

Neuartiges Schaltungskonzept für die 5G-, V2X- und DSRC-Kommunikation

Die heutige Schaltungsarchitektur für die Kommunikation von Nutzfahrzeugen per Funk könnte sich möglicherweise bis zur Stufe 2 (Level 2) auf dem Weg zum selbst fahrenden Fahrzeug (teilautomatisiertes Fahren) eignen. Fraglich ist aber, ob das Konzept die Leistungsanforderungen der Stufe 3 (hochautomatisiertes Fahren) und höher erfüllen kann. Vor diesem Hintergrund beschreibt der Beitrag einen zukünftigen Ansatz für die Kommunikation von autonomen Fahrzeugen.

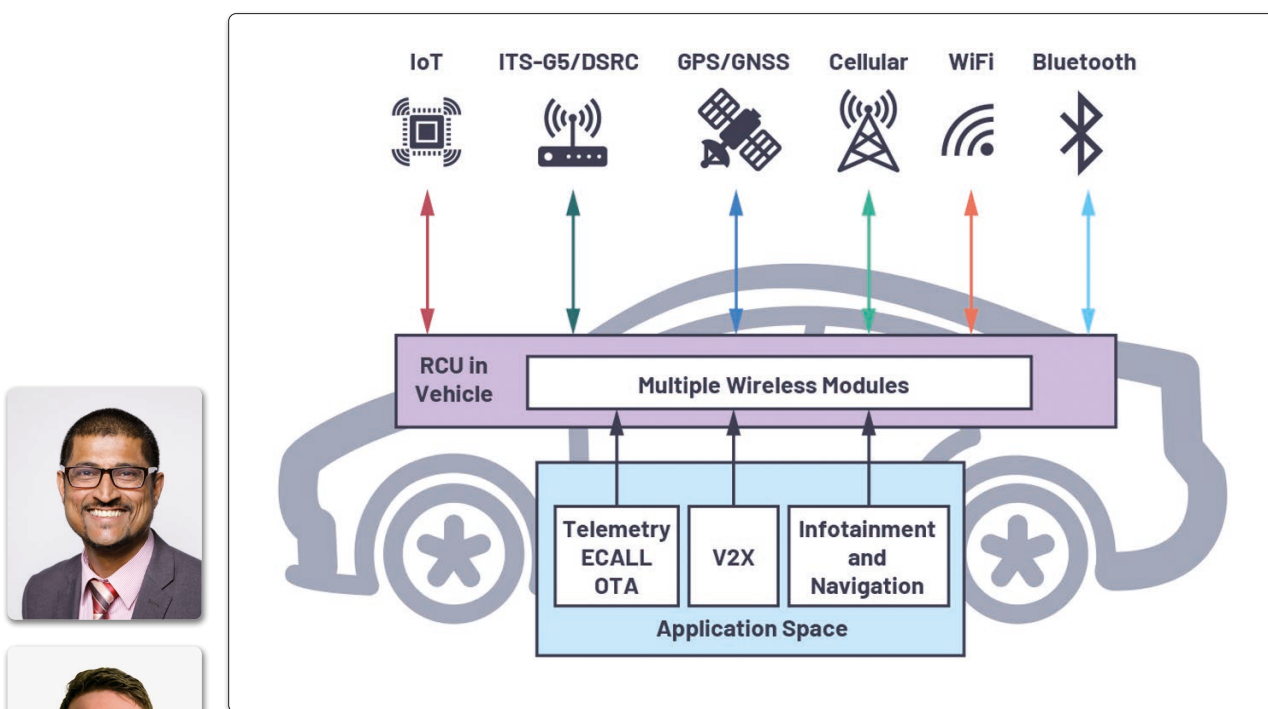


Bild 1: Wichtige drahtlose Systeme in einem Fahrzeug



Autoren (von o. nach u.):
 Danish Aziz
 Field Applications Engineer,
 Fionn Hurley
 Marketing Manager,
 Chris Bohm
 Systems and Software
 Engineering Manager s
 Analog Devices
 www.analog.com

