SDR und GPS/GNSS – ein überzeugendes Konzept

Dieser Artikel befasst sich mit GPS/GNSS und damit, wie SDR hier vorteilhaft eingesetzt werden kann.

Es wird erörtert, wie Software Defined Radios (SDR) die Funkkommunikationsfähigkeiten von Global Positioning Systems (GPS) und Global Navigation Satellite Systems (GNSS) bereitstellen und wie die verschiedenen von den Satellitenkonstellationen stammenden Signale genutzt werden. Der Grund dafür: Mit der zunehmenden Zahl von Satellitenkonstellationen in der Erdumlaufbahn wird die Aufrechterhaltung der Funkkommunikation zu einer besonderen Herausforderung.

Was ist GPS/GNSS?

GNSS bezieht sich auf jede Satellitenkonstellation, die Positionierungs-, Navigations- und Zeitinformationen (PNT) für Nutzer auf der Erde bereitstellt. Ein Beispiel ist GPS, ein marktführender funkgestützter PNT-Dienst, der für militärische und zivile Zwecke entwickelt wurde.

Es gibt weitere GNSS-Konstellationen wie BeiDou, Galileo, Glonass, NavIC und QZSS. Die Verwendung mehrerer Satellitenkonstellationen und -bänder erhöht die Genauigkeit, Redundanz und Verfügbarkeit. Das International Committee of GNSS Provider‘s Forum hat Anstrengungen unternommen, um GNSS-Dienste unter Verwendung von L1C-Signalen interoperabel zu machen und die Empfängerkosten für die Endnutzer sowie die Komplexität zu verringern.

Jeder GPS-Satellit in der Konstellation ist mit einer Reihe von Atomuhren ausgestattet, um eine hochpräzise Zeit zu gewährleisten. Dies trägt zur Aufrechterhaltung der Referenzuhr und der Synchronisation bei, die für die Übertragung/den Empfang verschiedener Entfernungs-Codes und Navigationsmeldungen erforderlich sind.

Was sind GNSS-Empfänger? Was tun sie?

Man benötigt einen speziellen GNSS-Empfänger, um die von den GPS-Satelliten gesendeten Funksignale zu interpretieren. Es werden fortschrittliche Algorithmen angewandt, um den aktuellen Standort (z.B. Breitengrad, Längengrad) aus den Signalen zu bestimmen. Die Informationen, die ein solcher Empfänger liefert, können für eine Vielzahl von Anwendungen genutzt werden. Die meisten davon beruhen auf der Navigationslösung des Empfängers, d.h. der vom Empfänger berechneten Position, Geschwindigkeit und Zeit. Heutzutage sind die Empfänger auf miniaturisierte Plattformen, Chipsätze, Mikroprozessoren, integrierte Chips, FPGAs und Handheld-Geräte ausgedehnt worden einschließlich der Integration in die meisten Mobiltelefone.

Jeder GPS-Satellit sendet einen einzigartigen Pseudo-Random-Noise-Code (PRN) aus, der zur Schätzung der Entfernung zwischen der Satellitenantenne und der Antenne des Empfängers verwendet wird. Bei der gebräuchlichsten GNSS-Empfängerarchitektur gibt es Einfrequenz- und Mehrfrequenzempfänger (d.h. Empfänger, die PNT-Signale von verschiedenen GNSS-Konstellationen empfangen können), wie in Bild 1 dargestellt.

Viele Chipsätze und Module unterstützen derzeit mehrere Satellitenkonstellationen, die eine bessere Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit von Signalen in städtischen Umgebungen bieten, in denen es häufig zu Signalbehinderungen kommt.

Die GNSS-Empfänger führen kontinuierlich Schätzungen und Korrekturen durch, hauptsächlich für drei beobachtbare Parameter: Die Code-Verzögerung quantifiziert den Versatz zwischen der lokalen PRN-Code-Replik im Empfänger und dem eingehenden PRN-Code im Funksignal des Satelliten. Carrier Phase misst die scheinbare Entfernung zwischen Satelliten und Empfänger auf der Grundlage der zirkularen Polarisation der elektromagnetischen Signale. Die Dopplerverschiebung spiegelt die relative Bewegung zwischen der Antenne des Satelliten und der Antenne des Empfängers wider, zuzüglich eines gemeinsamen Offsets, der proportional zum Taktfrequenzfehler des Empfängers ist.

