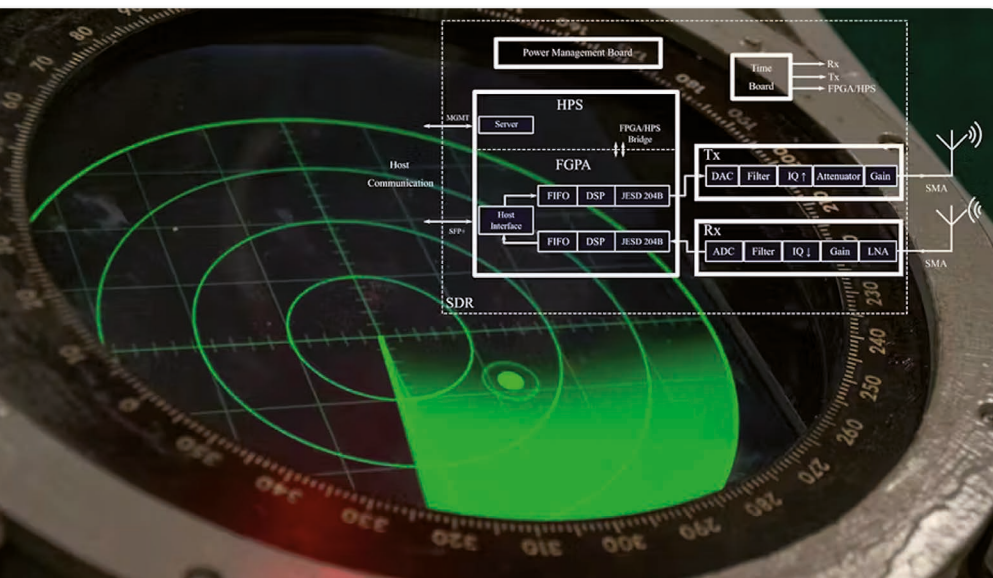


Die Bedeutung der SDR-Technik für Militär und Verteidigung



In der Welt der RF für Militär und Verteidigung bringen SDRs viele Vorteile für Anwendungen wie Radar-Transceiver, Frequenzüberwachung und elektronische Kriegsführung. Gezeigt wird hier, wie software-definierte Funkanwendungen in verschiedene verteidigungsbezogene Rollen passen und welche Bedeutung sie für Anwendungen im Bereich der elektronischen Kriegsführung haben.

Hintergrund

Die Militär- und Verteidigungsindustrie ist stark auf fortschrittliche Funktechnologie angewiesen, um ihre Operationen effektiv und sicher durchzuführen. Von Kommunikationssystemen bis hin zu Radargeräten spielt das Verständnis und die Interaktion mit Radiofrequenzen eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung der nationalen Sicherheit.

In den letzten Jahren haben sich SDRs als die nächste Generation von drahtlosen Systemen herauskristallisiert und die Art und Weise revolutioniert, wie Militär- und Verteidigungsorganisationen arbeiten. Mit ihrer Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit haben SDRs erhebliche Auswirkungen auf Schlüsselmärkte wie Radar, Frequenzüberwachung und -aufzeichnung sowie elektronische Kriegsführung.

Wie HF-Geräte in Verteidigungsrollen passen

Seit den Anfängen des analogen Funkgeräts sind HF-Transceiver ein integraler Bestandteil von Kriegs- und Verteidigungsoperationen, insbesondere angesichts des enormen strategischen Vorteils, der durch drahtlose Kommunikation in taktischen Missionen eingeführt wurde.

Mit der Weiterentwicklung von Funk zu modernen software-basierten Systemen wurden SDRs zu einem entscheidenden Gerät für den Einsatz über Telekommunikationssysteme hinaus und in hochspezialisierte

und komplexe HF-Anwendungen. Solche Anwendungen erfordern nicht nur den Austausch von Daten durch die Luft, sondern auch eine detaillierte Analyse der elektromagnetischen Signale, eine hohe Rekonfigurierbarkeit/Anpassbarkeit und Datenschnittstellen mit hohem Durchsatz für die Integration mit Host-Computern, um die Fernsteuerung und Überwachung zu ermöglichen.

In militärischen Radarsystemen stellen HF-Geräte das Herzstück der Operation dar. Ein Radarsystem überträgt eine benutzerdefinierte Wellenform, die in alle Richtungen der interessierenden Region gesendet wird. Es empfängt/decodiert dann die reflektierten Signale, um Positions- und Geschwindigkeitsinformationen über ein bestimmtes Ziel zu erhalten. Daher muss es mindestens eine Senderkette, eine Empfängerkette, einen Duplex-Schalter und ein digitales Backend zur Wellenformerzeugung und Signalverarbeitung realisieren.