Das neuartige Schaltungskonzept arbeitet mit abgesetzten Funkmodulen (Remote Radio Head, RRH), die sich direkt an der Antenne befinden, in Verbindung mit Software Defined Radio (SDR) und bietet gleich zwei Vorteile. So kann das Konzept einerseits Leistungsanforderungen zukünftiger Anwendungsfälle erfüllen und andererseits für eine höhere Zuverlässigkeit sorgen, indem es die Nutzung mehrerer Funkkanäle für einen bestimmten Dienst erleichtert. Der Beitrag zeigt, wie sich zwei Funktechnologien mit dem neuartigen Schaltungskonzept implementieren lassen. Das Gesamtkonzept besteht darin, die Leistungsstärke der Software zu nutzen, die auf die

Zukunft der Computertechniken im Auto ausgerichtet ist.

Einführung

Schwerpunkt des Artikels ist das neuartige Konzept für die Funkkommunikation in sich ständig weiterentwickelnden vernetzten Fahrzeugen. Zur Verdeutlichung wurden hier entsprechende Dienste ausgewählt und kurz beschrieben. Die meisten dieser Services verfügen über eine Zweiwegekommunikation und greifen auf mehrere/hybride Funkkommunikationsstandards oder mehrere Frequenzbänder zurück, vor allem um die Zuverlässigkeit und die Qualität der Kommunikationsdienste (Quality of Service, QoS) zu gewährleisten.

Ein HF-System zu entwickeln, welches mehrere Frequenzbänder und mehrere Funkstandards für die Fahrzeugkommunikation abdeckt, ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Im Folgenden werden zunächst die Herausforderungen bei der Entwicklung von Modulen für die Fahrzeugkommunikation mit einem herkömmlichen HF-Ansatz erörtert. Dies hilft, besser zu verstehen, dass die Realisierung einiger dieser Dienste in vielerlei Hinsicht suboptimal ist (beispielsweise bezüglich der Funkleistung). Aus den Nachteilen des herkömmlichen HF-Designs lernend, wurde ein neues Schaltungskonzept für Funkkommunikationseinheiten für Nutzfahrzeuge ent-

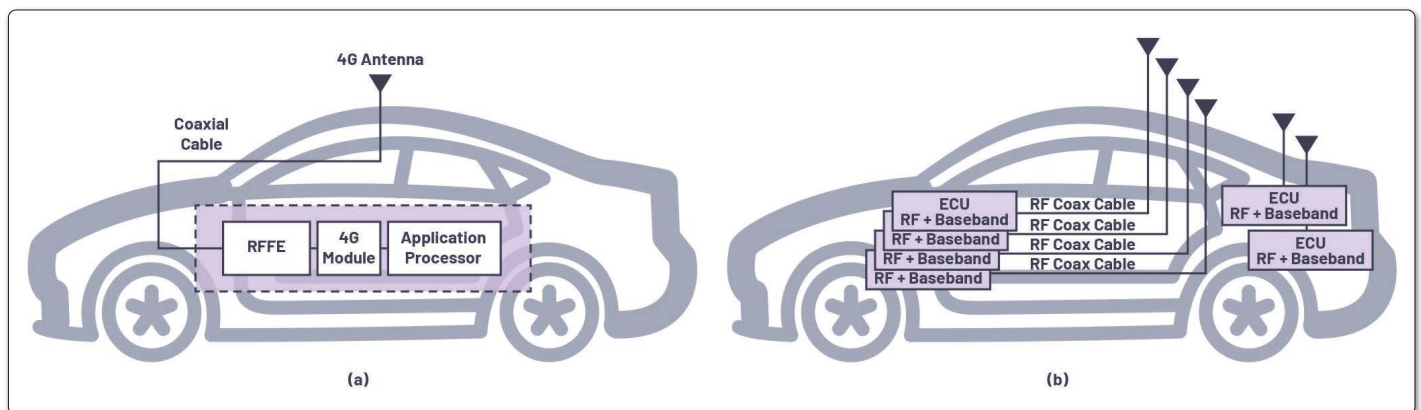


Bild 2: a) Klassische Schaltung für den Mobilfunk in einem Fahrzeug, b) Mehrere Funksysteme in einem Fahrzeug bedeutet, dass mehrere Transceiver, Antennen und Koaxialkabel installiert werden müssen.

