

RASANT

Realisierung des

Echtzeit-Positionierungs-Service EPS

der

**Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)**

**Im Auftrag der AdV
herausgegeben**

von:

**Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen
Muffendorfer Str. 19-21, 53177 Bonn**

in Zusammenarbeit

mit:

**Westdeutscher Rundfunk
Appellhofplatz 1, 50667 Köln**

Die in dieser Schrift beschriebenen Verfahren und Formate zur Übertragung von RTCM-Daten über RDS sind gemeinsames geistiges Eigentum der vorgenannten Stellen. Sie dürfen nur mit deren Erlaubnis vervielfältigt, benutzt und wirtschaftlich ausgewertet werden.

RASANT
DGPS-Korrekturdatenübertragung
für den Echtzeit-Positionierungs-Service EPS

Inhalt

| | |
|--|---|
| 0. Zusammenfassung | 3 |
| 1. Einführung..... | 3 |
| 1.1 Vorhaben der AdV | 3 |
| 1.2 Verfahrenslösung RASANT..... | 3 |
| 2. Erläuterungen zum Satellitennavigationssystem GPS | 4 |
| 2.1 Positionierung mit GPS..... | 4 |
| 2.2 Differential GPS (DGPS)..... | 4 |
| 2.3 Einsatz von GPS-Referenzstationen..... | 5 |
| 2.4 DGPS-Korrekturdatenformat RTCM..... | 5 |
| 2.5 Zur Problematik des Zeitverhaltens der RTCM-Korrekturdaten | 7 |
| 3. Radio Daten System (RDS)..... | 7 |
| 4. Empfangseinrichtungen und Nutzerendgeräte | 8 |
| 5. Verfahrenslösung RASANT..... | 8 |
| 5.1 Vorbemerkung, Konzeption | 8 |
| 5.2 Problematik der RDS-Übertragung von RTCM-Botschaften | 8 |
| 5.3 Vorteile des Verfahrens RASANT bei der RDS-Korrekturdatenübertragung ... | 9 |

0. Zusammenfassung

Der Echtzeit-Positionierungs-Service (EPS) der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) ermöglicht durch Nutzung von Signalen des weltumspannenden Satellitennavigationssystems Global Positioning System (GPS) und Einsatz von GPS-Referenzstationen eine Positionsbestimmung mit Metergenauigkeit in Echtzeit. EPS wird u.a. durch die Verfahrenslösung RASANT realisiert, die zur Übertragung von Korrekturdaten das Radiodatensystem (RDS) von UKW-Rundfunknetzen benutzt. Hierbei werden normierte Korrekturdaten für DGPS-Anwendungen verdichtet und störungsresistent über RDS übertragen. In dieser Abhandlung werden, ausgehend von einigen Grundlagen der Positionsbestimmung mit GPS, insbesondere die Techniken zur Datenübertragungen und -reduzierung erläutert. UKW-RDS-Empfangsmodule, die Korrekturdaten zurückgewinnen und GPS-Empfängern zuführen können, werden von der Industrie angeboten.

1. Einführung

1.1 Vorhaben der AdV

Die deutschen Landesvermessungsverwaltungen planen - koordiniert durch die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) - die Einrichtung und den Betrieb von GPS-Referenzstationen für Vermessung, Ortung und Navigation. Ein gemeinsames Konzept, das ein System von vier in der Genauigkeit abgestuften Positionierungsdiensten vorsieht, wurde im Mai 1995 verabschiedet. Die AdV hat darin die umgehende Realisierung des Echtzeit-Positionierungs-Service EPS für DGPS-Anwendungen in der Genauigkeitsklasse 1 bis 3 Meter beschlossen.

