



© oselote | AdobeStock

Störfestigkeit und Störerunterdrückung verifizieren

Sichere Navigation mit GNSS-Signalen

Beim automatisierten Fahren spielt GNSS eine wichtige Rolle. Um Störquellen aufzuspüren und die ausgesendeten Störsignale unterdrücken zu können, müssen GNSS-Empfänger mehrkanalig ausgelegt sein. Für die Verifizierung von Störfestigkeit und Störerunterdrückung hat Rohde & Schwarz eine Lösung entwickelt.

Sebastian Kehl-Waas und Dr. Markus Irsigler

Nicht nur militärische Fahr- und Flugzeuge sind auf störungsfreie GNSS-Signale angewiesen. Hier unterdrücken in der Regel Anti-Jam-Systeme durch räumliche Filterung die Signale aus Störquellen. In ähnlicher Weise können solche Lösungen auch die Satelliten-Navigationssignale für das autonome Fahren und Fliegen vor Störsignalen schützen. Damit GNSS-Empfänger Störquellen aufspüren und die ausgesendeten Störsignale unterdrücken können, müssen sie mehrkanalig ausgelegt sein. So kann durch die phasenkohärente Signalverarbeitung der Signale mehrerer Antennen die Signaleinfallsrichtung des Störers bestimmt und der Störer ausgeblendet werden. Rohde & Schwarz bietet eine Lösung an, mit der sich die Störfestigkeit und Störerunterdrückung verifizieren lässt.

Mehrkanalempfänger können Signale mehrerer verteilter Empfangsantennen oder eines Antennen-Arrays gleichzeitig verarbeiten. Das lässt sich nutzen, um mit Signalanalysemethoden einerseits Rückschlüsse auf die Richtung der einfallenden Signale zu ziehen und andererseits das Antennendiagramm derart anzupassen, dass unerwünschte Signale ausgeblendet werden.

Bei der GNSS-basierten Positionsbestimmung bedeutet das, dass Satelliten-Navigationssignale (GNSS) verstärkt und Jamming- oder Spoofing-Signale, die vom Boden oder aus

der Luft ausgehen unterdrückt werden können. Wurde die Technologie bisher vor allem für militärische Anwendungen eingesetzt, kann sie künftig auch einen wichtigen Beitrag zur robusten Navigation beim automatisierten Fahren und Fliegen liefern. Typische Störquellen sind hier Harmonische von Sendern in der Umgebung, Tactical-Air-Navigations- und zivil genutzte DME-Signale zur Flugnavigation oder auch LTE-Signale. Zudem finden sogenannte Personal Privacy Devices (PPD) immer weiter Verbreitung. Das sind GNSS-Jammer, die durch das Abstrahlen von Schmal- oder Breitbandsignalen die GNSS-Positionierung stören. Eine neue Lösung von Rohde & Schwarz ermöglicht es die Robustheit von GNSS-Empfängern gegenüber Störsignalen umfassend zu prüfen, bei Bedarf auch innerhalb einer realitätsnahen Hardware-in-the-Loop-Umgebung (HiL).

Mehrkanalige GNSS-Empfänger zur Störsignalunterdrückung

Zur Unterdrückung ungewollter Signale nutzen GNSS-Empfänger oft sogenannte Controlled Reception Pattern Antennas (CRPA). Diese bestehen aus einem Antennen-Array und einer Signalverarbeitungseinheit. Die angeschlossenen Antennen sind dabei streng geometrisch angeordnet, um eine

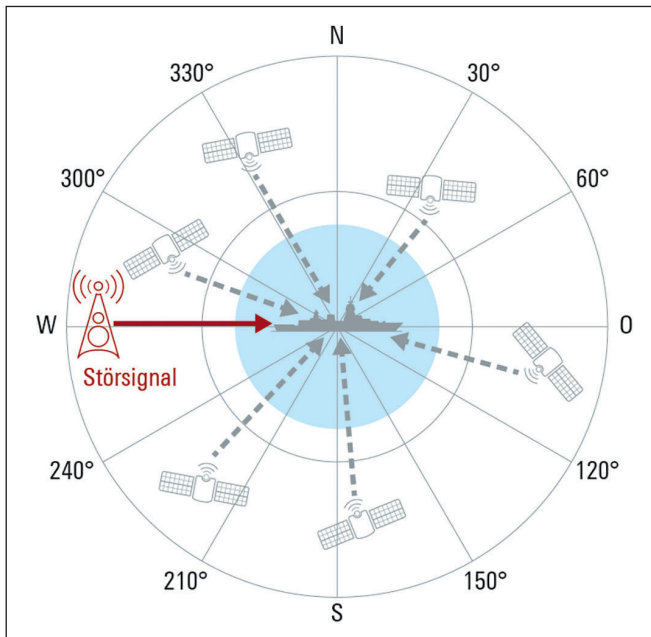


Bild 1a: Diese GNSS-Empfangsantenne hat nur ein Element, ihre Charakteristik lässt sich also nicht modifizieren. Ein Störsignal ausreichender Stärke kann dazu führen, dass der Empfänger die Signale nicht mehr verarbeitet und satellitenbasiertes Navigieren nicht mehr möglich ist. © Rohde & Schwarz