Auf der Senderseite können mehrere Parameter die Leistung einschränken, darunter die Auflösung der digital-analogen Umwandlung der Wellenform, die spezifischen Frequenzen, die über den Sender übertragen werden, und die Ausgangsleistungsverteilung der Antenne. Auf der Empfängerseite muss die Funkkette eine ausgezeichnete Phasenstabilität und Kohärenz aufweisen, um das Signal genau zu empfangen und zu mischen. Darüber hinaus muss es einen hohen Dynamikbereich und eine niedrige Rauschzahl bieten, um die empfangene Reflexion dynamisch zu dämpfen / zu verstärken, um Unordnung/Störungen zu beseitigen bzw. zu reduzieren.

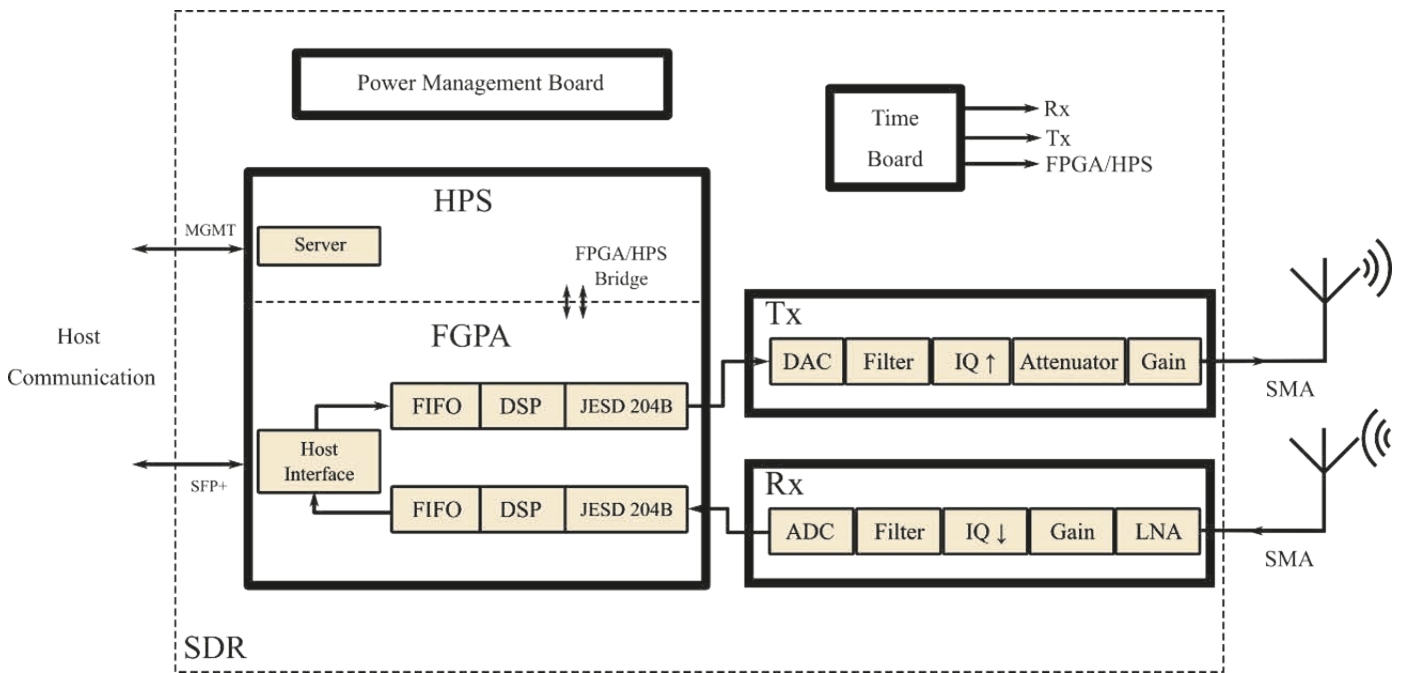
Darüber hinaus wurden Strahlenkungs-/Strahlformtechniken weitverbreitet implementiert, um die Auswirkungen von Verklemmen und Interferenzen zu reduzieren und die empfangene Leistung an bestimmten Stellen zu verringern. In diesem Fall sind MIMO-Systeme mit leistungsstarkem Parallel-Computing und hoher Phasenstabilität entscheidend, um Leistung und Präzision zu nutzen.

