

GNSS – Information



Erwin Groten
Andreas Mathes
Matthias Becker
Wolfgang Söhne

**Aktuelle Informationen
zum Einsatz von Satelliten
im Vermessungswesen
und in der Navigation**

GPS – Status

Der Start des nächsten GPS-Block-IIR-Satelliten ist wiederum mindestens um einen Monat verschoben worden. Der Grund hierfür sind detaillierte Untersuchungen der kürzlich erfolgten Änderungen des Selbstzerstörungsmechanismus ADS (Automatic Destruct System) der Delta 2-Trägerrakete. Ein exakter Termin stand zum Redaktionsschluss noch nicht fest. Die weitere Planung für Starts sieht die folgenden Termine vor:

'02: 2 IIR (Juni und Juli)
'03: 1 IIR, 2 IIR Modified
'04: 4 IIR Modified
'05: 3 IIR Modified
'06: 2 IIR Modified, 2 IIF

Zur Zeit sind 18 der im Orbit befindlichen Satelliten schon länger als die bei der Konstruktion festgelegte Lebensdauer von 7,5 Jahren im All. Die mittlere Missionsdauer liegt inzwischen bei 10,5 Jahren. Es liegen zwar bei 16 Satelliten kleinere technische Defekte und Ausfälle vor, diese beeinträchtigen aber nicht deren Leistungsfähigkeit. Das Space Operation Command wird unabhängig vom o.a. Startplan sicherstellen, dass immer ausreichend viele Satelliten verfügbar sind.

Die Block IIR-M (Modified) Satelliten werden ab 2003 dann das zweite zivile Signal (L2C) auf der L2-Frequenz haben. Damit wird eine verbesserte Ionosphärenmodellierung, bessere RTK-Lösungen und eine Nutzbarkeit von GPS auch bei fehlendem L1-Empfang ermöglicht.

Die Block-IIF-Satelliten mit der dritten zivilen Frequenz werden ab 2005 gestartet werden. Sie verbessern nochmals die schon mit L2C erwähnten Aspekte der Ionosphäre, Schnelligkeit und Verfügbarkeit. Dazu haben sie den rein militärischen M-Code (s.u.). Die neuen Block-IIF-Satelliten werden von Boeing gebaut werden. Sie dienen auch als Test-Bed für das im Moment in der Entwicklungsphase befindliche GPS-III-System, das dann die nächsten 30 Jahre die US-amerikanische Satellitenpositionierung gewährleisten soll.

Stärkere GPS – Signale nur für autorisierte Nutzer

Mit einem 200 Millionen Dollar-Programm will das US-Verteidigungsministerium das GPS-System besser gegen gezielte Störungen („Jamming“) schützen. Die noch nicht gestarteten, neuen Satelliten sollen die nur für militärische Empfänger bestimmten Signale mit der achtfachen Signalstärke senden. Dadurch könnten sie elektronische Störsender besser durchdringen. Damit besteht andererseits auch die Möglichkeit, nicht autorisierte zivile oder generische Nutzer mit Störsendern die GPS-Nutzung unmöglich zu machen.

Zusammen mit der Verstärkung des Angebots zur zivilen Nutzung, mit einem zweiten und dritten zivilen Signal, wird also gleichzeitig die Stellung der Militärs durch parallele Maßnahmen

gesichert und ausgebaut. Dies ist ein Teil des Space-War-Programms, bei dem z. B. auch neue Kommunikationssatelliten widerstandsfähiger gegen elektronische Störmaßnahmen und Angriffe gemacht werden.

Indoor – GPS?

Durch den Synergieeffekt bei der Kombination von Mobiltelefonen und GPS-Empfängern wird es möglich, auch in geschlossenen Räumen und Gebäuden eine GPS-Positionsbestimmung zu erhalten. In Zusammenhang mit den Location Based Services, d.h. der Nutzung der Kenntnis der Position des Handy-Nutzers zur gezielten Versorgung mit ortsbezogenen Informationen, muss eine zuverlässige und genügend genaue Positionsbestimmung gewährleistet sein. Die Bestimmung nur aus der Zelleninformation ist zum einen ungenau, zum anderen erfordert sie neue Infrastrukturen bei den Mobilfunkgesellschaften, im Netz und im Gerät selbst. GPS alleine ist bisher auf freie Räume beschränkt und versagt z. B. in Gebäuden und anderen abgeschatteten Bereichen.

