

Das Mobilkommunikationslabor der Hochschule für Technik Rapperswil empfängt nebst GPS und Galileo jetzt auch die Satellitensignale des russischen GLONASS

Entwicklung eines Satellitennavigations-Empfängers

Auch die Russen mischen aktiv mit

In den 1970er-Jahren begann die ehemalige Sowjetunion ihr eigenes satellitenbasiertes Navigationssystem zu entwickeln, das GLONASS. Was taugt das System heute? Um dieser Frage nachzugehen, wurde an der HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, in einer Diplomarbeit ein GLONASS-Empfänger entwickelt und in Betrieb genommen.

» Nicola Ramagnano

Im Moment existieren verschiedene Systeme für die weltweite Ortung und Navigation. Das wohl bekannteste ist das amerikanische GPS (Global Positioning System). Seit jüngster Zeit ist auch Europa mit seinem Galileo-System damit beschäftigt, ein eigenes Navigationssystem zu entwickeln. Schon länger in Betrieb ist hingegen das russische Pendant GLONASS, das «GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM».

Vor über 50 Jahren, am 4. Oktober 1957, wurde der allererste Satellit ins Weltall geschossen. Der russische «Sputnik» wog nur 80 Kilogramm und umkreiste die Erde in 1,5 Stunden auf einer Höhe zwischen 230 und 950 Kilometern. Mit dem Sputnik hatten die Russen ihre Vorherrschaft in der Raumfahrt gegenüber den USA bewiesen.

In den 70er-Jahren ging es richtig los

1978 wurde der erste GPS-Satellit in die Umlaufbahn gebracht. Nur vier Jahre später,

1982, folgte der erste GLONASS-Satellit. Beide Systeme wurden erst Mitte der 90er-Jahre offiziell in Betrieb genommen. Anfangs waren beide Projekte grundsätzlich nur für militärische Zwecke konzipiert. Aber in der Zwischenzeit hat vor allem GPS auch in zivilen Anwendungen an Popularität gewonnen.

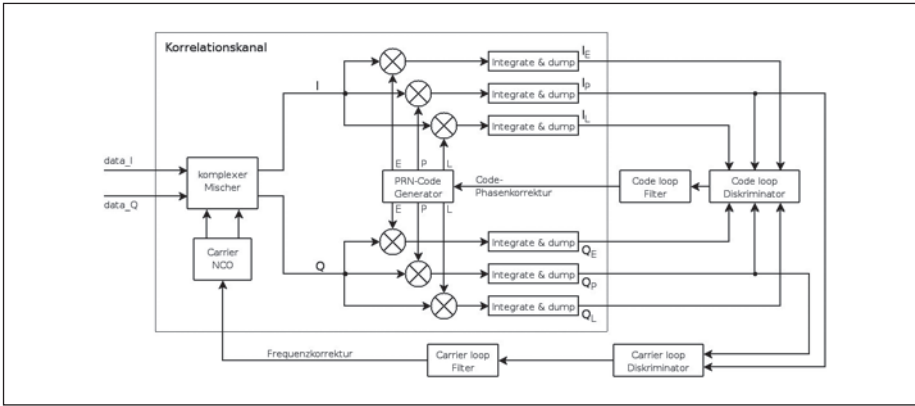
Das GLONASS-Projekt musste in den letzten Jahren vermehrt mit finanziellen Problemen kämpfen. Dies führte dazu, dass aktuell zu wenig funktionstüchtige Satelliten in Betrieb sind, um das ganze System für heutige Anwendungen brauchbar zu machen. Immerhin: Die russische Regierung hat im Sinn, die GLONASS-Satellitenkonstellation bis 2009 wieder aufzustocken.

Was GLONASS von GPS unterscheidet

Sowohl bei GPS als auch bei GLONASS sind zur Positionsbestimmung mindestens vier Satelliten notwendig. Damit die Ortung an je-

dem Punkt der Erde gelingt, müssen bei beiden Systemen mindestens 24 Satelliten in Umlauf sein. Momentan sind 30 GPS-Satelliten, aber nur 16 GLONASS-Satelliten in Betrieb.