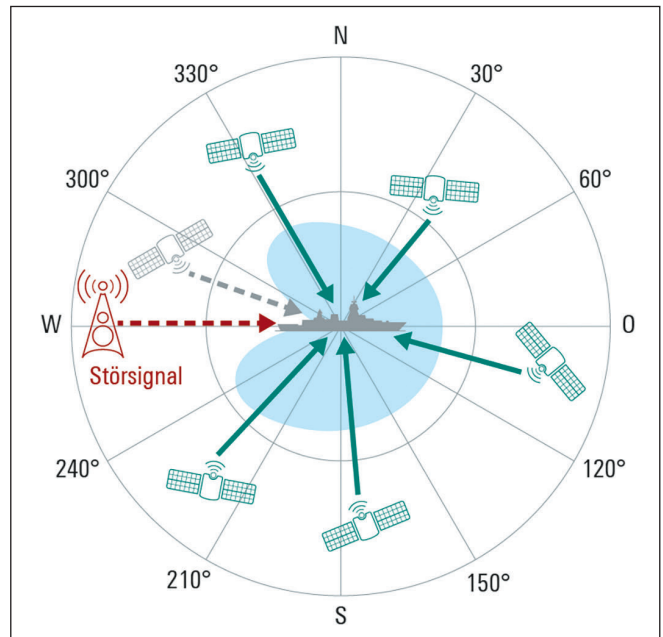


Bild 1b: Im Gegensatz zur Einzelantenne lässt sich die Charakteristik von Antennen-Arrays durch Kombination und Gewichtung der Empfangssignale anpassen. Das Störsignal wird in der Einfallsrichtung unterdrückt, und die GNSS-Signale können empfangen werden. Nachteil: GNSS-Signale aus der Richtung des Störsignals werden ebenfalls unterdrückt. © Rohde & Schwarz

vollständige Abdeckung aller möglichen Einfallsrichtungen zu erreichen. Durch geeignete Gewichtung der Signale der Einzelantennen in der Signalverarbeitungseinheit lässt sich die Gesamtempfangscharakteristik des Antennen-Arrays verändern (**Bild 1**). So werden Störsignale entweder gezielt ausgeblendet (Nulling) oder der Empfang der gewünschten GNSS-Signale in deren Einfallsrichtungen verstärkt (Beamforming). Eine Kombination beider Methoden ist ebenfalls machbar. Die Antennen-Arrays bestehen typischerweise aus vier bis sieben Antennenelementen. Je mehr Elemente, umso mehr Störsignale können gleichzeitig unterdrückt werden.

Anforderungen an das Testsystem

Für Tests an GNSS-Empfängern, die CRPA nutzen, bietet Rohde & Schwarz ein Testsystem an. Dieses fungiert zum einen als mehrkanaliger GNSS-Simulator und berücksichtigt dabei alle Aspekte eines Satellitennavigationssystems. Hierbei müssen die Signale aller gängigen Satellitensysteme in allen GNSS-Frequenzbändern erzeugt werden, unter Berücksichtigung von korrekten Satellitenorbits, der Signalausbreitungseigenschaften sowie einer realistischen Modellierung der sich dynamisch ändernden Empfangsumgebung. Des Weiteren ist die Konfiguration des Antennen-Arrays hinsichtlich Geometrie und Empfangseigenschaften der Einzelantennen einzubeziehen.

Simulation der Störsignale

Zudem kann die Lösung gleichzeitig störende Jamming- oder Spoofing-Signale generieren, um die Störunterdrückungsfunktionen des DUTs prüfen zu können. Zur freien Konfiguration von Störern mit sehr großer Sendeleistung ist ein zwei-





UNSERE MOBILITÄT VERÄNDERT SICH. WIR TESTEN IHRE TECHNOLOGIEN.

Unsere flexiblen Testlösungen sorgen für die Sicherheit Ihrer Produkte. **Von der Validierung bis zur Produktion.**



ATE Stuttgart
21. – 23. Juni 2022
Halle 10
Stand 1450

ADAS. E-MOBILITY. CONNECTIVITY.



