

El posicionamiento satelital y sus sistemas de corrección

D. Villarroel¹; F. Scaramuzza¹; A. Méndez¹; J. Vélez¹

⁽¹⁾ Red Agricultura de Precisión - INTA EEA Manfredi

Introducción

Es evidente que hay un antes y un después de la inclusión de la tecnología satelital al agro, a partir de la incorporación de banderilleros satelitales especialmente en pulverizadoras terrestres y aéreas se genera un quiebre en la precisión de la actividad agrícola. No obstante, en sus comienzos la señal satelital carecía de la precisión que se logra en la actualidad.

Hoy en día la señal más utilizada en la agricultura proviene del sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Bajo este sistema de señal se ha desarrollado la Agricultura de Precisión en Argentina. Pero la nueva tecnología disponible en el país además de la señal GPS incorpora como señal adicional a GLONASS.

En otros países se están utilizando diferentes sistemas de posicionamiento similares a GPS, como por ejemplo la Unión Europea tiene a Galileo, China a Beidou, MSAS o QZSS administrado por Japón, o el mismo GLONASS, desarrollado en su momento por la Unión Soviética.

Señal GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) está conformado por 24 satélites (Segmento Espacial o Subsistema Satelitario) que orbitan la tierra a 20.200 km de altitud con una frecuencia de 12 horas. Esta constelación de satélites permite ubicar de manera georreferenciada a través de receptores con latitud y longitud al implemento que se esté utilizando, como por ejemplo un tractor, una cosechadora, una pulverizadora, etc. (Segmento de Usuario o Subsistema del Usuario).

El error típico de un GPS ronda los 6 metros, pero puede ser aún mayor dependiendo de diferentes situaciones que afecten o distorsionen la señal. De todos modos hay sistemas de correcciones diferenciales (Segmento de Control o Subsistema de Control) que ayudan a que éste error sea disminuido a un nivel centimétrico. Esta corrección diferencial puede obtenerse de antenas ubicadas estratégicamente en la tierra, de satélites geoestacionarios o sistemas de corrección internos que tienen incorporado los receptores. De todos modos con un elevado número de satélites siendo captados (7, 8 ó 9 satélites), y si éstos tienen una geometría adecuada (dispersión), pueden obtenerse precisiones inferiores a 2,5 metros en el 95% del tiempo.

Las fuentes de error de la señal más comunes pueden ser:

1. Alteración en el tiempo de los relojes atómicos (ubicados en los satélites).
2. Errores de órbita (monitoreada desde el segmento de control).
3. Receptores de GPS (dependiendo la calidad y tecnología de los mismos).
4. Diferentes cargas eléctricas en la atmósfera terrestre (ionosfera de 400 km y troposfera de 80 km de espesor).

5. Multitrayectoria (ocasionada por la proximidad de galpones o árboles que interfieren la señal que debe llegar al receptor).
6. Geometría satelital (ubicación de los satélites en el espacio visible por el receptor).
7. Disponibilidad selectiva (inducida por el departamento de defensa de los EE.UU. desde el segmento de control).

Señal GLONASS (Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite).

Este sistema es similar al GPS, pero desarrollado por la Unión Soviética y actualmente administrado por la Federación Rusa. Está conformado por 24 satélites activos que orbitan la tierra a 19.100 km de altitud con una frecuencia de 11 horas y 15 minutos. Junto al Sistema GPS, GLONASS está disponible para varios equipos en Argentina.

Sistema GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite).

Es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del mundo. Estos permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas y otras actividades afines.

Actualmente, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS), son los únicos que forman parte del concepto GNSS, pero también están estudiando la posibilidad de sumar a sistemas como Galileo, Beidou y QZSS entre los más importantes. GNSS brinda una mayor disponibilidad de constelación de satélites, lo cual permite tener una precisión con un error mínimo la mayor parte del tiempo.

Señal Galileo

Es el sistema de navegación satelital desarrollado por la Unión Europea, de uso totalmente civil. Es un sistema que puede operar en conjunto con GLONASS y GPS. Es posible que tenga una precisión del orden del metro, pero sería más preciso hacia los polos de la tierra, donde tienen mayor inclinación sus órbitas y donde se ve disminuida la señal GPS.

