

Theorie eines GPS Empfängers

Zum GPS-Empfang braucht man zunächst eine geeignete Antenne für das zirkularpolarisierte Signal. Die Satelliten können überall am Himmel vorkommen, Deswegen braucht man eine Antenne mit einer Halbkugelcharakteristik. Meist werden Quadrifilar Helical (siehe Abb. 3) oder Patch-Antennen eingesetzt. Direkt hinter die Antenne werden Vorverstärker und Filter geschaltet um das Rauschzahl möglichst günstig zu halten. Dann folgen Downconverter und weitere Filter, um eine mindestens 2 MHz breite IF zu bilden. Um das GPS-Signal tatsächlich über das Eingangsruschen zu heben und zu detektieren, muss die Bandbreite im Empfänger durch Aufhebung der Frequenzspreizung reduziert werden. Wenn man das Signal im IF erneut mit BPSK moduliert, mit einer Kopie des Spreizungscodes, wird die ursprüngliche Spreizung rückgängig gemacht, und es bleibt nur der Originalträger übrig, moduliert mit 50 Bit/s Datenrate. Die Bandbreite der IF kann nachher von 2 MHz auf 100 Hz eingeschränkt werden, was eine Verbesserung des Signalrauschabstands von 43 dB entspricht.

Beim Kaltstart weiß der Empfänger nicht, welche der bis zu 32 Satelliten oberhalb des Horizonts zu erwarten sind. Die Bahnbewegung der Satelliten verursacht zusätzlich eine Dopplerverschiebung von plus oder minus 9 kHz, die korrigiert werden muss, damit die Entspreizung funktioniert. Auch die Phase des Spreizungscodes muß genau stimmen. Der Empfänger muss deswegen mit einem aufwendigen Suchlauf über Satelliten, Dopplerverschiebung und Codeverschiebung anfangen. Sobald das erste Signal gefunden ist, kann aus dem 50 bit/s Datenstrom ...

Daß wir mit so einer riesigen Antenne nur einen GPS-Satelliten gleichzeitig empfangen können, erweist sich hierbei eher als Vorteil. Die im vorletzten Abschnitt erwähnten Probleme mit Mehrweg-Ausbreitung und beschränktem Korrelationsabstand der verschiedene Goldcodes können nicht auftreten, weil die Antennekeule so schmal ist und garantiert nur das Signal eines Satelliten in den Empfänger gerät. Aus dem gleichen Grund reicht auch eine sehr einfache und breitbandige Filterung der IF, wodurch auch da keine Verluste an Genauigkeit auftreten. Und es ist sogar möglich, diesen Empfänger für eine äusserst genaue Ortsbestimmung des Teleskops zu benutzen, indem wir die Antenne nacheinander auf mehrere Satelliten ausrichten. Unsere Rubidiumuhr sorgt dabei für eine hinreichend stabile Zeitbasis, um die Laufzeiten der Signale gegeneinander messen zu können, auch wenn unser Teleskop mehrere Minuten braucht um zum nächsten Ziel zu kommen.

Von der Hornantenne im Brennpunkt der Schüssel führen zwei Koaxkabel zum Beobachtungsraum ins Innere des Teleskops. Gleich am rechtsdrehenden Anschluss der Hornantenne ist der LNA angebracht, der normalerweise zum Empfang astronomischer Signale und EME benutzt wird. Diese ist aber für GPS-Empfang ungeeignet, weil GPS ausserhalb des Passbands des LNA fällt, und linksdrehend polarisiert ist. Ein zweites, viel dickeres Kabel wird beim EME Betrieb zum Senden benutzt, für linksdrehende Polarisation. Dieses Kabel führt direkt von der Hornantenne nach unten, ohne zwischengeschaltete Verstärker oder Relais.

Zum Aufzeichnen der GPS-Signale wird unser Radioastronomie Empfänger zweckentfremdet. Die Signale von der Antenne werden zuerst auf 400 MHz heruntergemischt, und an einen R&S ESMC Empfänger weitergeleitet. Auf seine Mittelfrequenz von 21.4 MHz wird ein 25 MHz breiter Abschnitt des Eingangsspektrums ausgegeben. Der nächste Schritt ist ein mit 70 MHz getakteter Analog/Digital-Wandler der durch einen FPGA angesteuert wird. Der ADC hat eine Auflösung von 10 Bit, was bei dieser Taktrate 700 Mb/s an Daten generiert. Das FPGA faßt diese in Ethernet-frames zusammen und verschickt sie über eine 1Gb/s Ethernetverbindung an einen Linux-Rechner. Wegen des sehr hohen Datendurchsatzes reicht eine einzelne Festplatte nicht zum Speichern der Daten. Deswegen kommt ein RAID-system mit 4 Festplatten in Parallelbetrieb zum Einsatz. Eine Aufnahme von nur einer Sekunde umfaßt schon 87.5 MB, um 20 Minuten aufzuzeichnen braucht man 105 GB.

Ab. 7a ist eine Spektrale Darstellung der empfangenen Mittenfrequenz. Dank des hohen Antennengewinns ist das Signal mit über 25 dB über dem Grundrauschen sehr deutlich zu erkennen. In einem herkömmlichen Empfänger würde nichts sichtbar sein. Auch der mit 10.23 MHz getaktete militärische L1 P(Y) Code ist deutlich zu erkennen. Zum Vergleich ist in Ab. 7b auch das L2 P(Y) Signal dargestellt.

Nicht jeder Funkamateurl hat im Garten Platz für eine 25m Antenne. Aber mit einem richtigen Vorverstärker ist gegenüber unsere Aufstellung schon mehr als 10 dB zu gewinnen, was zeigt daß diese Experimente auch mit kleineren Anlagen möglich sind. Wer mit etwas weniger S/N zufrieden ist, kann das Signal schon mit einer Schüssel von 1m Durchmesser aus dem Rauschen heben.