In Bezug auf Software müssen die DSP-Funktionen des digitalen Backends eine Berechnung mit sehr geringer Latenz und eine Datenschnittstelle mit hohem Durchsatz mit dem Host-Netzwerk bieten, um zu verhindern, dass Informationen verlorengehen,

Quelle:

The World of RF for Military and Defense
Brendon McHugh
Per Vices Corp.
www.pervices.com

übersetzt von FS



Ein High-Level-Diagramm eines SDR zeigt die Hauptfunktionen jeder Platine, einschließlich des RFE, des digitalen Backends, der Stromverteilung und der Takterzeugung.

während schnelle Ziele verfolgt werden. Für Anti-Jamming-Techniken, wie Frequenzhüpfen, muss das digitale Backend in der Lage sein, Leistungsschwellen schnell zu erkennen und das Wellenform- und Modulationsschema entsprechend anzupassen.

Spektrumüberwachung

Eine weitere Anwendung von HF-Geräten, die für die moderne Kriegsführung von entscheidender Bedeutung ist, ist die Frequenzüberwachung, insbesondere wenn man bedenkt, dass die meisten taktischen Bemühungen stark auf drahtlose Kommunikation und elektromagnetischen Angriffen beruhen. Spektrumüberwachung ist der Prozess der Analyse und Überwachung der Nutzung des elektromagnetischen Spektrums zum Zweck der Erkennung von HF-Interferenzen, der Überwachung der kontradiktorischen Kommunikation und der Funkaktivität und der Erlangung des Situationsbewusstseins auf dem Schlachtfeld.

HF-Geräte müssen mehrere Schlüsselfunktionen bieten, um die Frequenzabdeckung und die Hochleistungserkennung zu gewährleisten. Zunächst muss der Empfänger des Radiofrontends (RFE) eine große Abstimmungsreichweite und eine hohe momentane Bandbreite bereitstellen, so dass dasselbe Gerät zur Abdeckung einer Vielzahl von Signalen verwendet werden kann.

Darüber hinaus können MIMO-Geräte mit unabhängigen Kanälen die Spektrumabdeckung deutlich erweitern, indem sie jedem

Kanal einen Bandbreitenanteil zuordnen, der die effektive Spektrumabdeckung erhöht und die Wahrscheinlichkeit der Erkennung von Signalen maximiert. Der spornlose Dynamikbereich (SFDR) des Funkgeräts beeinflusst die Genauigkeit der Messungen erheblich; somit wird die Auswahl von SDRs mit hohem SFDR die Leistung sicherlich verbessern.

Auf der Software-Seite ist ein leistungsstarkes digitales Backend für den Umgang mit den riesigen Datenmengen von grundlegender Bedeutung, insbesondere bei der Implementierung mehrerer Kanäle. In diesem Fall sind FPGAs mit On-Board-DSP-Funktionen der richtige Weg, da sie eine Berechnung mit sehr geringer Latenz bieten und parallele Berechnungen ohne größere Hardware-Spezialisierung verarbeiten können. Darüber hinaus muss das FPGA Hochdurchsatz-Schnittstellen mit Host-Computern und Speicherlösungen anbieten, um die Integrität der Messdaten zu gewährleisten.

Elektronische Kriegsführung

Da HF-Geräte so eng mit militärischen Anwendungen verbunden sind, ist die elektromagnetische Umgebung mit ihren Regeln und Spielern zu einem eigenen Schlachtfeld geworden. Elektronische Kriegsführung (EW) wurde geschaffen, um diese Schlachten zu führen und Geräte, Techniken und Strategien zu spezifizieren, um die Oberhand im HF-Bereich zu gewinnen.

EW-Geräte spielen eine entscheidende Rolle bei der Sicherstellung des Erfolgs

militärischer Operationen, indem sie vor feindlichen Kommunikations- und Radarsystemen schützen und sie ausnutzen. Sie bestehen typischerweise aus drei Elementen: Angriff, Schutz und Unterstützung.

Das Angriffselement verwendet Funkgeräte, um feindliche Kommunikationen und Geräte zu stören und dadurch Verwirrung zu stiften, sodass die Effektivität ihrer Operationen verringert wird. Solche Geräte implementieren typischerweise Hochleistungssender und fortschrittliche Störtechniken, um feindliche Signale zu stören.