Wofür werden GNSS-Empfänger verwendet?

Die GPS-Funknavigation wird in verschiedenen Industriezweigen eingesetzt, darunter:

• Transportwesen

Verfolgung von rollendem Material, Lokomotiven und Waggons, Wartungsfahrzeugen, Streckenausrüstung usw.

• Luftfahrt

an Bord von Flugzeugen zum Austausch genauer Positions-

Quelle:
Software Defined Radio Use Case for GPS/GNSS
www.everythingrf.com/community/sdr-use-cases-1-gps-gnss
Per Vices Team, November 2021

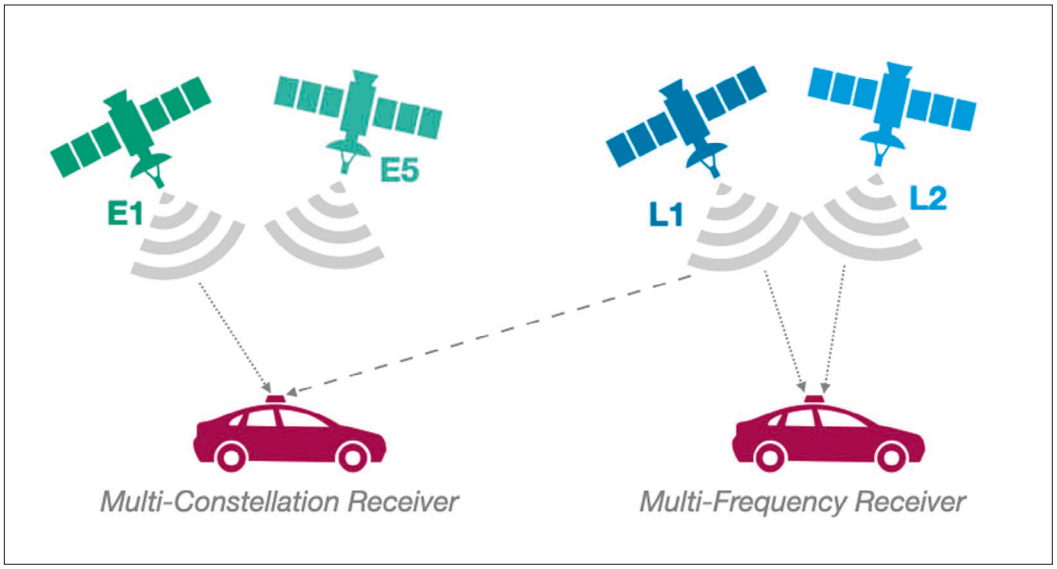

Bild 1: Mehrkonstellations- und Mehrfrequenzempfänger

daten mit der Flugsicherung am Boden, auf Flughäfen, um Start, Anflug und Landung von Flugzeugen zu unterstützen

• Telekommunikation

zur Ortung entfernter Anlagen, für Außendienstmitarbeiter und zur Durchführung von Tests zur Verbesserung der Netzabdeckung sowie zur Zeitsynchronisation

• Verteidigung

zur Navigation von Drohnen/UAVs, die bei der militärischen Überwachung/Aufklärung und im Kampf eingesetzt werden, sowie u.a. zur Steuerung von Raketen

Was sind GNSS-Erweiterungssysteme?

GPS-Signale sind anfällig für verschiedene Arten von Fehlern. Während die Fehlerkorrektur in Echtzeit mithilfe bekannter bodengestützter Referenzstationen üblich ist, könnte die absolute oder relative Genauigkeit der Positionsdaten weiter verbessert werden. Zu diesem Zweck werden die folgenden Kategorien von Erweiterungsdiensten angeboten:

Informationserweiterung durch ein bodengestütztes Verfolgungsnetz, das Signalfehlerkorrekturen und Integritätsinformationen berechnet. Anschließend werden die Daten über das Internet oder über Satellitenkommunikationskanäle an die Nutzer übertragen. Die Signalerweiterung hingegen bezieht sich auf Systeme, die zusätzliche Entfernungssignale liefern, um die bereits vom GPS gelieferten Signale zu ergänzen.