Bild 2: Vierkanaliges GNSS-Testsystem aus zwei Vektorsignalgeneratoren R&S SMW200A und einem Analogsignalgenerator R&S SMA100B für das LO-Signal (links). Das Testsystem zur Erzeugung der Störsignale (rechts) besteht ebenfalls aus zwei Vektorsignalgeneratoren R&S SMW200A und einem Analogsignalgenerator R&S SMA100B für das LO-Signal. © Rohde & Schwarz

tes, identisches Testsystem notwendig. Dabei hilft die R&S Pulse Sequencer Software bei der Definition von komplexen Störszenarien. Die Szenarien decken Anforderungen wie lange Simulationszeiten, bewegte Störer und GNSS-Empfänger, benutzerdefinierte Antennendiagramme sowie Antennenscans ab. Darüber hinaus berechnet die Software die korrekte Amplitude, Phasenlage und Laufzeit der Signale in Abhängigkeit von Signalfrequenz, Antennenanordnung und Position von Sendern und Empfängern im dreidimensionalen Raum für jedes einzelne Antennenelement. Die Signalerzeugung übernimmt dabei der High-end-Vektorsignalgenerator R&S SMW200A.

Für die Tests müssen für jeden Antenneneingang des GNSS-Empfängers sowohl das gewollte GNSS-Signal als auch die ungewollten Signale der Störer erzeugt werden. Zum Testen eines CRPA-Empfängers mit vier Antenneneingängen werden somit vier Signalquellen für die Erzeugung der GNSS-Signale und vier weitere Signalquellen zur Generierung der Jammer-Signale benötigt. **Bild 2** zeigt zwei Testsysteme, mit denen man sowohl gekoppelte GNSS-Signale als auch Jammer-Signale für einen vierkanaligen CRPA-Empfänger erzeugen kann.

Kalibrierung gegenüber dem Prüfling

Um die Einfallsrichtung der Satelliten- und Störsignale korrekt zu simulieren, müssen die Testsysteme an der HF-Schnittstelle zum DUT in Bezug auf Amplitude, Phase und Laufzeit kalibriert sein. Das heißt Amplituden-, Phasen- und Laufzeitunterschiede zwischen den einzelnen HF-Pfaden, die sich beispielsweise durch Kabel oder HF-Komponenten ergeben, werden kompensiert. Durch geeignete Synchronisation werden die Vektorsignalgeneratoren jedes Systems phasenkohärent gekoppelt. Ein analoger High-End-HF-Signalgenerator R&S SMA100B liefert jeweils das gemeinsame LO-Signal.

Mithilfe der R&S RF Ports Alignment Software lässt sich das komplette System an einer frei wählbaren Referenzebene in Bezug auf Amplitude, Phase und Laufzeit kalibrieren, sodass die Eigenschaften des Testsystems nicht die simulierten Signalunterschiede zwischen den einzelnen Antennen

verfälschen. Die notwendigen Messungen werden mit einem Vektor-Netzwerkanalysator durchgeführt.

Die beiden Testsysteme müssen nicht relativ zueinander kalibriert werden. Für die Simulation realistischer Szenarien ist es ausreichend GNSS- und Störersimulation zeitgleich zu starten, da auch in der Realität in der Regel kein Bezug zwischen GNSS-Satelliten und Störquellen besteht.

Einbindung in eine HiL-Umgebung

Das GNSS-Testsystem lässt sich zudem in eine HiL-Umgebung einbetten. Dabei streamt ein Rechner mit hoher Datenrate das Bewegungsprofil des zu testenden GNSS-Empfängers mit Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Fahrzeuglageinformationen an das Testsystem. Dieses generiert dazu in Echtzeit das entsprechende Satellitennavigationssignal. Das erfordert sehr hohe Update-Raten und geringe Latenzen.

Fazit

Mehrkanalige GNSS-CRPA-Empfänger verbessern die Navigation von Land- und Luftfahrzeugen jeglicher Art erheblich. Mit dem neuen Testsystem von Rohde & Schwarz lassen sich Testsignale sowohl für die GNSS- als auch die Störersimulation mehrkanalig und realistisch erzeugen. Für Tests in einer HiL-Umgebung ist es auch möglich, Bewegungsdaten an das GNSS-Testsystem zu streamen. ■ (eck)

www.rohde-schwarz.com



Sebastian Kehl-Waas ist Applikationsingenieur für Signalgeneratoren bei Rohde & Schwarz.

© Rohde & Schwarz



Dr. Markus Irsigler ist Produktmanager GNSS bei Rohde & Schwarz.

© Rohde & Schwarz