wickelt. Dieses basiert auf dem oben erwähnten RRH-Ansatz.

Im Artikel „Enabling 5G and DSRC V2X in Autonomous Driving Vehicles“ [1] wurde der vierkanalige Multiband-SDR-Transceiver ADRV9026 für den Sub-6-GHz-Bereich vorgestellt. Im Folgenden wird der Inhalt dieses Beitrags durch ein Beispiel erweitert, welches das RRH-Konzept und einen SDR-HF-IC nutzt, um eine Dual-Band-V2X-Einheit (Vehicle-to-Everything-Kommunikation) für 5G Mobilfunk und DSRC (Dedicated Short Range Communication) zu realisieren. Die Einheit bietet nicht nur eine höhere Funkleistung, sondern ermöglicht auch die Implementierung fortschrittlicher Koordinations- und Kooperationsalgorithmen für die V2X-Technologie.

Funksysteme und Technologien für vernetzte Fahrzeuge

Die Dienste in modernen Fahrzeugen, darunter Infotainment, Navigation, Kommunikation und Rundfunk, erfordern drahtlose Zugangssysteme. Das HF-Spektrum für Systeme, welche diese Dienste bereitstellen, ist sehr breit und reicht von 90 MHz (Rundfunk) bis 5,9 GHz (V2X und WiFi). Zukünftige Systeme zielen auf Frequenzen im Millimeterwellenbereich ab (beispielsweise 5G mmWave, 24 bis 29 GHz). Bild 1 zeigt mehrere Funksysteme für einen einzigen Dienst.

Eine kommerzielle Funkeinheit bildet die Schnittstelle zwischen dem Anwendungsbereich und den entsprechenden Funksystemen. Nachfolgend sind die Funktionen und die Frequenzbänder von einigen dieser Funksysteme aufgeführt.

- GNSS/GPS (Global Navigation Satellite System)

Es stellt Standortdienste und Ortungsinformationen bereit und dient oft zur Synchronisierung mit anderen Funksystemen. Es gibt mehrere regionale Normen und zugewiesene Frequenzbänder von 1176 bis 1602 MHz.

- 2G, 3G, 4G und 5G (Mobilfunk)

Dieser wird für Sprach- und Datendienste wie Telematik, Infotainment, Over-the-Air-Updates und V2X-Kommunikation verwendet. Abgedeckt werden eine Reihe von Mobilfunkbändern und Kanälen von 300 MHz bis 5,9 GHz.

- WiFi

Dies ist ein Dienst für verschiedene Anwendungen wie Over-the-Air-Updates, Diagnose und Daten-Download. Je nach Region sind unterschiedliche Frequenzbänder und Kanäle für die interne und externe Nutzung zugewiesen. Am gebräuchlichsten sind die Kanäle in den Bändern 2,4 und 5,8 GHz. In Japan sind einige Kanäle dem 5-GHz-Band zugewiesen.

- ITS-G5/DSRC

Für die V2X-Kommunikation wird in den meisten Regionen der Welt eine Bandbreite von 70 MHz im 5,9-GHz-Bereich zugewiesen.

- Rundfunk

Von 90 bis 240 MHz stehen verschiedene Kanäle und Frequenzbänder in den unterschiedlichen Regionen zur Verfügung. Zu beachten ist, dass Rundfunksysteme auch von einer Funkeinheit abgedeckt werden können. Normalerweise sind Rundfunkempfänger allerdings getrennt von den Zweizeige-Kommunikationssystemen.