Die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation ICAO unterscheidet zwischen satellitengestützten (SBAS) und bodengestützten Systemen. Die verschiedenen Arten von Augmentierungssystemen werden für unterschiedliche Zwecke eingesetzt (Bild 2).

Erweiterungsdienste bieten differenzielle GPS-Korrekturen (DGPS) und Integritätsprüfungen in der Nähe von Flughäfen, die nicht über ein Instrumentenlandesystem (ILS) verfügen. Der Wide Area Augmentation Service beispielsweise ist ein Navigationshilfsmittel zur Verbesserung der Genauigkeit, Integrität und Verfügbarkeit von GPS. Er ermöglicht es Flugzeugen, alle Flugphasen sicherer zu durchfliegen. Der Local Area Augmentation Service ist ein Allwetter-Landesystem, das auf DGPS-Korrekturen basiert, die über omnidirektionale VHF-Datenübertragung in kritischen Gebieten für das Terminal-, Anflug- und Landesegment der Flugroute bereitgestellt werden.

Andere Länder haben ihre eigenen Ergänzungssysteme, wie z.B. China BDSBAS, Europa EGNOS, Russland SDCM, Indien GAGAN, Japan MSAS, Kanada CDGPS, Australien SouthPAN, Südkorea KASS und Afrika ASECNA.

Wie werden GNSS-Leistungskennzahlen bewertet?

Die Zivilluftfahrt hat Anforderungen an GNSS in Form von RNP-Normen (Required Navigation Performance) aufgestellt. Sie umfassen:

• Genauigkeit

Diese wird ausgedrückt in NVE als Differenz zwischen der tatsächlichen Position des Flugzeugs und der von der GPS-Ausrüstung in der Luft gelieferten Position. SBAS stellt die Einhaltung der Genauigkeitsanforderungen sicher, indem es dem Nutzer Korrekturen der Satellitenbahn- und Taktfehler sowie der ionosphärischen Ausbreitungsfehler zur Verfügung stellt.

• Integrität

Diese wird ausgedrückt durch den User Differential Range Error (UDRE), die Kovarianzmatrix der Uhrenephemeriden und den Ionosphären-Vertikalfehler (GIVE). Der Dual Frequency Range Error (DFRE) ist ein kritischer Parameter bei SBAS.

• Kontinuität

Diese wird ausgedrückt in der Wahrscheinlichkeit, dass die Betriebsleistung über einen bestimmten Zeitraum aufrechterhalten wird. Es ist die Fähigkeit des Gesamtsystems, seine Funktionen ohne Unterbrechung während des vorgesehenen Betriebs zu erfüllen.

• Verfügbarkeit

Diese wird ausgedrückt als prozentualer Anteil der Zeit, in der die GPS-Dienste innerhalb des festgelegten Abdeckungsbereichs für den Navigator nutzbar sind. Sie ist abhängig von den physikalischen Eigenschaften der Umgebung und den technischen Möglichkeiten der Sender.

Und wie passt ein SDR in ein GNSS? Da SDR-Geräte den Empfang von Funksignalen unterstützen können, die von jeder GNSS-Konstellation stammen, sind sie flexibel genug, um für den Aufbau eines Empfängers mit mehreren Konstellationen verwendet zu werden.

Was ist software-definierter Funk?

Eine SDR-Plattform, wie die in Bild 3 gezeigte, ist ein Funkkommunikationssystem, bei dem Software viele Funktionen wie Mischen, Filtern, Modulation usw. übernimmt, die traditionell in analoger Hardware stattfanden und jetzt mit digitalen Komponenten und eingebetteter System-on-a-Chip-Technologie ausgeführt werden. Sie bietet eine längere Lebensdauer der Geräte und Anpassungsfähigkeit an sich ändernde GPS/GNSS-Übertragungsverschlüsselungsstandards, Wellenformen, Protokolle und mehr.