Die Idee des „Assistent GPS“ (gestütztes GPS) besteht in der gemeinsamen Nutzung beider Techniken. Dabei ist auf Seiten des Handy keine zusätzliche Investition nötig, das Verfahren kommt mit den bestehenden Techniken aus. Der GPS-Empfänger ist ein speziell entwickelter, sehr

empfindlicher Empfänger. Zur erstmaligen Erfassung der GPS-Signale, z. B. in einem Gebäude, erhält der GPS-Empfänger über das Handy eine SMS mit Informationen, die ihm eine Erfassung selbst eines extrem schwachen Signals erlauben. Die GPS-Informationen werden in einem globalen Referenznetz generiert und über einen zentralen Assistenzserver übermittelt. Dabei können folgende Daten enthalten sein: GPS-Almanach, GPS-Uhrenfehler, Satellitenauswahl, Entfernung- und Entfernungsänderungsinformation. Je nach GPS-Empfänger könnte es sogar soweit gehen, dass die Positionsberechnung zentral im Server stattfindet und der Empfänger praktisch nur für die Entfernungsmessung zuständig wäre.

Durch die Zusatzinformationen des Assistenzservers kann der Empfänger innerhalb von nur 18 Sekunden die Orbitdaten entschlüsseln. Selbst in freier Umgebung mit optimaler GPS-Signalarbeit ist das um einen Faktor 2–3 schneller als aus GPS alleine. Dazu kommt die gesteigerte Empfindlichkeit, da der Empfänger aus dem Assistenzsignal schon sehr gut die zu erwartenden Frequenzen der GPS-Signale kennt und in einem kleinen Frequenzbereich sehr intensiv suchen kann.

Durch die hohe Datenrate der neuen Mobilfunkgenerationen, die für GPSR bei etwa 56 Kilo-Bit pro Sekunde liegt und bei UMTS auf 2 Mega-Bit steigen wird, las-

sen sich alle notwendigen Daten mit ausreichend kleiner Zeitverzögerung übermitteln. Die in Standard-SMS-Nachrichten von 140 Bytes verpackten Almanach-Daten aller Satelliten können durch Komprimierungsalgorithmen in 3 oder 4 SMS komplett übermittelt werden.

Die für das „Assistent GPS“-Experiment genutzten Handys müssen so modifiziert werden, dass sie Assistenzserverinformationen abrufen und in ein für den GPS-Empfänger lesbares Format (z. B. NMEA) umwandeln können. Die genäherte Positionsinformation wird aus dem Mobilnetz extrahiert; dies sind die Zellennummer, Zeit, Sektorinformation und die Lage des Mobilfunksendeturms in der Zelle.

Mit konventionellen GPS-Empfängerchips konnten im freien Gelände die schnelleren Akquisitionszeiten nachgewiesen werden, dazu auch verbesserte Performance in bebauten und abgeschatteten Gebieten. Inzwischen hat die Firma Global Locate Inc., USA, die einen Assistenzserver und das zugehörige Referenznetz betreibt, einen speziellen Chip für die Innenraumapplikation entwickelt. Bei verschiedenen Tests wurden Positionsgenauigkeiten von 15–20 m in großen Gebäuden nachgewiesen. Das genügt, um z. B. einen speziellen Laden in einem großen Einkaufszentrum zu finden. Viele Anwendungen, insbesondere sicherheitskritische, Personenschutz und Außendienst-Personalmanagement, dürften von der nahezu unbeschränkten Erfassbarkeit der Position profitieren. Natürlich auch alle Location Based Services, die positionsabhängige Versorgung mit Information, können durch diese Synergie zwischen GSM und GPS zuverlässiger und für einen breiteren Nutzerkreis angelegt werden.

Finanzierung für die weitere Galileo – Entwicklung gesichert

Die Transportminister der EU haben in ihrer Sitzung am 26. März die Finanzierung der nächsten Entwicklungsphase für das europäische Satellitennavigationssystem Galileo beschlossen. Damit werden 450 Millionen Euro für die europäische Industrie bewilligt und das aus 30 Satelliten bestehende Galileo-System kann bis zu seiner für das Jahr 2008 vorgesehenen Einsatzreife gebracht werden. Die Infrastruktur für das Boden-, das Raum- und das Kontrollsegment kann nun entwickelt und getestet werden.