Eigentlich ist GLONASS sehr ähnlich aufgebaut wie GPS. Diese Satelliten umkreisen die Erde mit einer Geschwindigkeit von etwa 3,8 km pro Sekunde auf einer Höhe von ungefähr 20000 km. Die grössten Unterschiede zwischen GPS und GLONASS bestehen mehrheitlich in der Multiplexart der ausgesendeten Satellitensignale. Beim GPS senden alle Satelliten ihre Signale auf der gleichen Frequenz und modulieren diese mit unterschiedlichen Codefolgen, um sie voneinander unterscheiden zu können. Dieses Verfahren wird auch CDMA (Code Division Multiple Access) genannt. Beim GLONASS hingegen werden die Satellitensignale auf unterschiedlichen Frequenzen gesendet und alle Satelliten benut-



Die Satellitensignale werden mit einem Tracking-Loop verfolgt

zen die gleiche Codefolge für die Modulation. Dieses Verfahren wird auch FDMA (Frequency Division Multiple Access) genannt.

Zudem senden die GLONASS-Satelliten ihre Signale in einem anderen Frequenzband als GPS, nämlich von 1598 bis 1606 MHz. Obwohl dieses nicht weit von der GPS-Frequenz (1575,42 MHz) entfernt liegt, ist die Entwicklung eines kombinierten GPS/GLONASS-Empfängers alles andere als einfach.

Der Weg vom Satelliten ins Labor

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde an der HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, ein funktionstüchtiger GLONASS-Empfänger entwickelt. Dieser ist in der Lage, alle nötigen Aufgaben durchzuführen, angefangen beim Empfang der Satellitensignale mittels einer geeigneten Antenne über die Verarbeitung dieser Signale mit passenden Algorithmen bis zum Bestimmen der eigenen Position auf der Erde.

Die grösste Schwierigkeit bei einem solchen Empfänger – sei es für GLONASS oder GPS – ist das schwache Satellitensignal auf der Erde. Die Signalpegel sind tief im Rauschen versenkt und können nicht ohne Weiteres darin erkannt werden. In diesem Fall wird das Problem mittels eines Korrelationsempfängers gelöst. Das Prinzip ist relativ einfach: Man moduliert das zu übertragende Signal zuerst mittels einer bestimmten Codefolge. Eine solche Codefolge besitzt die besondere Eigenschaft, dass sie aus einer pseudo-zufälligen Folge von Einsen und Nullen besteht. Der eingesetzte Code ist aus dem offiziellen GLONASS-Dokument ersichtlich.

Der Empfänger versucht nun, das empfangene Signal mit der gleichen Codefolge zu korrelieren. Die Korrelation dieses Codes mit reinem Rauschen ergibt einen kleinen Korrelationswert. Falls aber im Rauschen das modulierte Satellitensignal vorhanden ist, dann resultiert ein Korrelationsmaximum.

Grosse Dopplerverschiebung der Trägerfrequenz

Weil sich die Satelliten mit relativ hoher Geschwindigkeit bewegen, resultiert eine entsprechend grosse Dopplerverschiebung der Trägerfrequenz. Bei der Korrelation muss diese Verschiebung unbedingt kompensiert werden. Zudem muss auch die zeitliche Position (Codephase) exakt übereinstimmen, damit bei der Korrelation ein Maximum resultiert. Da diese beiden Parameter nach dem Einschalten des Empfängers noch unbekannt