1.2 Verfahrenslösung RASANT

Als eine Realisierung des Echtzeit-Positionierungs-Service EPS soll die Verfahrenslösung RASANT (Radio Aided Satellite Navigation Technique) eingesetzt werden, die durch folgende Merkmale beschrieben werden kann:

RASANT ist ein Verfahren zur Bereitstellung von Real Time Differential GPS-Korrekturdaten (RTDGPS-Korrekturdaten). Diese werden von GPS-Referenzstationen erzeugt und über das Radio Daten System RDS von UKW-Rundfunksendern ausgestrahlt. Die Korrekturdaten können mit einer geeigneten Empfangseinrichtung im ganzen Sendegebiet von jedermann empfangen werden und ermöglichen einem RTDGPS-fähigen GPS-Empfänger oder kompakten Nutzerendgeräten die Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit von 1 bis 3 Metern.

2. Erläuterungen zum Satellitennavigationssystem GPS

2.1 Positionierung mit GPS

Das Global Positioning System ist ein Satellitensystem zur Ortung und Navigation, das vom US Verteidigungsministerium für militärische Zwecke betrieben wird. Das System ist seit 1994 operationell. Mindestens 24 GPS-Satelliten senden auf rd. 20.000 km entfernten Umlaufbahnen kontinuierlich codierte Signale, die von GPS-Empfängern zur Positionierung genutzt werden. Die zivile Nutzung durch jedermann ist möglich und erlaubt, kann aber im Krisenfall durch das US-Verteidigungsministerium eingeschränkt werden.

GPS-Empfänger bestimmen die Signallaufzeiten von radiosichtbaren Satelliten zur eigenen Antenne. Über die bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit eines elektromagnetischen Signals werden mindestens 4 Raumstrecken zu unterschiedlichen Satelliten gerechnet, die anschließend über das Prinzip des räumlichen Bogenschlags für die eigene Positionsbestimmung herangezogen werden. Diese Raumstrecken sind durch verschiedene Fehlerursachen verfälscht. Sie werden deshalb als Pseudostrecken (Pseudorange, PR) bezeichnet und führen zu einer ungenauen Position.

Der größte Fehleranteil bei der Positionsbestimmung mit GPS ist vom Systembetreiber aus sicherheitspolitischen Gründen künstlich durch die Technik Selective-Availability (**SA**) hervorgerufen. Für die zivile Nutzung ist die Genauigkeit z. B. einer horizontalen Positionsbestimmung mit einem GPS-Empfänger daher auf ± 100 Meter (Signifikanzniveau 95%) begrenzt. Für vielfältige Anwendungszwecke in der Navigation und in der Positionierung ist diese Genauigkeit nicht ausreichend.

2.2 Differential GPS (DGPS)

Bei einem Einsatz von zwei GPS-Empfängern, die auf verschiedenen Punkten gleichzeitig identische Satellitensignale registrieren, kann die Genauigkeit der Positionierung deutlich gesteigert werden. Derartig differentiell arbeitende GPS-Verfahren werden als **Differential GPS (DGPS)** bezeichnet. Sie werden unterschieden nach der Art der Beobachtungsgrößen (Codemessungen oder Phasenmessungen) und des Auswertzeitpunktes (Echtzeit oder Postprocessing).

Bei nachträglicher Zusammenführung und Auswertung (Postprocessing) der von den Empfängern registrierten Signale kann der Raumvektor (Baseline) zwischen den beiden Antennenstandpunkten auf wenige Millimeter genau bestimmt werden. Breites Anwendungsgebiet ist die Punktbestimmung in der Geodäsie.

Für Anwendungen in Echtzeit ist ein geeignetes Medium zur Online-Datenübertragung von Korrekturwerten oder von unbehandelten Beobachtungsdaten zwischen den GPS-Empfängern notwendig. Die erreichbaren Positionierungsgenauigkeiten derartiger Echtzeitanwendungen sind daher vom Auswertverfahren und dem dazu notwendigen Datenvolumen, der Übertragungsgeschwindigkeit und der Entfernung zwischen den beiden Empfängern abhängig:

- Durch die Übertragung einer geringen Datenmenge (typisch 100 Bit/s) kann in der Positionsbestimmung eine Genauigkeit von ca. ± 1 bis 5 m über eine Entfernung von 1.000 km erreicht werden. Dabei werden auf einem Punkt mit bekannter Position (Referenzstation) die Differenzen zwischen den Pseudoentfernungen und den gerechneten

Sollentfernungen (Pseudorange Correction PRC) zur jeweiligen Beobachtungszeit bestimmt und übermittelt.

