

2.10. GPS und GLONASS

(*Global Positioning System, Global Navigation Satellite System*)

Das amerikanische GPS- und das technisch fast identische russische GLONASS-Verfahren sollen hier nur soweit beschrieben werden, daß die Kenntnis der System- und Signaleigenschaften eine Einordnung bzw. einen Vergleich mit anderen Systemen zuläßt. Ausführliche Beschreibungen des GPS-Systems werden z.B. von der NATO-Arbeitsgruppe AGARD in [58], Mattos et al. in [51], Schänzer et al. in [82] und für das Differential-GPS von Vieweg in [88] gegeben.

Zum vollständigen GPS-Raumsegment (seit Juni 1994) gehören 24 Satelliten, die sich auf annähernd kreisförmigen 12-Stundenbahnen ($h=20400$ km) bewegen. Das Prinzip der GPS-Positionsbestimmung beruht vier Zeitdifferenzmessungen zwischen den Signalen von vier Satelliten. Um eine 3-dimensionale Positionsbestimmung durchzuführen, müssen also mindestens vier sichtbare Satelliten empfangen werden (Bild 35). Die Bahnparameter sind deshalb so gewählt, daß zu jeder Zeit an jedem Punkt der Erdoberfläche mindestens vier Satelliten 'sichtbar' sein sollen. Es werden sechs Bahnebenen à vier Satelliten mit einer Inklination von 55° verwendet.

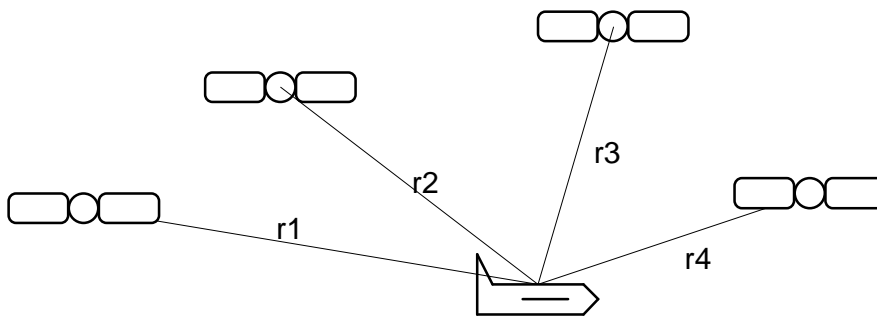


Bild 35: Für die 3D-Positionsbestimmung werden mindestens vier GPS-Satelliten benötigt.

Die Satelliten senden keine einzelnen Impulse aus, sondern erstmals in der Geschichte der Funknavigation korrelationstechnisch optimierte Signalfolgen (siehe S. 94). Alle GPS-Satelliten senden auf derselben Frequenz von 1575.42 MHz. Alle verwendeten Frequenzen und Datenraten von GPS werden aus der Träger-Frequenz abgeleitet. Sie sind phasenstarr miteinander verbunden. Als Signal wird ein pseudozufälliges Binärsignal mit einer Länge von 1023 Chips verwendet. Jedem Satelliten ist eine eigene Signalfolge zugeordnet, über die er identifiziert und 'verfolgt' werden kann. Bei diesen *C/A-Code*³⁰ genannten Binärsignalen handelt es sich um 'Gold'-Codes mit folgenden besonderen Eigenschaften :

³⁰ *Coarse and Acquisition*

- Sie haben ein optimiertes Korrelationsverhalten bezüglich ihrer PAKF (S. 93).
- Sie sind optimiert bezüglich ihres KKF-Verhaltens untereinander.
- Sie sind gleichverteilt im Zeitbereich.
- Sie besitzen ein si-förmiges Spektrum um die Trägerfrequenz.

Der zweite Punkt ist besonders wichtig, da GPS auf nur einer Frequenz³¹ arbeitet und zu einem Zeitpunkt mehr als acht Satelliten gleichzeitig empfangbar sein können. Diese Codemultiplex (CDMA³²) genannte Arbeitsweise stellt besondere Anforderungen an die Qualität der Folgen. Die KKF von zwei verschiedenen PRN³³-Folgen soll eine Nullfolge ergeben, um gegenseitige Störungen auszuschließen.

2.10.1. Signalauswertung im GPS-Empfänger

Das Empfangssignal wird nach der ZF mit einem I/Q-Demodulator abgetastet und durch einen einfachen A/D-Umsetzer 2-Bit-quantisiert. Die Signalauswertung der empfangenen Signale wird mit Hilfe der diskreten Kreuzkorrelationsfunktion (KKF) vorgenommen.