Klassische Implementierung komplexer HF-Systeme

Fahrzeuge entwickeln sich aufgrund der vielen internen drahtlosen Systeme quasi zunehmend zu Smartphones auf Rädern. Zwischen einem Smartphone und einem Fahrzeug-Endgerät (User Equipment, UE) besteht jedoch ein großer Unterschied, wenn es um die Implementierung von Funktionen geht. Am Beispiel der Implementierung eines 4G-Mobilfunksystems in einem Nutzfahrzeug wird dies deutlich.

In Bild 2a befindet sich eine 4G-Breitbandantenne an der Außenseite der Fahrzeugkarosserie, normalerweise auf dem Dach. Die Antenne ist über ein Koaxialkabel, welches durch die Fahrzeugkarosserie führt, mit dem Steuergerät inklusive 4G-Funkmodul verbunden.

Konzentrieren wir uns nun auf die HF-Eingangsstufe (RF Front End, RFFE) im HF-Pfad des Empfängers. Nach der Filterung der Frequenzbänder verstärkt ein rauscharmer Verstärker (Low Noise Amplifier, LNA) mit sehr niedriger Rauschzahl (Noise Figure, NF) und hoher Verstärkung das eingehende HF-Signal. Nach ein- oder mehrstufiger Verstärkung gelangt das Signal an das 4G-Modul zur Verarbeitung im Basisband und in höheren Schichten. Nach dem 4G-Protokollstack gelangen die empfangenen Daten an den Anwendungsprozessor.

Eine vereinfachte HF-Analyse des Schaltungskonzepts liefert ein sehr schlechtes Rauschverhalten für die gesamte HF-Signalverarbeitungskette. Der Signalverlust in einem Koaxialkabel ist proportional zur Signalfrequenz und zur Länge des Kabels. Aufgrund der Leitungsverluste ergibt die Kombination aus Kabel und LNA ein niedrigeres Signal/Rausch-Verhältnis.

Darüber hinaus ergibt sich aus der Rauschkaskadenanalyse (Noise Cascade Analysis) der Architektur, dass die Rauschzahl der gesamten HF-Signalkette durch die Rauschzahl der ersten Komponente in der HF-Signalkette dominiert wird. Daher kann auch ein LNA diese Problematik nicht beseitigen. Um Kosten zu sparen und das Gewicht zu verringern, wird normalerweise ein leichteres Kabel gewählt, was