In dieser Phase werden die entscheidenden Parameter für die Systemdefinition festgelegt und es soll 2004 eine erste Testversion der Navigation-Payload, also des ersten Galileo-Satellitenprototypen, zur Verfügung stehen. Galileo wird damit zeitgleich zu den neuen GPS-Satelliten – mit C/A-Code auf L2 und der dritten Frequenz L5 – verfügbar sein. Die volle Galileo-Konstellation von 30 MEO (Mean Earth Orbiter Satelliten) wird in 2008 dann 18 GPS-Satelliten mit ziviler L2-Frequenz und 7 GPS-Satelliten mit drei Frequenzen gegenüberstehen und damit wesentlich früher komplett verfügbar sein.

Das Galileo-Raumsegment wird in drei Bahnebenen mit 56° Neigung und mit je neun Satelliten, plus 3 Reserve-Satelliten, verteilt werden. Das Bodensegment wird aus zwei Teilen bestehen, dem Kontrollsegment (Ground Control Segment, GCS) und dem Integritätsüberwachungssystem (Integrity Determination Segment, IDS). Das IDS ist die gegenüber GPS neue Komponente. Es wird das aus ca. 15 global verteilten Referenzstation und zwei Kontrollzentren bestehende GCS durch etwa 15–20 Mo-

nitorstationen, ebenfalls zwei Kontrollzentren zur Berechnung der Integritätsdaten und eigenen Uplink-Stationen für die Übertragung der Integritätsinformation ergänzen.

Die für sicherheitskritische Anwendungen, wie die Zivilluftfahrt zwingend vorgeschriebene Integritätsinformation soll die Nutzer mit sehr hoher Sicherheit über Ausfälle im System informieren, so dass es nicht zu Unfällen kommt und Galileo z. B. für den präzisen Landeanflug verwendet werden könnte.

Nach den bisherigen Plänen soll der Standard-Positionierungsservice gebührenfrei sein. Kosten werden nur für bestimmte Nutzergruppen erhoben, die zusätzliche Dienste, wie z. B. Integritätsinformation, benötigen. Es muss jetzt auch festgelegt werden, wie die angestrebte Kompatibilität von Galileo und GPS aussehen wird. Die Festlegung der Frequenzen, der Modulationen und der Signalstruktur sowie die Fragen der Gebühren, Sicherheitsmassnahmen und des Betriebs müssen mit den USA abgestimmt werden. Es muss sich nun zeigen, ob die USA einen fairen Systemwettbewerb eingehen und zu Kompromissen bereit sind. Bis zur endgültigen Entscheidung am 26. März waren sie sehr zurückhaltend und haben wohl auf ein Einstellen der Aktivitäten gehofft.

Erfolgreiche Satellitenstarts

Am 17. März wurden die beiden GRACE-Satelliten vom russischen Kosmodrom Plesetzkaus mit einer „Rokot“-Rakete, einer umgebauten Interkontinentalrakete vom Typ SS-19, erfolgreich gestartet. Der Start hatte wegen eines Sturms in 10 km Höhe um einen Tag verschoben werden müssen. Die beiden von der Astrium GmbH in Fried-

richshafen gebauten Satelliten wiegen jeweils etwa 480 kg und werden die Erde in etwa 500 km Höhe und in einem Abstand von etwa 220 km auf einer polaren Umlaufbahn umkreisen. GRACE steht als Abkürzung für „Gravity Recovery and Climate Experiment“.

Eine wesentliche Messmethode dieses Satellitenpaares besteht darin, dass der Abstand zwischen ihnen permanent mit sehr hoher Genauigkeit im Sub-Millimeter-Bereich gemessen wird. Änderungen dieses Abstands erfolgen unter dem Einfluss des Erdschwerefeldes und können somit zu seiner verbesserten Bestimmung und zeitlichen Auflösung genutzt werden (z. B. www.astrium-grace.de, www.dlr.de/op.gfz-potsdam.de/grace).