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} x_1(i) \cdot x_2(i+n) \quad N = 2^{10} - 1 \quad (2.17)$$

Soll in einem abgetasteten Eingangssignal $x_2(n)$ die PRN-Folge gefunden werden, so muß dieses Eingangssignal mit einem im Empfänger erzeugten Gold-Code-Prototypen $x_1(n)$ korreliert werden. Die gesuchten Ergebnisse der KKF sind die Positionen der Maxima innerhalb der Folge und die Vorzeichen dieser Maxima.

Die Berechnung der vollständigen KKF-Summe ist nur nach dem Einschalten des Empfängers vorzunehmen, um den Satelliten zu finden. Es ist dann einfacher, nach dem Einrasten des Korrelators das KKF-Maximum in einer Regelschleife zu 'verfolgen', als die vollständige KKF immer wieder durchzuführen. Die Verfolgung des KKF-Maximums muß in zwei ineinander verschachtelten Regelschleifen geschehen, da sich die gesuchte Größe (die Schrägentfernung zum Satelliten) ständig ändert und da die variable Doppler-Verschiebung die empfangene Folge zeitlich 'staucht' oder 'dehnt'. Für jeden zu empfangenen Satelliten (Mehrkanal-Empfänger) ist also eine KKF zu berechnen.

Da für die Ortsbestimmung die genauen Bahndaten der Satelliten bekannt sein müssen, werden diese in binären Datentelegrammen mit einer Datenrate von 50 Bit/Sekunde durch die Satelliten selbst ausgesendet. Hierzu wird die gesamte, in π -PSK³⁴ auf den HF-Träger modulierte PRN-Folge mit den zu übertragenen Daten ein weiteres Mal π -PSK-moduliert. Dementsprechend ist das übertragene Datenbit am Vorzeichen des Maximums nach der KKF direkt abzulesen. Pro Datenbit werden 20 PRN-Folgen ausgesandt. Aus diesem Zusammenhang leitet

³¹ Der geheime, militärische P-Code auf 1227.6 MHz soll hier nicht untersucht werden.

³² Code Division Multiple Access

³³ Pseudo Random Noise

³⁴ Phase Shift Keying

Verfahren der Funknavigation

sich auch der Name Spreiz-Spektrum-Technik für die Form der Übertragung ab. Der Bittakt der PRN-Folgen beträgt 1.023 MHz. Das Verhältnis Bandbreite zu Datenrate ist größer $20 \cdot 10^3$. Bild 36 zeigt das Prinzip der Sendesignalerzeugung im Satelliten.

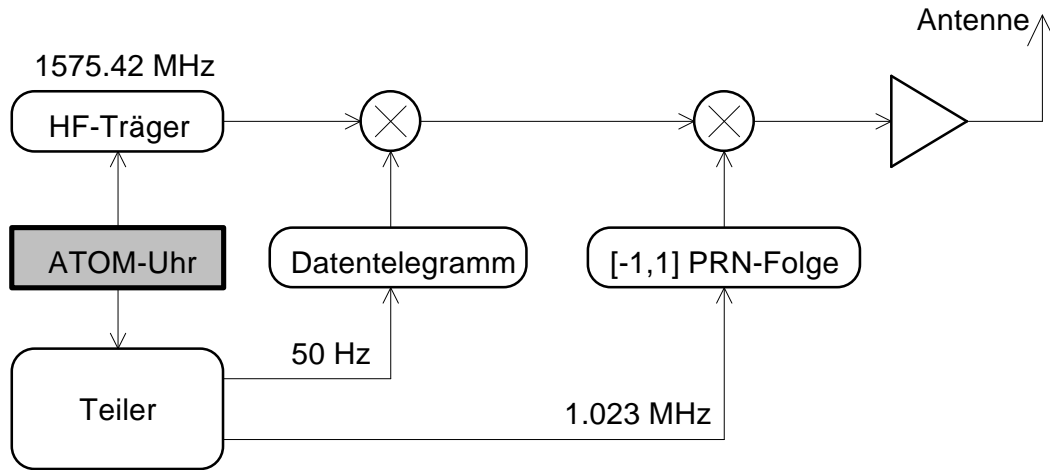


Bild 36: Das Sendesignal eines GPS-Satelliten wird durch zweimalige π -PSK-Modulation von Datentelegramm und PRN-Folge auf die Trägerfrequenz erzeugt.