Se espera que este sistema esté totalmente activo hacia finales del 2014. Estará formado por una constelación de 30 satélites en órbita distribuidos en 3 planos, 10 satélites en cada uno, a una altitud de 23.616 km. Estos tienen 14 hs de frecuencia.

Señal Beidou

Por su parte, la República Popular China está implementando su propio sistema de navegación, que prevé que cuente con entre 12 y 14 satélites entre 2011 y 2015. Para 2020, ya plenamente operativo deberá contar con 30 satélites. Desde abril de 2011, ya tiene 8 en órbita.

SBAS (Sistema de Aumentación Basado en Satélites)

Satellite Based Augmentation System (SBAS) es un sistema de corrección de las señales que los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) transmiten al receptor GPS del usuario.

Actualmente están desarrollados o en fase de implementación los siguientes sistemas SBAS:

- WAAS (*Wide Area Augmentation System*), gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
- EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), administrado por la Agencia Espacial Europea. Es un sistema de satélites DGPS que mejoran la señal GPS, GLONAS y GALILEO.
- MSAS (*Multi-Functional Satellite Augmentation System*), operado por Japón.
- StarFire, gestionado por la empresa John Deere.
- QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*), propuesto por Japón.
- IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) de India
- GAGAN (*GPS and GEO Augmented Navigation*), desarrollado por la India.

Sistema Autónomo

Es el sistema que recibe la señal sin ningún tipo de corrección diferencial, es la señal comúnmente recibida por los receptores. La precisión, en un principio va a depender de la disponibilidad de satélites.

Estas señales, debido a diferentes causas, llegan al vehículo con un error superior al metro. Para disminuir ello se utilizan sistemas de corrección diferencial logrando establecer errores que pueden rondar entre 30 cm hasta los 2 cm aproximadamente. De todos modos muchos dispositivos nuevos, debido a la alta tecnología de desarrollo que tienen, están ofreciendo una corrección que está en el orden de los 20-25 cm, debido a una corrección interna que hacen por software.

Señal Correctora Beacon

Esta señal correctora marcó el inicio de la agricultura de precisión en nuestro país. Actualmente no se utiliza en los dispositivos nuevos, a pesar de que aún quedan algunos usuarios. La corrección se obtiene a través de antenas fijas con coordenadas conocidas (Bases GPS) correctoras de la señal de los satélites. Están ubicadas estratégicamente para cubrir en gran parte el área agrícola, una de ellas se encuentra en Bolívar (Bs. As.), otra en San Carlos (Sta. Fe), con un radio de cobertura de 450 km y la restante se encuentra en Las Lajitas (Salta), con un radio de acción aproximado de 350 km. Este servicio era adquirido con un abono anual y también ilimitado.

Señal e-Dif y On-Path

e-Dif es la corrección interna por software que determina y minimiza el error ionosférico en el receptor. El desarrollo e-Dif es para aquellos usuarios que necesitan guiar sus máquinas agrícolas con GPS en pulverización y requieren mejorar la precisión autónoma del sistema GPS (6 metros aproximadamente). Es una alternativa u opción a las correcciones convencionales Omnistar o Beacon.

El sistema genera y calcula correcciones DGPS en forma interna basándose en una posición de inicio. La corrección es modelada a medida que pasa el tiempo y aplicada a los datos GPS con el fin de mantener una relativa y consistente posición. El modelado de la corrección se logra con una lenta deriva progresiva en el tiempo. Debido a que posee deriva acumulada, en lapsos de media hora es actualizada automáticamente o volviendo a punto de referencia para realizar un nuevo cómputo de correcciones y el subsiguiente modelado.

On-Path es el sistema que realiza la corrección a través de software interno en los receptores Trimble de última generación.

Omnistar

Es un sistema de aumentación basado en satélites (SBAS). La señal de corrección Omnistar se obtiene a través de una suscripción, la cual autoriza su uso. El sistema utiliza satélites geoestacionarios en 8 regiones que cubren la mayor parte de la Tierra.

Para acceder a la corrección el usuario debe tener un receptor capaz de recibir esta señal, disponible para cierto número de fabricantes de GPS como Autofarm, Hemisphere GPS, Novatel, Topcon, Trimble, Raven, etc.

Omnistar VBS (Estación Base Virtual).

Es la señal estándar de Omnistar, sólo corrige la banda o frecuencia L1 de los satélites GPS, por lo que no se puede lograr una gran precisión. Para que el receptor GPS aplique esta corrección se necesita una estación de referencia cercana. Para ello, Omnistar tiene en todo el mundo más de 100 estaciones terrestres.