SDR kann man sich als programmierbare Hardware vorstellen, die auf kostengünstigen Mehrzweckprozessoren, verschiedenen Mikrowellen-Chips und FPGAs aufgebaut ist. Das System enthält ein Radio Frontend (RFE) für eine breite Bandbreitenabdeckung und ein digitales Backend für die Verarbeitungsfunktionen.

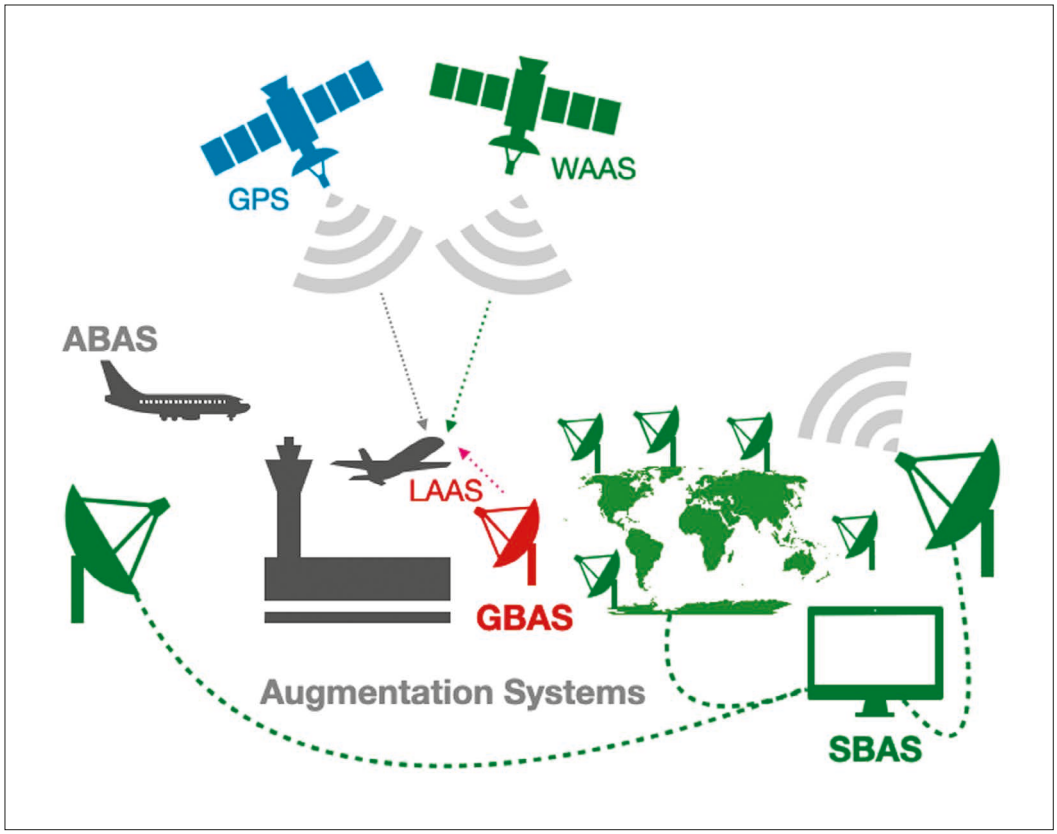

Bild 2: Verschiedene Arten von Augmentierungssystemen werden für unterschiedliche Zwecke eingesetzt

Das RFE umfasst MIMO-Funktionsplatinen für die Übertragung (Tx) und den Empfang (Rx) von Multi-Input-Multi-Output-Signalen einschließlich Verstärker, Modulatoren und Demodulatoren, Filter, ADC und DAC. Das digitale Backend umfasst FPGAs für verschiedene digitale Signalverarbeitungen, wie z.B. Decodierung, Demodulation, Fehlerkorrektur von GPS-Signalen usw.