Zum Schutz verwenden EW-Systeme HF-Geräte, um elektronische Angriffe zu erkennen und vor eingehenden feindlichen Angriffen zu schützen, die typischerweise hochempfindliche Empfänger und fortschrittliche Signalverarbeitungstechniken zur Erkennung und Bekämpfung von feindlichen Signalen rechtzeitig zur Reaktion beinhalten. Das Unterstützungselement von EW-Systemen verwendet HF-Geräte, um Informationen zu sammeln und militärische Operationen zu situativ bewusst zu machen - Spektrumüberwachungsgeräte und Radargeräte passen in diese Kategorie.

In jedem Fall müssen EW-HF-Geräte nicht nur viel Ausgangsleistung und Empfängerempfindlichkeit bieten, sondern bieten auch eine hohe Rekonfigurierbarkeit, um ihre HF-Leistung an das Szenario und die flexiblen Größen-, Gewichts- und Leistungseigenschaften (SWaP) anzupassen.

Anforderungen an SDRs

Das RFE muss in der Lage sein, Signale über einen weiten Frequenzbereich (typischerweise 0 bis 18 GHz, auf 40 GHz aufrüstbar) zu empfangen und gleichzeitig eine hohe momentane Bandbreite bereitzustellen. Einige der singweitestärksten SDRs bieten bis zu 3 GHz/Kanal. Jeder Kanal des RFE ist über leistungsstarke Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandler (ADCs/DACs) mit dem digitalen Backend verbunden, die für jede Rx/Tx-Kette unabhängig sind und einen parallelen Betrieb ermöglichen, was MIMO-SDRs zu einem „Meare-in-One“-Gerätetyp macht.

Digitales Backend

Das digitale Backend eines SDR enthält ein FPGA mit integrierten DSP-Funktionen für Aufgaben wie Modulation, Demodulation, Upconverting, Downverting und so weiter. Es ist auch hochgradig konfigurierbar und aufrüstbar, sodass die neuesten Funkprotokolle und DSP-Algorithmen in das System integriert werden können. Daher sind SDRs ideal für militärische und Verteidigungsanwendungen, bei denen Anpassungsfähigkeit, Leistung und Zuverlässigkeit von entscheidender Bedeutung sind.

Darüber hinaus bietet das digitale Backend eingebettete Datenverpackungen und optische Hochgeschwindigkeits-Schnittstellen für die hohe Datendurchsatzkommunikation mit den Host- und Storage-Lösungen und ist damit ideal für Spektrum-Überwachungssysteme geeignet. Die Abbildung zeigt ein High-Level-Diagramm des SDR, das die Hauptfunktionen jeder Platine angibt, einschließlich der RFE, des digitalen Backends, der Leistungsverteilung und der Taktgenerierung.

Radiofrontend

Das RFE eines SDR ist eine kritische Komponente, die eine entscheidende Rolle für die Leistung des Geräts spielt. Die Rx-Kette umfasst mehrstufige Ketten (wie Low/Baseband und High Band), LNAs und Leistungsverstärker, Dämpfungsglieder für die dynamische Einstellung von Signalen, IQ-Downconverter, Anti-Aliasing-Filter und ADCs, die über JESD204B mit dem FPGA verbunden sind.

Auf der Tx-Seite führt der Signalweg auch durch mehrstufige Ketten, beginnend mit dem FPGA, durch den DAC, Anti-Imaging-Filter, Frequenz-Synths und lokale Oszillatoren, IQ-Upconverter und HF-Gain-Blöcke. Hochleistungs-SDRs enthalten in der Regel völlig unabhängige Tx- und Rx-Ketten für eine optimale Signalverarbeitung und parallele Konfiguration.

Timing und Powerboards

Um diese Funktionen zu unterstützen, verlassen sich SDRs auch auf andere Boards für Timing und Power. Timing-Boards bieten Uhren für ADCs, DACs, lokale Oszillatoren, Mischer und den FPGA, während Powerboards eine stabile Stromversorgung aller anderen Komponenten gewährleisten. Diese Elemente sind unerlässlich, um eine hohe Leistung und einen zuverlässigen Betrieb in diesen Transceivern zu erreichen.

FPGA

Das digitale Backend eines High-End-SDR umfasst einen FPGA, der mit integrierten DSP-Funktionen ausgestattet ist, die für eine Reihe von Funktionen optimiert werden können, einschließlich Modulation, Demodulation und Up/Down-Converting. Diese Funktionen werden verwendet, um Aufgaben wie CORDIC-Mischung, Datenpaketierung und FIFO-Puffer sowie alle anwendungsspezifischen Anforderungen wie Channelisierung, Sicherheitsschemata und Algorithmen für künstliche Intelligenz/Maschinenlern durchzuführen.