Las correcciones de Omnistar incluyen tanto la opción de simple frecuencia (L1 solamente) y de doble frecuencia (L1/L2). La precisión va a depender de la geometría de satélite, las condiciones locales, la capacidad de recepción y de otras variables, pero normalmente la única solución L1 (VBS) se obtiene una precisión horizontal de +/- 1 metro el 95% del tiempo y las soluciones L1/L2 (Omnistar HP, Omnistar XP o HP/XP combinado) proporcionan una precisión horizontal de +/- 15 cm > 95%.

Omnistar XP (Extended Performance)

La señal XP se transmite hasta el receptor vía satélite, por lo que la cobertura es global. La señal corrige tanto L1, como L2, por lo que la precisión que se logra es muy alta.

Esta señal no requiere de una estación cercana, pero el receptor necesita un determinado tiempo para realizar los cálculos iniciales, llamado "*tiempo de convergencia*". Este tiempo varía dependiendo de la cantidad de satélites que el receptor esté recibiendo y la geometría de distribución de los mismos.

Omnistar HP (High Performance)

Es la señal más precisa disponible en la cartera de soluciones de corrección Omnistar. Es una corrección de doble banda L1/L2 que requiere un receptor de frecuencia doble.

Es particularmente útil para la orientación de la máquina agrícola y muchas tareas topográficas. Se opera en tiempo real y sin la necesidad de estaciones base locales o enlaces de telemetría.

Omnistar G2 (GPS y GLONASS).

G2, es similar a XP, pero con el agregado de la corrección para los satélites de posicionamiento rusos GLONASS.

Señal RTK (Real Time Kinematic - Cinemático en tiempo real).

Se denomina RTK a la tecnología que provee a un sistema de dos GPS la habilidad de determinar distancias a los satélites midiendo la fase (frecuencia) de la señal portadora y lograr así una solución a la dispersión de la posición del GPS fijo (Base), y simultáneamente transmitir en tiempo real esta solución al GPS móvil (Vehículo) para que éste genere coordenadas al centímetro.

En forma representativa los satélites GPS representan una *cinta de medir* desde el espacio. Esta cinta tiene marcas con intervalos de 300 m con etiquetas (códigos), así como marcas separadas 20 cm, pero sin etiquetas de identificación (vehículo). Un receptor que pueda determinar las etiquetas del vehículo puede por lo tanto calcular la posición con precisión centimétrica, esto es lo que hacen los receptores RTK.

La señal RTK se obtiene de una antena Base o red de antenas con coordenadas conocidas, las cuales envían la señal corregida al receptor del vehículo a través de sistemas de radio. De esta manera el receptor del móvil recibe la señal satelital y la de las antenas RTK otorgándole de esta manera una precisión centimétrica (2,5 cm). Estas redes de bases actualmente pueden estar fijas abarcando un radio de cobertura captado por los receptores abonados a esa base, o bien pueden ser móviles, las cuales se montan en los lugares donde se realiza la labor que necesita corrección. A medida que el vehículo se aleja de la red de cobertura de la base, la precisión disminuye.

Para la agricultura de precisión determinadas tareas, como cultivos donde la uniformidad de los surcos es muy importante, labranzas o mapa topográfico, la precisión submétrica del DGPS no es suficiente, es necesaria una solución a nivel centimétrica mediante RTK. Es una señal que brinda repetitividad absoluta entre campañas, es decir que si se utilizó en la siembra, puede utilizarse el mismo recorrido en labores sucesivas e incluso en años posteriores logrando la misma precisión.

Señal RTX

La definición más simple para RTX, es RTK vía satélite. El satélite envía correcciones con precisión repetible año tras año de 3,8 cm directamente al receptor. Para lograr esta precisión es necesario un tiempo de convergencia o espera, este proceso demora entre 30 a 40 minutos en lograr la máxima precisión.

Con la suscripción a RTX se obtiene acceso a las correcciones satelitales GLONASS durante el tiempo que dure la suscripción. Las posiciones se envían por satélite directamente al receptor GNSS, eliminando así los costos adicionales de planes de datos móviles o hardware tal como radios y antenas.

Cuadro comparativo de Sistemas de Corrección.