Für dieses DGPS-Verfahren bietet sich die Rundfunkübertragung über RDS wegen der bestehenden landesweit ausgebauten Rundfunknetze, der geringen Übertragungskapazität und der empfängerseitig unbegrenzten Nutzungseinheiten besonders an.

- Durch die Übertragung größerer Datenmengen (typisch 2.400 Bit/s) kann eine Genauigkeit im Subdezimeterbereich erreicht werden, allerdings beschränkt auf relativ kurze Entfernungen. Detaillierte Untersuchungen über die erlaubte Reichweite stehen noch aus. Die höheren Genauigkeiten erfordern die Übermittlung von umfangreichen Phasemessungen der Trägerwellen der Satellitensignale. Dieses Verfahren, das mit größerem Datenvolumen operiert, muß andere Möglichkeiten der Datenübertragung, der Telekommunikation oder das künftige Digital Audio Broadcasting nutzen. Es wird hier nicht weiter behandelt.

2.3 Einsatz von GPS-Referenzstationen

Die im vorangehenden Abschnitt beschriebenen DGPS-Verfahren in Echtzeit werden als **Real Time Differential GPS (RTDGPS)** bezeichnet. Zweckmäßigerweise werden sie mit einer fest installierten GPS-Referenzstation betrieben. Vereinfacht handelt es sich dabei um einen GPS-Empfänger, der auf koordinatenmäßig bekannter Position die aktuellen Laufzeitmessungen der Satellitensignale mit vorausberechneten Soll-Werten vergleicht. Aus der Differenz zwischen Soll und Ist werden die aktuellen Pseudostreckenverbesserungen (Pseudorange Corrections **PRC**) für jeden Satelliten als Korrekturwerte ermittelt und zur Übertragung bereitgestellt.

Mobile DGPS-fähige Empfänger können diese Verbesserungen (PRC) nach Übermittlung an den eigenermittelten Pseudostrecken (PR) anbringen und ihre Position je nach Gerätequalität und Entfernung von der Referenzstation mit einer Genauigkeit von 1 bis 5 Meter bestimmen. Tests haben ergeben, daß pro 250 km Entfernung von der Referenzstation die Positionsgenauigkeit um ca. 1 Meter abnimmt.

2.4 DGPS-Korrekturdatenformat RTCM

Auf Veranlassung durch das US Institut of Navigation hat die Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) seit dem Jahre 1983 Empfehlungen für die Formate von DGPS-Korrekturdaten erarbeitet. Hierzu wurde eine Arbeitsgruppe (Special Committee No. 104) gegründet, die die empfohlenen Standards im Jahre 1990 in der Version 2.0 veröffentlicht hat. Seit 1994 ist die fortgeschriebene Version 2.1 bekannt, die zusätzlich zu den PRC der Version 2.0 Formatbeschreibungen für hochgenaue Positionsbestimmungen mit Zentimetergenauigkeit in Echtzeit enthält [1].

Das aktuelle Format RTCM SC-104 Version 2.1 enthält maximal 63 verschiedene Typen von sogenannten Botschaften (Message Types), von denen derzeit 26 belegt sind. Neben einigen reservierten und vorläufig belegten sind 8 Botschaften inhaltlich festgeschrieben. Jede Botschaft beginnt mit einem Startsignal, dem sogenannten Header. Der fachliche Inhalt jeder Botschaft wird nach einem definierten Algorithmus auf eine variable Anzahl von Wörtern zu je 30 Bits verteilt.

