modelo no diferenciado.
5. Modelos calculados de simples dobles y triples diferencias, para la estación móvil.
6. Visualizaciones de estructura, y de coeficientes de las matrices de los modelos.

3.-MODULOS DE LA APLICACION

Cada día se refinan más los métodos de resolución de sistemas de ecuaciones, y es conveniente estudiar si pueden representar mejoras, en precisión rapidez o almacenamiento, en casos concretos.

El resultado del trabajo, permitirá analizar posteriormente con las herramientas de tratamiento de ecuaciones de que dispone MATLAB, cómo se comportan los modelos frente a distintos métodos de resolución, tanto directos como iterativos, con la aplicación o no de factorizaciones y reordenaciones.

Respecto a la resolución del sistema no diferenciado para una única estación de referencia se esperan obtener resultados que confirmen que efectivamente la precisión utilizando efemérides precisas y correcciones al estado del reloj esté alrededor del metro.

A continuación se describen los módulos que conforman la aplicación.

EFEMER1 Generación de un fichero con las coordenadas y el radio orbital de cada uno de los satélites a partir de los datos del mensaje de navegación del fichero de observaciones. El

intervalo entre épocas y el número de épocas se introducirán como valores de entrada del programa.

EFEMER2 Generación de un fichero con las coordenadas y el radio orbital de cada uno de los satélites a partir de los datos del fichero SP3. El intervalo entre épocas y el número de épocas se introducirán como valores de entrada del programa.

COEFICI Generación de un fichero que contiene las distancias a cada satélite en cada época para un valor inicial aproximado de las coordenadas de la estación y los coeficientes de las incógnitas de posición dx,dy,dz para cada satélite correspondientes a la linealización de la ecuación de la distancia. Utiliza como entrada el fichero generado en el paso anterior.

SELECCI Generación de ficheros para separar los datos que se refieren a los mismos satélites (cada vez que entra un satélite o desaparece uno).

OBSERVA Reordenación de los datos de observación por épocas, y generación de un fichero con los datos de fase de la portadora y otro con los datos de pseudodistancia que constituirán los términos independientes de las ecuaciones de fase en una o dos frecuencias y de las ecuaciones de distancia.

BLOQUES Generación de los bloques por cada satélite que compondrán la matriz de los diferentes modelos. BLOQUEA1 contiene los coeficientes correspondientes a las incógnitas de posición. BLOQUEA2 los correspondientes a las incógnitas de ambigüedades, BLOQUEA3 los correspondientes a las incógnitas de errores del reloj del receptor, BLOQUEA4 los correspondientes a las incógnitas de errores de los relojes de los satélites, BLOQUEA5 los correspondientes al retardo troposférico e ionosférico, y BLOQUEA6 los correspondientes a un error aleatorio propio del proceso observacional.

FASCODXX Formación a partir de los Bloques anteriores de las distintas matrices asociadas a los modelos para un número determinado de épocas, habiendo un mínimo de épocas requerido para que el sistema formado tenga al menos el mismo número de ecuaciones que de incógnitas. Una vez formada la matriz representa gráficamente su estructura dispersa (fig.1) y los valores de sus filas(fig. 2).

PROCESO Tratamientos diferentes, calculo de rangos, y números de condición del modelo no diferenciado. Obtención de soluciones y residuos.

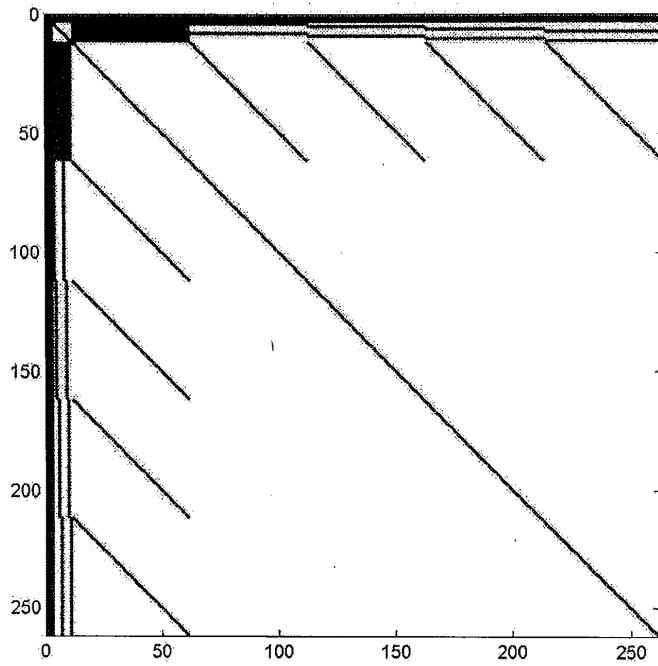


Fig. 1. Estructura de las ecuaciones normales

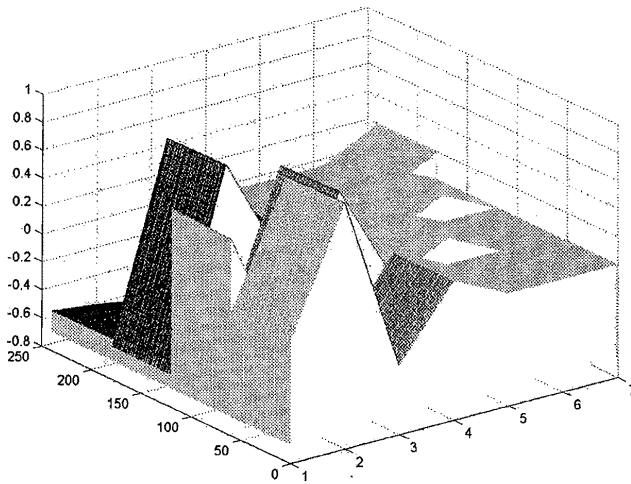


Fig. 2. Coeficientes de la matriz de diseño para cuatro satélites

4.-BIBLIOGRAFÍA

- [1] MATLAB.5.3 *The Language of Technical Computing*. MathWorks 1999.
- [2] <http://www-gpsg.mit.edu>. The GPS and Geodynamics group in the Massachusetts Institute of Technology
- [3] <http://sinbad.ngs.noaa.gov/GPS/GPS.html> National Geodetic Survey
- [4] Günter Seeber. *Satellite geodesy foundations, methods and applications*. Berlin ; New York :Walter de Gruyter, 1993
- [5] Pierre Héroux and Jan Kouba. "GPS Precise Point Positioning with a Difference". Geomatics'95 Ottawa, Ontario ,Canada, June 13-15-1995
- [6] E.T. Hesper. "Investigation on the use of GPS for geodetic and orbit determination applications". Delft University Press, February 1991
- [7] A. E. Roy. *Orbital motion. (Third edition)*. University Glasgow 1988
- [8] Gene H. Golub, Charles F. van Loan. *Matrix computations. -- 2nd ed.*. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 1989
- [9] José Luis de la Fuente O'Connor. *Tecnologías computacionales para sistemas de ecuaciones, optimización lineal y entera*. Barcelona : Reverté, 1993
- [10] S. Chandrasekrant and I.C.F. Ipsen. "On The Sensitivity of Solution components in Linear Systems Of Equations". SIAM J. Matrix ANAL. APPL. vol. 16, nº 1, pp. 93-112, January 1995
- [11] David R. Hill. *Experiments in computational matrix algebra*. New York : Random House, 1988