Auch von Kourou in Französisch-Guayana wurden Satelliten zur Erdbeobachtung erfolgreich gestartet. Am 1. März brachte eine europäische Trägerrakete vom Typ Ariane 5 den europäischen Umweltsatelliten ENVISAT-1 in den Orbit. Mehr als 8 Tonnen wog dieser Satellit beim Start. Die mehr als zwei Tonnen umfassende Nutzlast besteht aus zehn Instrumenten, darunter zwei Radarmessgeräten – ein Synthetic Aperture Radar und ein Altimeter – zur Fernerkundung und Meeresoberflächenbestimmung sowie einem Retroreflektor für SLR-Messungen und einem DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)-System zur genauen Positionsbestimmung (z. B.

www.astrium-envisat.de, envisat.esa.int, www.dfd.dlr.de/projects/ENVISAT).

Eine Trägerrakete vom Typ Ariane 4 trug am 4. Mai den französischen Erdbeobachtungssatelliten SPOT 5 in eine ca. 830 km hohe Umlaufbahn. Der drei Tonnen schwere Satellit ergänzt die bislang aus vier Satelliten bestehende Spot-Familie und soll Auflösungen bis

hinunter auf 2,5 m erreichen. Zur verbesserten Bahnbestimmung ist dieser Satellit ebenfalls mit dem DORIS-System ausgerüstet.

Neuer US-Radionavigationsplan

Der Ende März veröffentlichte Radionavigationsplan (FRP – Federal Radionavigation Plan) für 2001 der USA setzt im zunehmenden Maße Schwerpunkte auf GPS. Dieser Radionavigationsplan stärkt weiterhin die Bindung der USA an GPS sowie dessen Modernisierung in Zusammenhang mit dem Einsatz von GPS als primäres Navigationsmittel der US-amerikanischen Infrastruktur im Transportwesen.

Unter anderem ist geplant, die Auslaufphase von Land-gestützten Navigationsmitteln zu verlängern, damit mehr Zeit für den Übergang auf GPS zur Verfügung steht. Noch unklar dabei ist die mittelfristige Zukunft von Loran-C. Über den zukünftigen Nutzen von Loran-C laufen aktuell noch Studien, die eine Entscheidungsfindung noch in diesem Jahr unterstützen sollen.

Zum ersten Mal wird der Radionavigationsplan nicht in einem Dokument, sondern in zwei getrennten Veröffentlichungen veröffentlicht. Neben dem Radionavigationsplan gibt es noch ein Dokument mit dem Namen „Federal Radionavigation System“ (FRS). Der FRP enthält im wesentlichen politische und planerische Aspekte sowie Ausführungen über Forschung und Weiterentwicklung. Der FRP ist damit hinsichtlich politischer und planerischer Änderungen effizienter und zuverlässiger zu aktualisieren. Der FRS enthält demgegenüber Ausführungen über die Zuständigkeit und Verantwortung der Regierung, die Nutzeranforderungen und Systembeschreibungen, und wird nur aktualisiert, wenn erforderlich.

Der Link zum 2001 FRP lautet: www.navcen.uscg.gov/pubs/frp2001

LEO – Bahnbestimmung mit GPS

Fast jeder neue Satellit, der in eine niedrige Umlaufbahn (einige hundert km) um die Erde geschickt wird (Low Earth Orbiter, LEO), wird auch mit einem GPS-Empfänger ausgerüstet. Abgesehen von speziellen Experimenten, die mit den Daten, die dieser Empfänger aufzeichnet, durchgeführt werden, wie z. B. bei CHAMP zum „Atmosphäre Sounding“, dienen seinen Daten in erster Linie zur präzisen Bahnbestimmung. Auf der 27. Generalversammlung der Europäischen Geophysikalischen Gesellschaft (EGS) in Nizza wurden einige Ergebnisse zu diesem Thema vorgetragen.

Beim geowissenschaftlichen CHAMP verfügt man nun bereits länger als ein Jahr über Erfahrungen mit der routinemäßigen Bahnbestimmung. G. Michalak et al. und C. Reigber et al. vom GFZ Potsdam berichteten in zwei Vorträgen u. a., dass ein Hauptaugenmerk inzwischen auf den Zeitfaktor gelegt wird. Neben dem bisherigen sog. Rapid Science Orbit (RSO) wird jetzt auch ein sog. Ultra-rapid Science Orbit (URSO) berechnet. Der RSO hat eine Verzögerung von 15 Stunden, während der im Test befindliche URSO nur noch eine Verzögerung von 3,6 Stunden hat. Für beide Orbits werden im übrigen aber die gleichen Algorithmen verwendet. Bei CHAMP wird vom GFZ das sog. Zweischrittverfahren angewendet. Erst wird ein Rapid Orbit für die GPS-Satelliten berechnet. Dann wird dieser Orbit festgehalten und der Orbit für CHAMP berechnet. Die Genauigkeit der berechneten GPS-Orbits wird mit ca. 10–20 cm angegeben, eine

Validierung erfolgt mittels Laser-Messungen (SLR), die jedoch, wenn auch stark heruntergewichtet, auch in die Berechnung der Bahnen einfließen.