Die festgeschriebenen Botschaften zur Übertragung von differentiellen GPS-Korrekturen im standardisierten RTCM-Format beinhalten im einzelnen:

Message Type 1 Differential GPS Corrections

enthält die aktuellen Korrekturwerte für die Pseudostrecken zu den Satelliten (Pseudorange Correction PRC). Daneben enthält die Botschaft eine Tendaussage über die kurzzeitige Änderung dieser Pseudostreckenverbesserung (Range Rate Correction RRC).

Message Type 2 Delta Differential GPS Corrections

beinhaltet Korrekturdaten, die sich aufgrund neuer Satellitenbahndaten ergeben.

Message Type 3 Reference Station Parameters

übermittelt die Koordinaten des Referenzpunktes.

Message Type 5 Constellation Health

von der Referenzstation ermittelte Zustandsdaten der Satelliten.

Message Type 6 Null Frame

enthält nur Headerdaten.

Message Type 7 Radio Beacon Almanac

liefert Angaben über das Netz der DGPS-Sender. Sie sollen dem Nutzer eine gezielte Auswahl von Stationen erlauben.

Message Type 9 Partial Satellite Set Differential Corrections

liefert Korrekturwerte für eine Teilmenge von Satelliten und dient dem gleichen Zweck wie Message Type 1.

Message Type 16 Special Message

enthält beliebigen Text im ASCII-Code.

Diese 8 Botschaften des RTCM-Formates Version 2.1 ermöglichen die Positionierung mit einer Genauigkeit von 1-5 Metern. Sie waren auch in der früheren Version 2.0 enthalten. Es hat sich eingebürgert, in Verbindung mit dieser Genauigkeit weiterhin von "RTCM-Version 2.0" zu sprechen. Da zwischen den Versionen 2.0 und 2.1 Änderungen erfolgt sind, ist es allerdings richtiger, in Verbindung hiermit die Bezeichnung "RTCM SC 104 Version 2.1 (Messages 1-16)" zu benutzen.

Das standardisierte Format RTCM SC 104 Version 2.1 (Messages 1-16) wird von fast allen GPS-Empfängern und von zahlreichen Anbietern von DGPS-Diensten unterstützt.

2.5 Zur Problematik des Zeitverhaltens der RTCM-Korrekturdaten

Die auf der Referenzstation ermittelten Pseudostreckenverbesserungen gelten streng immer nur für den exakten Zeitpunkt ihrer Berechnung. Durch den unvermeidbaren Zeitverzug bei der Datenübermittlung müssen von den nutzenden Empfängern somit zwangsläufig veraltete Werte zur Positionsbestimmung verwendet werden. Um diesen Fehlereinfluß zu mildern, wird im RTCM-Format in den Botschaften 1 und 9 neben den aktuellen Pseudostreckenverbesserungen PRC eine Prognose für die zeitliche Änderung dieser Größen (Range Rate Correction RRC) übertragen. Diese vom Referenzempfänger ermittelten Werte liefern in der Dimension m/s Angaben über die zeitabhängigen Änderungen der Pseudostreckenverbesserungen. Sie können als 1. Ableitung der Pseudostreckenverbesserungen (ds/dt) verstanden werden.

Für eine eindeutige Zuordnung werden den Korrekturwerten in den Botschaften des RTCM-Formates die Zeitmarken (modified Z-Count) ihrer Generierung vorangestellt. Der modified Z-Count wird dabei als Sekunde in der laufenden Stunde gezählt.

DGPS-fähige Empfänger können das Alter der Korrekturdaten aus der Differenz zwischen eigenermittelte Systemzeit und übertragener Zeitmarke bestimmen. Durch die Multiplikation dieser Zeitdifferenz mit der prognostizierten zeitlichen Änderung der Pseudostreckenverbesserung stehen kurzzeitig nutzbare Zuschläge zur Verfügung, die zusätzlich zu den Werten PRC an den Pseudostrecken angebracht werden können.

Erfahrungsgemäß verschlechtern sich die prognostizierten Pseudostreckenänderungen mit steigendem Korrekturdatenalter. Nach 20-25 Sekunden treten merkliche Genauigkeitsverluste in der Positionierung auf. Die Korrekturdaten sind daher möglichst zeitnah an die Nutzer zu übermitteln.