Sistema DGPS	Precisión	Utilidad	Costo
Autónomo	6 m	<ul style="list-style-type: none"> • Muestreo de suelo • Cosecha • Demarcación de área 	Libre
Beacon	30 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha • Pulverización • Aplicación de enmienda 	Actualmente libre (pero ya no se ofrece como opción)
OnPath	20-30 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha • Pulverización • Aplicación de enmienda 	Libre
e-Dif	20-30 m	<ul style="list-style-type: none"> • Pulverización 	Libre
Omnistar VBS	15-20 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha • Pulverización • Aplicación de enmienda 	Suscripción por tiempo pactado
Omnistar XP	8-10 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha • Pulverización • Aplicación de enmienda • Corte por pico o por surco • Piloto automático 	Suscripción por tiempo pactado
Omnistar G2	8-10 cm (GPS+GLONASS)	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha • Pulverización • Siembra • Aplicación de enmienda • Corte por pico o por surco • Piloto automático • Altimetría 	Suscripción por tiempo pactado
OmnistarHP	5-10 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha • Pulverización • Siembra • Aplicación de enmienda • Corte por pico o por surco • Piloto automático • Altimetría 	Suscripción por tiempo pactado
SF1 SF2 (John Deere)	SF1:15-25cm SF2: 5-10cm	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha (SF1-SF2) • Pulverización (SF1-SF2) • Siembra (SF2) • Aplicación de enmienda (SF1-SF2) • Corte por pico o por surco (SF2) • Piloto automático (SF1-SF2) • Altimetría (SF2) 	SF1 Libre SF2 Suscripción anual
RTK/RTX	RTK: 2.5 cm RTX: 3-4 cm	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha • Pulverización • Siembra • Aplicación de enmienda • Corte por pico o por surco • Piloto automático • Altimetría 	Suscripción por tiempo pactado

Fuente: INTA Manfredi.

Corrección a través de las redes de telefonía móvil.

Argentina cuenta con dos sistemas de corrección de alta precisión que trabajan a través de las redes de telefonía móvil, el sistema *VRS (Estación de Referencia Virtual)* de la firma Trimble y el sistema *Slingshot de Raven*. La principal ventaja de esto es que no necesita de una base o estación de referencia local y también la alta precisión que se puede lograr.

La alta precisión RTK con equipos GPS tiene muchas veces la limitación de cubrir un radio de muy poca superficie, para ello hace un tiempo se viene tratando de formar redes de RTK que aumentarían la cobertura disminuyendo los costos. Sería la telefonía celular quien podría bajar los costos como una de las ventajas, ya que mediante la misma se podría estar aumentando de cobertura entre las bases.

El sistema consiste en una red de antenas RTK conectadas a internet que envían la señal de posición a un servidor, el mismo servidor también recibe mediante un modem GPRS la ubicación del móvil, que será retroalimentado con la información corregida, mediante algoritmos matemáticos. De esta manera el móvil recibe información de alta precisión vía GPRS para su ubicación en Latitud y Longitud.

Referencias

Amor, M.; Luttenberger, C. 2005. Introducción al concepto de redes VRS (Virtual Reference Stations). En:

http://www.isprs.org/proceedings/2005/semana_geomatica05/front/abstracts/dimarts8/G10.pdf Consultado: 22/03/2014

Beidou. En: <http://www.globalsecurity.org/space/world/china/beidou.htm> Consultado: 22/03/2014

Galileo: el sistema europeo de navegación por satélite. En: <http://www.coit.es/publicac/publbit/bit127/especial3.htm> Consultado: 16/07/2014

GLONASS Satellite Information. En: https://archive.today/20120529022247/ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/gl95_general.html . Consultado: 28/05/2014.

Mendez, A.; Bragachini, M.; Scaramuzza, F. Banderillero Satelital. En: <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/guia-satelital/Banderillero-Satelital-Completo.asp> . Consultado: 25/04/2014

Navegación por satélite: Descripción y situación actual. <http://www.aena.es/csee/Satellite/navegacion-aerea/es/Page/1047658426133//Descripcion.html> Consultado: 18/07/2014

OmniStar. En: <http://www.omnistar.com/Applications/Agriculture.aspx> Consultado: 03/04/2014.

Slingshot. <http://es.ravenslingshot.com/products/rtk-cell-connections/> Consultado: 14/06/2014.