Im Vergleich zu herkömmlichen GNSS-Empfängern, die sperrig und hardware-definiert sind und eine begrenzte Funktionalität aufweisen, sind die SDR-Plattformen modular, kompakt, leicht aufzurüsten oder neu zu konfigurieren und bieten eine wesentlich höhere Genauigkeit.

Herausforderungen beim Empfang von GPS/GNSS-Signalen

Ein GNSS-Empfänger, der HF-Signale erfasst, muss kontinuierlich die folgenden Aufgaben erfüllen:

• Erfassung

Die Erfassung bestimmt die im Empfangsbereich sichtbaren Satelliten. Der Empfänger muss die Ausbreitungsverzögerung der Funkwellen und die Dopplerverschiebung der einzelnen Satelliten abschätzen. Dazu werden DFT- und IDFT-Verfahren eingesetzt.

• Nachverfolgung

Die Verfolgung umfasst die Verfeinerung der Schätzungen der Funkwellen-Ausbreitungsverzögerung und der Dopplerverschiebung sowie die Verfolgung von Änderungen dieser Merkmale im Laufe der Zeit. Hierfür werden DLL- und PLL-Techniken verwendet. Die Verfolgung der einzelnen Satelliten wird im DSP-Bereich durchgeführt. Jede HF-Signalquelle wird als eine Kette behandelt. Das HF-Signal an der Antenne wird verstärkt, in eine Basisband- oder Zwischenfrequenz umgewandelt, gefiltert und kontinuierlich in Abtastwerte digitalisiert und an ein Host-System gesendet, wo die Verfolgung in Software möglich ist.

• Navigation

Die Navigation besteht aus Messungen aller sichtbaren Satelliten im Bereich, um die Position, die Geschwindigkeit und das Timing des Empfängers zu schätzen.

Wenn sich ein Niederfrequenzsignal durch die Atmosphäre bewegt, ändert sich seine Geschwindigkeit aufgrund atmosphärischer Störungen. Die GPS-Zentrale wendet atmosphärische Modelle an, um Frequenzfehler zu bewerten und sie von Zeit zu Zeit zu aktualisieren. Ein Empfänger kann direkte Signale nicht von mehreren Mehrpfadsignalen unterscheiden. Dieses Problem muss in der Verfolgungsschleife mithilfe von SNR-Optimierung, Korrelationsmethoden und Wavelet-Filtertechniken angegangen werden.

Die Erfassung, Verfolgung und Navigation von GPS-Signalen kann durch die folgenden Faktoren beeinträchtigt werden:

• Exzentrizität des Orbits
• Uhrzeiten
• Ionosphäre
• Troposphäre
• Code-Mehrweg
• C/A-Code-Rauschen
• Trägermehrweg
• L1-Trägerrauschen
• Antennen-Phasenzentrumsvariation

GPS-Signale sind extrem schwach und anfällig für Störungen. Sie können mit kostengünstigen Störsendern oder durch Interferenzen aus der Ionosphäre blockiert werden. Mithilfe von Simulatoren lassen sich falsche GPS-Signale erzeugen, die einen Empfänger zur Berechnung einer falschen Position verleiten.

Es gibt auch einen Mangel an Signalverfügbarkeit aufgrund von Hindernissen oder einer Signalschwäche oder einer Verwässerung der Genauigkeit, was zu Fehlern führt, die durch die relative Position der Satelliten im 3D-Raum entstehen. Außerdem wirkt sich die Anordnung der Satelliten im Raum auf die Genauigkeit der Positionsbestimmung aus. Es gibt eine ideale Anordnung von Satelliten, um genaue Signale zu übertragen. In der Regel befindet sich ein Satellit direkt über dem Boden und andere sind gleichmäßig in der Nähe des Horizonts verteilt. So sind beispielsweise in der Nähe von Hochhäusern in städtischen Gebieten Überkopfsatelliten vorteilhaft.

Die Erfassung von GPS-Signalen mit mehreren Frequenzen hilft bei der effizienteren Fehlerkorrektur. Die Erfassung von GNSS-Signalen in mehreren Konstellationen bietet Redundanz, allerdings um den Preis einer höheren Komplexität.