3. Radio Daten System (RDS)

Das Radio-Daten-System RDS ist ein Verfahren zur Übertragung von unhörbaren Zusatzinformationen im UKW-Rundfunk. Es wurde von der Union der Europäischen Rundfunkanstalten entwickelt und 1984 veröffentlicht. Seine Einführung in der ARD wurde 1986 beschlossen. Ab 1988 sind sämtliche UKW-Programme mit RDS ausgestattet worden. Seit 1992 ist RDS als Europäische Norm EN50067 anerkannt.

Die Datenübertragung mit RDS erfolgt in 16 verschiedenen Datengruppen, denen unterschiedliche fachliche Inhalte zugewiesen sind. Eine RDS-Gruppe umfaßt 104 Bits, von denen 27 Bits für die Identifikation von Programm, Programmtyp, Verkehrsfunk und Gruppentyp genutzt werden und von denen weitere 40 Bits durch Prüf Worte belegt sind. Die verbleibenden 37 Bits stehen zur Übertragung von Nutzerinformationen zur Verfügung. Sie werden zum Teil für kommerzielle Datendienste verwendet.

Pro Sekunde werden 11,4 Datengruppen und damit etwa 420 Bits an Nutzlast übertragen. Der Wiederholrhythmus der unterschiedlich belegten Gruppentypen ist flexibel, damit jederzeit wichtige Datengruppen vorrangig übertragen werden können.

DGPS-Korrekturen der Verfahrenslösung RASANT werden in einer spezifizierten RDS-Gruppe "Open DGPS" übermittelt.

4. Empfangseinrichtungen und Nutzerendgeräte

RASANT kann grundsätzlich mit jedem RDS-tauglichen Radio empfangen werden. Zur Anwendung müssen allerdings die Korrekturdaten aus dem RDS-Datenstrom herausgetrennt, dekomprimiert und einem DGPS-fähigen GPS-Empfänger im Format RTCM SC 104 Version 2.1 (Messages 1-16) bereitgestellt werden. Hierzu sind bereits UKW-RDS-Empfänger/Decoder entwickelt und produziert worden.

DGPS-Empfänger mit RTCM-Fähigkeit sind bereits für unter 1.000 DM auf dem Markt erhältlich. Werden auf der Referenzstation und der Nutzerseite hochwertige GPS-Empfänger (narrow correlator technique, carrier phase smoothing) eingesetzt, so werden Lagegenauigkeiten von $\pm 1\text{m}$ erreicht.

Zur Zeit wird die weitere Miniaturisierung anwendergerechter Empfangseinrichtungen von der Industrie angestrebt; kompakte Nutzerendgeräte, die RDS- und GPS-Empfänger vereinen, befinden sich in der Entwicklung und stehen vor der Vermarktung.

5. Verfahrenslösung RASANT

5.1 Vorbemerkung, Konzeption

Durch die Verfahrenslösung RASANT wird eine RDS-Übermittlung von DGPS-Korrekturdaten gegenüber dem standardisierten RTCM-Format in erheblich verkürzter Zeit und zugleich unanfällig (robust) gegen Störungen und kurzzeitigen UKW-Empfangsverlust erreicht.

Konzeptionell besteht RASANT aus den beiden Softwarekomponenten

- RASREF für den Betrieb auf der Referenzstation und
- RASMOBIL für den Einsatz in einer stationären oder mobilen Empfangseinheit (Rover).

Auf der Referenzstation werden die standardisierten RTCM-Botschaften des DGPS-Referenzempfängers firmenunabhängig durch die Programmkomponente RASREF in RASANT-spezifische Formate, die sogenannten Varianten (Variants), umgesetzt. Die Inhalte werden dabei nicht deckungsgleich abgebildet, sondern einzelne Informationen werden in geringerer Häufigkeit oder mit platzsparender Formatierung an den RDS-Coder abgegeben. Die Varianten werden in Abhängigkeit von der Taktfrequenz der rundfunkseitig bereitgestellten RDS-Gruppen übertragen. Durch das Programm RASMOBIL wird die Information an der Empfangseinheit aus dem RDS-Datenstrom ausgelesen, das standardisierte RTCM-Format wird rekonstruiert und für einen DGPS-Empfänger an einer Schnittstelle bereitgestellt.