Die Trägerfrequenz, der PRN- und der Datentakt in GPS-Satelliten sind kohärent und werden von einer Cäsium-Referenz (ca. $1 \cdot 10^{-12}$) abgeleitet. Erwähnenswert ist außerdem, daß die Satelliten-Signale rechtsdrehend zirkular polarisiert ausgesendet werden. Dadurch, daß auch eine rechtsdrehend zirkular polarisierte Antenne für den Empfang Verwendung finden, werden die linksdrehenden Reflexionen gegen unendlich gedämpft.

2.10.2. Feldstärke der GPS-Signale

Das Signal an der Antenne eines Empfängers erreicht wegen der Dämpfung auf dem Übertragungsweg eine Leistung von ca. -130 dBm³⁵. Die thermische Rauschleistung am Empfänger erreicht bei einer Bandbreite B von ca. 1 MHz und 20°C einen Wert von

$$P_{th} = 10 \log \left(\frac{kTB}{1mW} \right) \approx -113.9 \text{ dBm} \quad (2.18)$$

Der GPS-Empfänger arbeitet also mit einem SNR³⁶ von -16 dBm vor der KKF. Die Aufhebung der spektralen Spreizung durch den KKF-Empfänger verbessert das SNR um

$$10 \log \frac{1.023 \text{ MHz}}{1 \text{ kHz}} \approx +30 \text{ dB} \quad (2.19)$$

auf +14 dBm. Die Extraktion der Daten aus den Vorzeichen bedeutet eine weitere Bandbreitenreduktion, wodurch sich ein weiterer Gewinn von

³⁵ -dBm : dB unter 1mW; -130 dBm » 70 nW an 50 W; $k = 1.3804 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

³⁶ Signal to Noise Ratio

$$10 \log \frac{1 \text{ kHz}}{50 \text{ Hz}} \approx +13 \text{ dB} \quad (2.20)$$

ergibt. Das Gesamtsystem arbeitet mit einem SNR von ca. +27 dB.

2.10.3. GPS-Empfängeraufbau

Bild 37 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines GPS-Empfängers. Gezeigt ist auch eine mögliche Erweiterung um eine zweite Antenne, zur Empfangsverbesserung bei Abschattungen durch Fahrzeugteile (z.B. Leitwerke).

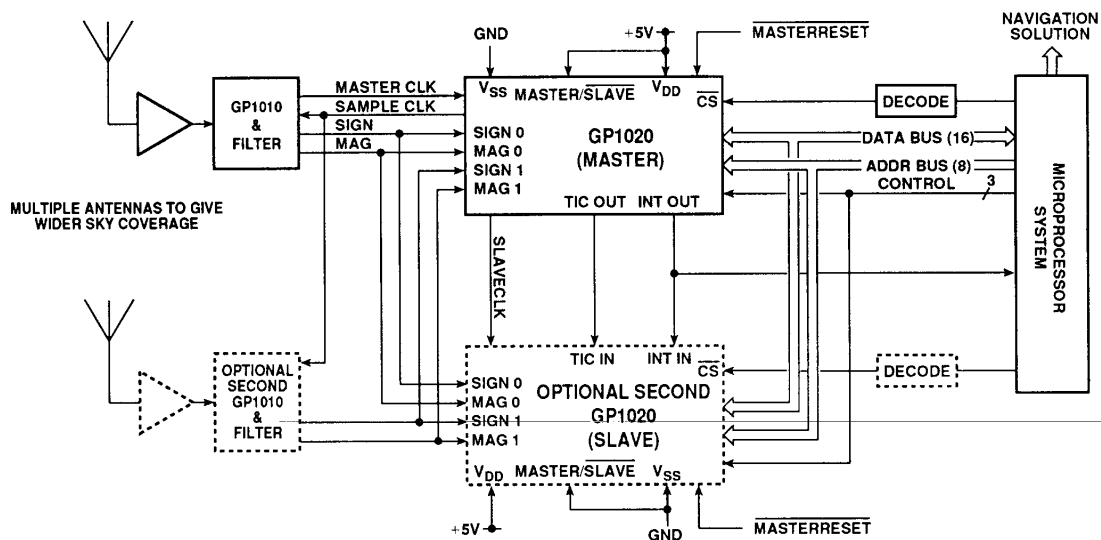


Bild 37: GPS-Empfänger Blockdiagramm [67]