Wo wird SDR in einem GPS/GNSS eingesetzt?

Eine SDR-Plattform eignet sich besonders für folgende Anwendungen:

• Augmentierungssysteme

da es sich um ein extrem leistungsfähiges Gerät handelt, das eine hohe Phasenstabilität

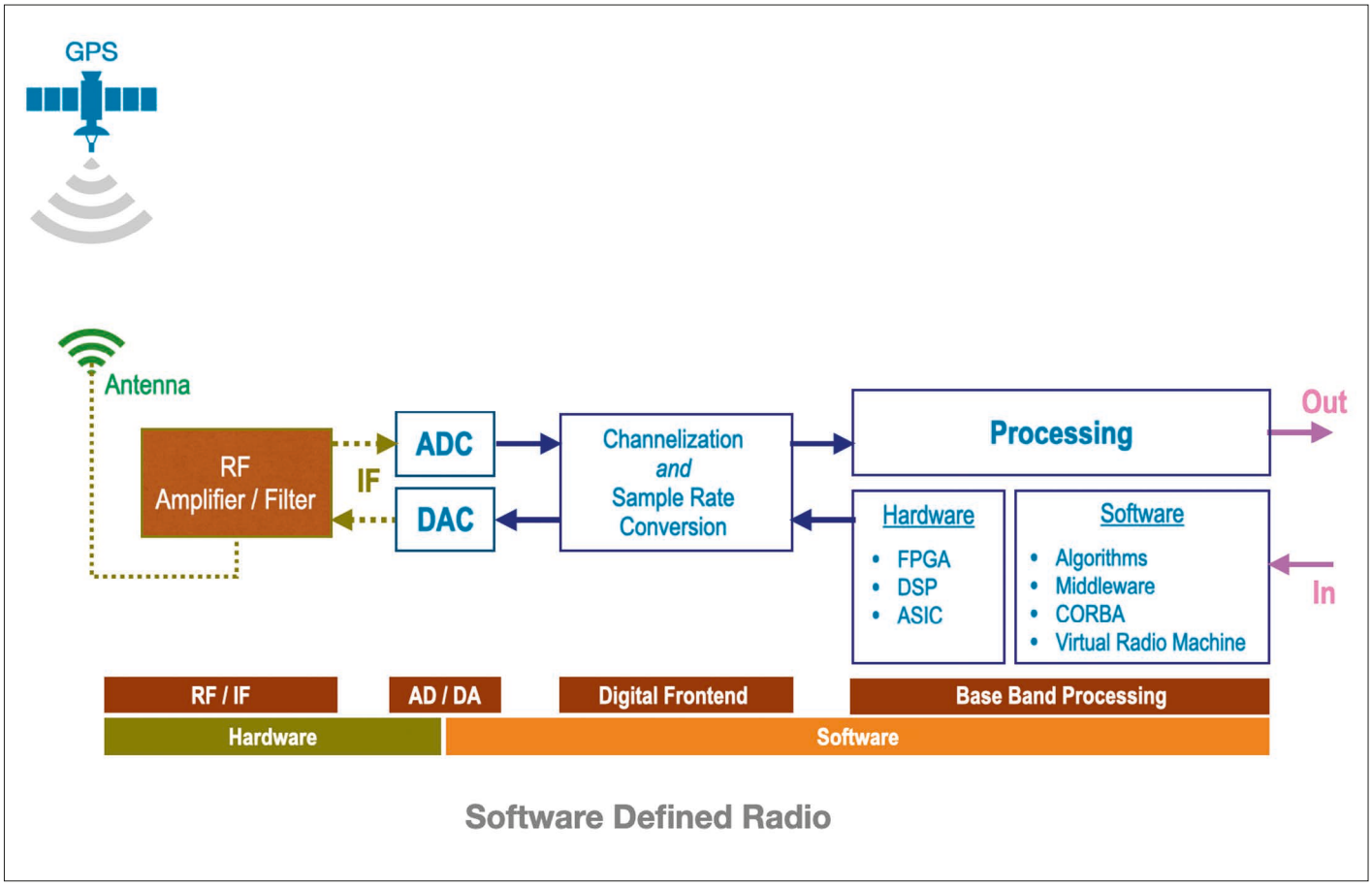

Bild 3: Die verschiedenen Komponenten einer SDR-Plattform unterstützen die Funktion von GNSS-Systemen

und Komponenten bietet, die aufgrund des hohen SNR und SFDR auch schwächste Signale erkennen können