D. Svehla, TU München, berichtete über Vergleiche des kinematischen und des reduziert-dynamischen Ansatzes zur Bahnbestimmung. Der kinematische Ansatz wurde in der LEO-Bahnbestimmung zunächst bevorzugt, weil er einfacher zu handhaben ist. Er ist frei von jeder Dynamik und eher echtzeitfähig, da er im Prinzip epochenweise vorgeht. Mittels Berner Software wurden beide Ansätze sowohl im Zero Difference- als auch im Double Difference-Modus verglichen. Dabei war zwar die Verbesserung der Orbits durch das Ambiguity Fixing der doppelt differenzierten Beobachtungen beim kinematischen Ansatz deutlicher, aber beim reduziert-dynamischen Ansatz war das Genauigkeitsniveau von vornherein höher. Beim Vergleich mit den vom GFZ prozessierten Orbits ergaben sich Differenzen von max. ± 10 cm.

Auch der als Nachfolger von TOPEX/Poseidon gestartete Altimetrie-Satellit JASON-1 (Start war am 7. Dezember 2001) und der Umweltsatellit ENVISAT (Start war am 1. März dieses Jahres) sind mit GPS-Empfängern ausgestattet. Da es sich um Altimetriesatelliten handelt, ist die präzise Bestimmung der radialen Komponente der Satellitenbahn besonders wichtig. Von der Kombination von GPS und SLR wird eine Verbesserung insbesondere in radialer Richtung erwartet. Bei Overlap-Tests wurde für JASON-1 eine Genauigkeit von 2 cm erreicht, wie J.-P. Berthias et al. von CNES, Toulouse, berichteten.

DGPS über Internet

Auf dem Weg zum Real-Time-GPS gerät das Internet

immer mehr in den Blickpunkt. Derzeit wird im IGS in der Real-Time Working Group (wir berichteten in unserer letzten Ausgabe) über das technische Konzept diskutiert, zuletzt auf dem IGS-Workshop im April 2002 in Ottawa. Das eine Konzept, vorgestellt vom M. Caissy von NRCAN, verwendet das User Datagram Protocol (UDP) als Protokoll, das andere, vorgestellt von G. Weber vom BKG, das Transmission Control Protocol (TCP). UDP scheint das schnellere Protokoll zu sein, da es keine Punkt-zu-Punkt-Verbindung braucht und kleinere Pakete versendet. Auf der anderen Seite ist der für eine Empfangs- und Verifikationskontrolle notwendige Overhead, den TCP seinen Paketen mitgibt, bei UDP nicht vorhanden. Ein weiterer Nachteil von UDP scheint zu sein, dass dieses Protokoll von vielen Firewalls nicht akzeptiert bzw. durchgelassen wird, so dass eine Öffnung des Firewalls für spezielle Portnummern erforderlich ist.

Beide Gruppen versuchen nun mit Hilfe der Nutzergemeinschaft, die Praxistauglichkeit ihres Konzepts zu zeigen. Im Rahmen von EUREF wurde eine Client-Software unter Windows bereitgestellt, um RTCM-Korrekturen über das Internet empfangen und dekodieren zu können (siehe <ftp://igs.ifag.de/software/euref-ip-rtcm.zip>). Weitere Informationen sind ggf. bei G. Weber, BKG Frankfurt, zu erhalten (weber@ifag.de).

Redaktion

Intitut für Physikalische Geodäsie
 Prof. Dr.-Ing. Erwin Groten
 Technische Universität
 Petersenstr. 13, 64287
 Darmstadt
 Tel.: 061 51-16 44 45
 Fax: 061 51-16 45 12
<http://server.gi.verm.tu-darmstadt.de/Physgeod>