5.2 Problematik der RDS-Übertragung von RTCM-Botschaften

Würden die Korrekturdaten im zusammenhängenden Originalformat RTCM übertragen, so müßten die in Wörter aufgeteilten RTCM-Botschaften in aufeinanderfolgenden RDS-Gruppen des gleichen Types abgelegt und ohne Verlust übermittelt werden. Ein durch UKW-Empfangsstörung hervorgerufener Ausfall nur einer einzelnen RDS-Gruppe würde beim mobilen Nutzer zum Verlust der vollständigen RTCM-Botschaft führen und damit den Verlust aller in diesem Datensatz enthaltenen Informationen bedingen. Bis zum vollständigen Empfang der nächsten

korrekt übertragenen RTCM-Botschaft müßten veraltete und damit ungenaue Korrekturwerte für die Positionierung genutzt werden. Ein derartiger Zeitverzug bei der Datenübertragung zeitabhängiger Korrekturwerte stellt das gesamte Verfahren in Frage. Die hieraus berechneten Verbesserungen der Pseudostrecken und die daraus abgeleiteten Empfängerpositionen sind mit umso größeren Fehlern behaftet, je größer der Zeitverzug wird.

Zur Verdeutlichung soll das Beispiel einer standardisierten Botschaft 1 des RTCM-Formates dienen, die bei 9 verfügbaren Satelliten ein Datenvolumen von etwa 680 Bit beinhaltet. Für die Übertragung würden bei einer beabsichtigten Taktrate von 1 RDS-Gruppe pro Sekunde und 37 Bit Nutzlast pro RDS-Gruppe grundsätzlich etwa 18 Sekunden benötigt.

Die Korrekturen würden daher den mobilen Empfänger durch das beschriebene Prinzip der zusammenhängenden RDS-Übertragung des RTCM-Formates erst nach 18 Sekunden erreichen und müßten dann weitere 18 Sekunden, bis zum Eintreffen des nächsten Datensatzes, genutzt werden. Dieser Normalfall würde sich bei kurzzeitigem Ausfall des UKW-Empfangs nochmals um 18 Sekunden verzögern.

Für eine sinnvolle RDS-Nutzung müßten daher geeignete Maßnahmen entwickelt werden, um die Korrekturen schnell und datensicher übermitteln zu können.

5.3 Vorteile des Verfahrens RASANT bei der RDS-Korrekturdatenübertragung

Bei gleicher Übertragungsfrequenz (1 RDS-Gruppe/Sekunde) kann RASANT die Übertragungsdauer für die benötigten Korrekturdaten von 9 Satelliten auf rd. 9 Sekunden verkürzen, wobei das durchschnittliche Korrekturdatenalter ca. 5 Sekunden beträgt und damit gegenüber dem oben angegebenen Beispiel um 80 % reduziert ist. Gleichzeitig wird die Übertragungssicherheit enorm gesteigert. RASANT erreicht diese Vorteile durch die folgenden Maßnahmen:

1. eine Aufspaltung des kohärenten RTCM-Formates durch die Bildung von selbständigen Datenpaketen für jeden einzelnen Satelliten (Autarkisierung, Satellite Self-Sufficiency)
2. eine Reduzierung der zu übertragenden Datenmenge (Integer Timing Management)
3. ein ständige Aktualisierung der Korrekturdaten der einzelnen Satelliten (Accelerated Satellite Listing)
4. eine Prioritätssteuerung, die denjenigen Satelliten bevorzugt, dessen Korrekturdaten am ehesten die Positionierung verbessert (Satellite Priority Control).