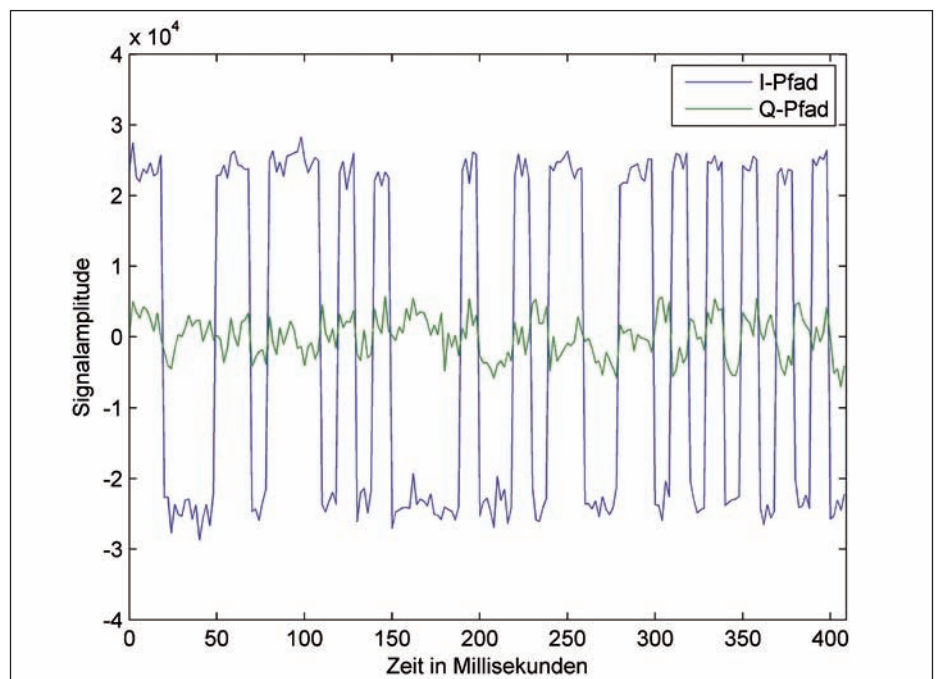
sind, führt dies unweigerlich zu einer zweidimensionalen Suchfunktion, auch Akquisitionsfunktion genannt. Nur so kann überhaupt überprüft werden, ob die Satellitensignale empfangbar sind oder nicht.

Diese relativ aufwendige und intensive Signalverarbeitung wurde auf einer Altera-Stratix-FPGA-Plattform implementiert. Die nötigen Algorithmen wurden mittels VHDL, einer Hardwarebeschreibungssprache, programmiert. Im FPGA wurden insgesamt zwölf parallele Korrelationskanäle einprogrammiert, damit alle Frequenzkanäle gleichzeitig verarbeitet werden konnten.

Satellitensignale mit einem Tracking-Loop verfolgen

Sobald die Akquisitionsfunktion ein Satellitensignal aufgespürt hat, ist auch dessen Dopplerverschiebung und Codephase bekannt. Damit ist es aber noch nicht getan, denn diese Parameter ändern sich mit der Zeit und müssen ständig nachkorrigiert werden. Das Signal muss also fortwährend verfolgt werden. Dies realisiert man im Empfänger mit einem Tracking-Loop. Der Tracking-Algorithmus wurde für einen NIOS-II-32-Bit-Prozessor, der als sogenannter Softcore in das FPGA konfiguriert werden kann, programmiert. Das Programm für den NIOS-II-Prozessor konnte somit in C++ geschrieben und mit dem mitgelieferten NIOS-II-C++-Cross-Compiler übersetzt werden.