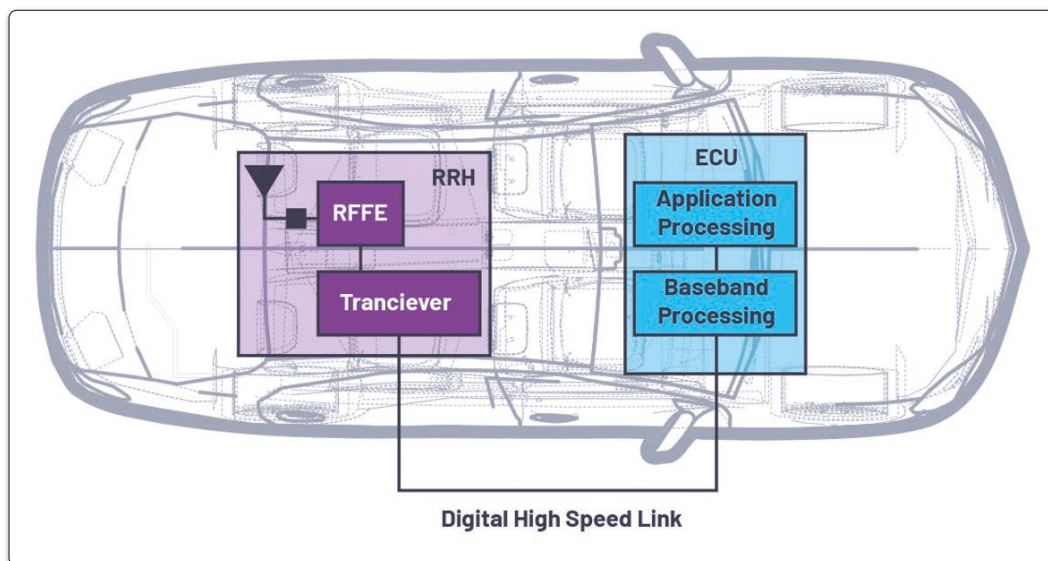


Bild 3: Bei zukünftigen Funksystemen in Fahrzeugen rückt die HF-Signalverarbeitung näher an die Antenne, und Daten werden digital und verlustfrei zum Basisbandprozessor übertragen

die HF-Problematik aber noch verstärkt. Das Gesamttrauschen ließe sich verbessern, indem man die HF-Frontend-Komponenten näher an die Antenne bringt. Doch die negativen Auswirkungen des Koaxialkabels bleiben im System bestehen.

Die Einzelheiten zum HF-Sendepfad sollen hier nicht weiter erläutert werden. Das Signal sollte jedoch vor der Übertragung ordnungsgemäß verstärkt werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass für jedes Sendegerät, welches an ein Mobilfunknetz angeschlossen wird, auch die Genehmigung des Netzbetreibers erforderlich ist. Daher müssen Empfangs- und Sendehf-Pfad ein entsprechendes Schaltungs-Design aufweisen.

Aus Bild 2b ist ersichtlich, wie man andere Funksysteme normalerweise implementiert. Dies soll zeigen, wie viel Koaxialkabel zur Verbindung der jeweiligen Antennen verwendet wird und wieviel HF-Signalverlust (Dämpfung in dB) in jedem System auftritt. Bei einem System mit mehreren Antennen erhöht sich der Verlust schnell. Zudem ist es nicht einfach, die Signale mehrerer Antennen zu synchronisieren und durch das Koaxialkabel zu leiten. Hinzu kommt, dass bei 5G mmWave (24 bis 29 GHz) der HF-Signalverlust im Koaxialkabel größer ist als

bei Frequenzen im Sub-6GHz-Bereich.

Remote-Radio-Head-Architektur für die Fahrzeugkommunikation

Das RRH-Konzept ist gut etabliert. Entwickler verwenden es für Basisstationen, um die durch koaxiale Übertragungskabel verursachten Probleme umgehen. Dabei wird bei RRH-Systemen ein digitales Signal übertragen anstelle des HF-Signals. Das RFFE und der Transceiver-IC werden beim RRH-Konzept direkt an die Antenne verlegt.

Das HF-Signal wird in digitale I/Q-Bits umgewandelt, die über eine digitale Hochgeschwindigkeitsverbindung übertragen werden. Die weitere Verarbeitung der digitalen Daten erfolgt im General-Purpose-Basisband-Verarbeitungspool. Ein ähnliches HF-Konzept kann auch im Fahrzeuginneren verwendet werden.

Bild 3 zeigt diese Architektur, bei der die Koaxialkabel durch eine Hochgeschwindigkeits-Datenverbindung ersetzt werden. Ferner wird für die Umwandlung des HF-Signals in digitale I/Q-Abtastwerte ein HF-IC vorgeschlagen, der HF-Signale in Bits umwandelt und umkehrt. Diese Bits werden zwischen HF-IC und Basisbandprozessor über die digitale Verbindung (beispielsweise Gigabit-

Ethernet) transportiert. Die weitere Verarbeitung übernimmt der Anwendungsprozessor.