- Test eines GNSS-Empfängers

um zu sehen, wie SDR mit Jamming- oder Spoofing-Angriffen fertig wird. Dies ist für die Entwicklung neuer Systeme unerlässlich und kann durch GPS-Signalsimulationen erreicht werden.

- Simulation eines Multikonstellationsempfängers

z.B. für selbst fahrende Autos, Drohnen mit großer Reichweite oder Möglichkeiten zur Verhinderung von Spoofing-/Störangriffen usw.

- Track&Trace-Lösungen

wie Standortverfolgungsdienste oder sicherheitskritische Navigationssysteme

GNSS-Systeme werden von den Betreibern laufend aufgerüstet, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu erhöhen. Die Erweiterungssysteme werden regelmäßig aktualisiert. Typische Hardware-Empfänger sind in diesem vielschichtigen, sich ständig ändernden Kontext im Nachteil, während SDR-Plattformen an die neuen Anforderungen angepasst werden können.

Vorteile von SDR-Plattformen in GPS/GNSS-Anwendungen

SDRs können sich auf mehrere Satellitenkonstellationen einstellen, verschiedene Protokolle einsetzen und schnell aufrüsten, wenn neue Protokolle verfügbar sind. Da die Signalverarbeitung in der Software und nicht in der Hardware erfolgt, ist eine digitale Abwärts-/Hochkonvertierung und Filterung auf FPGAs möglich, was einen robusten und genauen Empfang von GNSS-Signalen ermöglicht. SDR unterstützt mehrere Latenz- und Zuverlässigkeitskonfigurationen, eine einfach zu bedienende Web-Schnittstelle und Kompatibilität mit USRP-Hardware-Treibern. SDR bietet eine einstellbare Kanalkapazität. Es kann viele DSP-Kanäle verwenden, um mit mehreren Satelliten gleichzeitig zu kommunizieren. Per Vices‘ Cyan SDR (Aufmacherfoto) bietet beispielsweise die Flexibilität, die Kapazität zu erweitern und unterstützt maximal 64 Kanäle. SDR unterstützt Filterung/Nachbarkanalunterdrückung.

Die kinematische Echtzeitpositionierung (RTK) wird in der Vermessung eingesetzt, die eine höhere Präzision erfordert. RTK verwendet eine einzige feste Basisstation und mobile Rover-Stationen, um Positionsfehler zu reduzieren. Die Basisstation überträgt Korrekturdaten an die Rover. Anstelle der code-basierten Positionsbestimmung wird auf trägerbasierte Entfernungsmessung zurückgegriffen. Um häufige Fehler im derzeitigen Satellitennavigationssystem zu korrigieren, stützt es sich auf Trägerphasenkorrekturen. CORS ist ein Netz von RTK-Basisstationen, die Korrekturen in der Regel über das Internet übertragen, um eine falsche Initialisierung einer einzelnen Basisstation zu vermeiden.

Zusammengefasst

Durch den Einsatz flexibler, programmierbarer und relativ kostengünstiger Hardware bietet das SDR-Konzept Vorteile für Anwendungsentwickler und Nutzer, die auf den von GNSS-Konstellationen angebotenen PNT-Diensten basieren. Man gewinnt die volle Kontrolle über Innovationen und Anpassungen, da die Änderungen in der Software vollständig in der eigenen Hand liegen und die HF-Hardware in einem einzigen Gerät bereitgestellt wird, das leistungsfähig genug ist, um jede Ebene der Komplexität und digitalen Signalverarbeitung zu bewältigen. Punktum: Mit SDR kann man fast alles in der Funkkommunikation realisieren. ◄