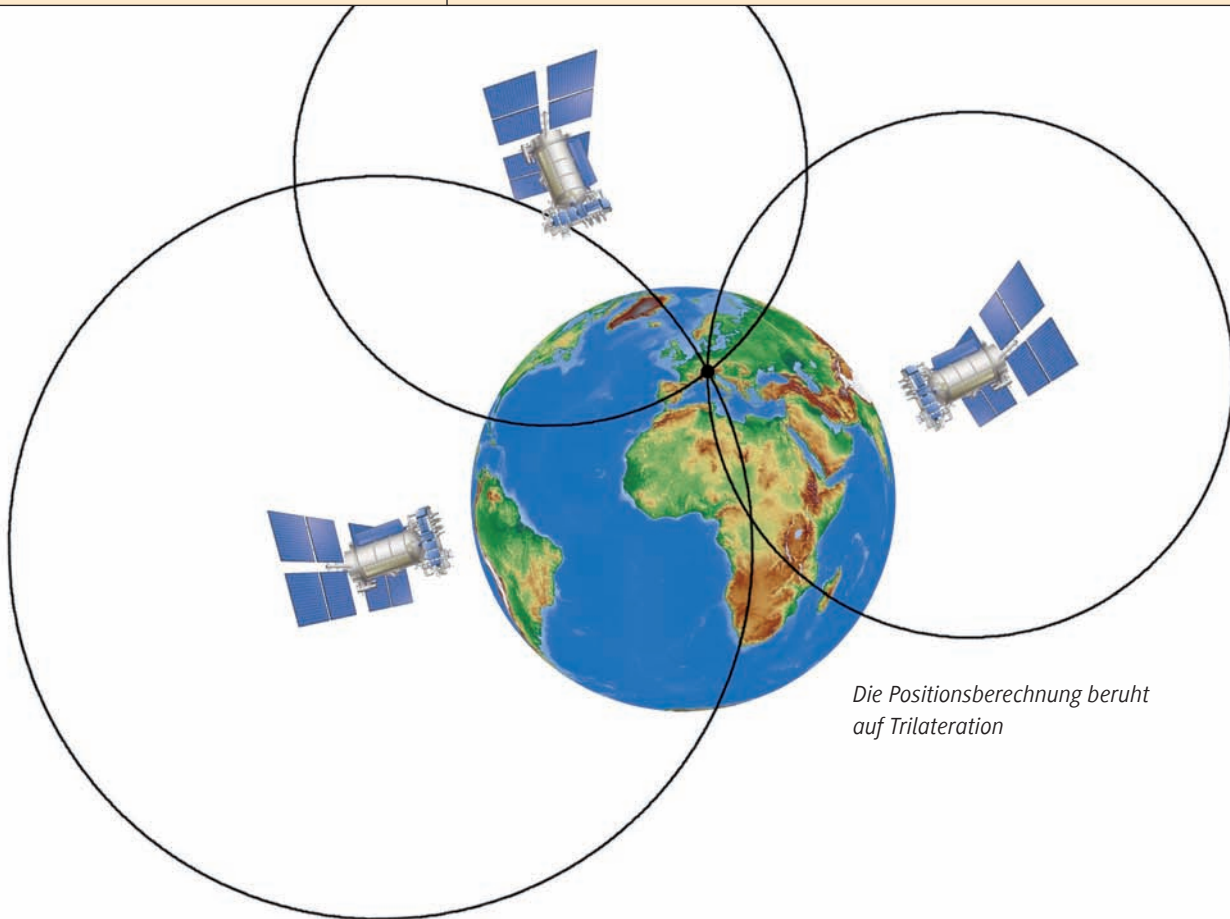
Aus dem nachgeregelterten Signal können nun die aufmodulierten Datenbits extrahiert →



Die Navigationsdaten können direkt aus dem demodulierten Satellitensignal extrahiert werden

Glossar

- CDMA:** Code Division Multiple Access
- FDMA:** Frequency Division Multiple Access
- FPGA:** Field Programmable Gate Array
- VHDL:** Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language



Die Positionsberechnung beruht auf Trilateration

werden. Diese Daten bilden die sogenannte «navigation message» der Satelliten. Darin sind Informationen wie der Almanach und die Ephemeriden enthalten, die Position und Flugbahn der Satelliten bekannt gegeben.