2.10.4. Unterschiede zu GLONASS

Das russische GLONASS-System arbeitet auf 11h16'-Bahnen in 19100 km Höhe und einer Inklination von 65°. Das System ist aber im Moment noch nicht vollständig ausgebaut. GLONASS teilt jedem Satelliten eine von 24 verschiedenen Frequenzen (FDMA³⁷) in einem Raster von 562.5 kHz zu (1602.5625 bis 1615.5 MHz)³⁸. Alle GLONASS Satelliten verwenden den gleichen PRN-Code, der aber nur eine Länge von 511 Chips hat, da keine Anforderungen mehr an das PKKF-Verhalten³⁹ zwischen verschiedenen Codes gestellt werden. Für einen N-Kanal-Empfänger zur simultanen Verfolgung von N Satelliten sind auch N Frequenzaufbereitungen und Mischstufen notwendig. Bild 38 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines 6-Kanal GLONASS Empfängers.

³⁷ **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

³⁸ Infolge internationaler Beschwerden über die GLONASS-Band belegung werden seit 1995 nur noch zwölf Frequenzen verwendet. Je zwei Satelliten auf entgegengesetzten Seiten der Erde senden jetzt auf einer gemeinsamen Frequenz.

³⁹ **P**eriodische **K**reuz**k**orrelations **f**unktion, siehe auch S. 92

Verfahren der Funknavigation

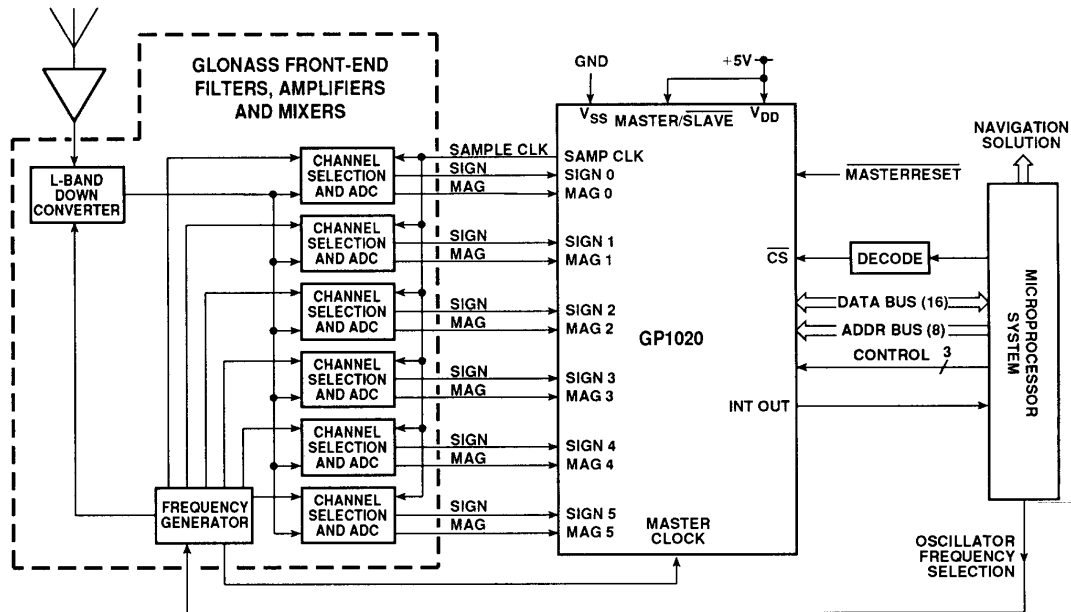


Bild 38: GLONASS-Empfänger Blockdiagramm [67]

Vergleichend kann man für die Signalauswertung feststellen, daß GLONASS den Empfangsaufwand in die Hardware verlagert, während GPS den Empfangsaufwand von der Hardware in die Software verlagert hat. GPS-Empfänger sind hardwareseitig wesentlich einfacher zu realisieren, da sie nur einen Eingangsteil mit Mischer und ZF besitzen.

Der Entwurf eines kombinierten GPS/GLONASS-Empfängers wäre sehr sinnvoll, da dadurch eine größere Anzahl von Satelliten und damit eine größere Auswahl von Standlinien zur Verfügung stünde. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß GLONASS keine Signaldegradierung in Form der S.A. ⁴⁰ vornimmt.

⁴⁰ Selected Availability, siehe S. 94