Das FPGA ermöglicht auch eine Kommunikation mit extrem niedriger Latenz und ist für die Kommunikation mit dem Hostsystem, dem Netzwerk oder der Speicherlösung verantwortlich. Diese Kommunikation, die über Ethernet-Ports (SFP/qSFP+) und MGMT-Ports durchgeführt wird, ermöglicht es dem Hostsystem, die SDR aus der Ferne zu konfigurieren und zu steuern. Über diese Schnittstellen kann der Host auch Roh-IQ-Daten mit proprietärer, Open-Source- (GNU-Radio) und benutzerdefinierter Software senden, empfangen, erfassen und überwachen. Mit erreichbaren Datenraten von 10 bis 400 Gb/s spielt die FPGA eine entscheidende Rolle bei der Optimierung der SDR-Leistung.

In der aktuellen HF-Landschaft benötigen Verteidigungssysteme eine Vielzahl von HF-Geräten und -Systemen, um deren Anforderungen an Frequenzüberwachung, EW-Systeme und Radargeräte zu erfüllen. SDRs bieten eine flexible Lösung für diese Anforderungen, indem die RFE und das digitale Backend on-the-fly und remote angepasst und aktualisiert werden können.

Das Funkfrontende eines SDR enthält einen oder mehrere Empfangs- und Sendekanäle, die mit Signalen in einem weiten Abstimmereich arbeiten können. Das digitale Backend implementiert einen FPGA mit DSP-Funktionen für Modulation, Demodulation, Up/Down-Converting und mehr.

In modularen SDRs können alle Komponenten an eine Vielzahl von SWaP-

Anforderungen angepasst werden, von leistungsstarken Bodenstationsregalen bis hin zu Bordradaren für Leichtflugzeuge. Die FPGA kommuniziert auch mit dem Host-System und den Ethernet-Ports, um Daten zu transportieren und zu erfassen, was Speicherlösungen und eine schnelle, zuverlässige Kommunikation mit dem Betreiber ermöglicht. Die Kombination aus Flexibilität, Modularität und HF-Leistung macht SDRs zur idealen Wahl für jede militärische und Verteidigungssituation.

Schlussfolgerung

In diesem Artikel haben wir die Welt des RF-Militärs untersucht und welche Spezifikationen der Schlüssel zur Lösung der meisten Herausforderungen in wichtigen Anwendungen sind, einschließlich EW-Systeme, Radargeräte und Frequenzüberwachung. SDRs haben die Welt des Radios revolutioniert, da sie eine softwarebasierte Anpassungsfähigkeit über einen breiten Frequenzbereich und Wellenformen ermöglichen.

SDRs bestehen aus zwei Teilen, einem Radiofrontend und einem digitalen Backend, wobei das RFE den Empfang und die Übertragung von Signalen übernimmt und das digitale Backend-DSP-Funktionen wie Modulation, Demodulation und Datenpaketierung durchführt. Der Einsatz von FPGAs mit integrierten DSP-Funktionen verfügt über weitere fortschrittliche SDRs, die eine Kommunikation mit extrem niedriger Latenz und die Möglichkeit bieten, das Funkgerät für verschiedene Anwendungen zu optimieren.

Die Vielseitigkeit von SDRs macht sie zu einem entscheidenden Bestandteil, um die sich ständig ändernden Bedürfnisse der HF-Landschaft in der Verteidigung zu erfüllen. Diese Geräte haben sich als Game-Changer auf dem Gebiet erwiesen, und ihre Bedeutung bei der Bewältigung der Herausforderungen, die sich aus der sich schnell entwickelnden HF-Landschaft ergeben, kann nicht überbewertet werden.

Wer schreibt:

Brendon McHugh ist Feldanwendungsingenieur und technischer Redakteur bei Per Vices, die über umfangreiche Erfahrung in der Entwicklung, dem Aufbau und der Integration von softwaredefinierten Funkgeräten verfügen. Brendon ist verantwortlich für die Unterstützung aktueller und potenzieller Kunden bei der Konfiguration der richtigen SDR-Lösungen für ihre individuellen Bedürfnisse. Er hat einen Abschluss in theoretischer und mathematischer Physik von der University of Toronto. ◀