Navigationslösung berechnen

Zum Schluss muss nur noch die Position des Empfängers berechnet werden. Die Lösung beruht auf Trilateration. Dieser Ansatz wird bei allen satellitenbasierten Navigationssystemen angewendet. Dabei werden die Distanzen zwischen dem Empfänger und mindestens vier Satelliten gemessen. Diese Distanzen werden mittels der Ausbreitungszeit ermittelt, die die Satellitensignale zwischen dem Satelliten und dem Empfänger benötigen. Allerdings handelt es sich dabei um sogenannte Pseudoentfernungen, weil sie nicht mit den effektiven Distanzen übereinstimmen. Sie besitzen einen Fehler, der durch die ungenaue Empfängeruhr verursacht wird. Von den berechneten Satellitenpositionen aus werden nun Kreise, mit den gemessenen Pseudoentfernungen als Radien, untereinander geschnitten. Nun sollten sich alle Kreise in einem einzigen Punkt schneiden. Dieser Punkt kennzeichnet die Position des Empfängers.

Zur Positionsbestimmung sind nur drei sichtbare Satelliten nötig

Eigentlich wären nur drei sichtbare Satelliten nötig, um die Position zu berechnen. Durch

den Einsatz eines vierten Satelliten kann der oben genannte Fehler der Empfängeruhr zusätzlich bestimmt und eliminiert werden. Der Algorithmus für die Berechnung der Navigationslösung wurde nicht direkt im FPGA implementiert, sondern vollständig in Matlab geschrieben.

Die Berechnung der Benutzerposition erfolgt somit nicht direkt im FPGA, sondern wird auf einem PC ausgeführt. Die nötigen Daten werden vom GLONASS-Empfänger über eine RS 232-Schnittstelle zum PC gesendet. Mit unserem GLONASS-Empfänger sind wir nun in der Lage, unsere Position mit einer Genauigkeit von zirka 60 Metern zu bestimmen.

Wiederaufbau von GLONASS

Die russische Regierung sieht vor, die GLONASS-Konstellation bis zum Januar 2009 zu vervollständigen. Allerdings befinden sich dann noch einige alte Satelliten darunter, welche des Öfteren ausfallen. Spätestens bis 2011 sollen aber auch diese durch die neuen GLONASS-M-Satelliten der zweiten Generation ersetzt werden. Bereits jetzt wird über die dritte Satellitengeneration, GLONASS-K, heiss diskutiert. Nebst einer längeren Lebensdauer von zehn bis zwölf Jahren sollen diese zusätzliche Signale nach dem CDMA-Verfahren aussenden. Damit könnte GLONASS kompatibler gegenüber GPS und Galileo werden. Zudem könnten kombinierte GPS/GLONASS-Empfänger einfacher gebaut werden und

damit auch in günstigeren Navigationsgeräten anzutreffen sein.

Hausgemachtes GNSS-Monitoring

Der gebaute Empfänger erlaubt nun ein Rundum-die-Uhr-Monitoring aller zurzeit verfügbaren Navigationssatelliten (inklusive dem Galileo-Testsatelliten). Der Empfänger ist im Labor des Instituts für Kommunikationssysteme, ICOM, an der HSR stationiert und speichert die empfangenen Korrelationsresultate auf einem Server im Labor ab. Interessierte können sich unter <http://icom4u.hsr.ch> auf einer Google-Map-Anwendung über den gegenwärtigen Aufenthaltsort der unterschiedlichen Satelliten informieren. ◀

Literatur

N. Ramagnano, D. Tenud «GLONASS-Empfänger», November 2007. Diplomarbeit, HSR, Hochschule für Technik Rapperswil
«GLONASS Interface Control Document», Version 5.0, September 2002

Infoservice

Nicola Ramagnano, Dipl. El.-Ing. FH
Institut für Kommunikationssysteme, ICOM
HSR, Hochschule für Technik Rapperswil
Tel. 055 222 42 74
nicola.ramagnano@hsr.ch, www.icom.hsr.ch