Die Prozessoren könnte man in einer Funkeinheit oder in einem zentralen Rechner unterbringen. Die erforderlichen Rechenressourcen und der Trend zur zentralisierten Datenverarbeitung im Fahrzeug steigen rasant [2], sodass ein stufenweiser Wechsel zu dieser Architektur gut zu der zukünftigen Datenverarbeitungsarchitektur in Fahrzeugen passt.

Wenn nur die HF-zu-Bit-Funktion in der Nähe der Antenne untergebracht wird, ergeben sich gleich zwei Vorteile.

Erstens wird nur die zur Vermeidung von HF-Signalverlusten minimal erforderliche Umsetzung in der Nähe der Antenne durchgeführt, wo Platz und Leistung bereits ein Problem darstellen. Zweitens werden die Anforderungen an die digitale Datenübertragung in Bezug auf die Datenraten gelockert.

Auf RRH und SDR basierte V2X-Implementierung

Die Vorteile des RRH-Konzepts lassen sich durch den Einsatz eines Multiband-HF-ICs noch weiter erhöhen. Die V2X-Kommunikation ist ein perfektes Beispiel für die Nutzung dieser Kombination. Wie im Artikel „Enabling 5G and DSRC V2X

in Autonomous Driving Vehicles“ erwähnt, kann V2X zwei verschiedene Funktechniken nutzen: eine basiert auf DSRC/ITS-G5 (IEEE 802.11p), die andere auf Mobilfunktechnik (C-V2X), sei es 4G-LTE oder 5G. Es kann beide Zugangsarten in koordinierter/kooperativer Weise nutzen, um die erforderliche Zuverlässigkeit und Sicherheit zu erlangen.

Ein Einchip-Multiband-V2X-System lässt sich mit dem neu vorgestellten HF-IC ADRV9026 von ADI entwickeln. Bild 4 zeigt, dass es möglich wäre, den vierkanaligen Breitband-HF-Transceiver ADRV9026 in die RRH-Einheit zu integrieren, welche man auf der Antennenbox auf dem Fahrzeugdach anbringen könnte. Das Bauteil enthält jeweils vier Hauptsende- und Hauptempfangskanäle, von denen jeder maximal vier unabhängige digitale Übertragungsstrecken zum Basisbandprozessor bereitstellen kann. Mit seiner fortschrittlichen Lokaloszillatorschaltung kann der ADRV9026 in mehreren Frequenzbändern im Sub-6-GHz-Bereich gleichzeitig senden und empfangen. Mit der V2X-Kommunikation für die Funkzugangsverwaltung (Wireless Access Management, WAM) können sich beide Arten des Funkzugangs effizient 70 MHz im 5,9-GHz-Band teilen, welches in den meisten Regionen der Welt für V2X-Dienste zugewiesen ist.

Den Zukunftstrends entsprechend gehen die Autoren davon aus, dass im Fahrzeug zentralisierte Rechenressourcen vorhanden sind (Bild 4). Basisbandverarbeitung, Modem-Protokollstacks und Anwendungsverarbeitung könnten auf der zentralen Plattform erfolgen. Der ADRV9026 ist konform zu den Protokollen JESD204B und JESD204C3 für die Übertragung und den Empfang serieller Daten. Mit handelsüblichen Kabeln lassen sich Daten mit 10 Gbit/s über Entfernungen bis 1m übertragen [4]. Falls Entwickler eine höhere Flexibilität benötigen oder mit höheren Datenraten arbeiten

müssen, lässt sich eine beliebige Verarbeitungshardware verwenden, um die JESD-basierten seriellen Daten in ein anderes geeignetes Format, beispielsweise Gigabit-Ethernet oder PCIe, zu konvertieren.

Aus Bild 4 ist ersichtlich, dass jeweils zwei Sende- und Empfangskanäle für DSRC, V2X und 5G zugewiesen sind. 5G kann die beiden Kanäle für die vollständige 5G-Kommunikation einschließlich Mobilfunk V2X-Dienst nutzen. Mit zwei Kanälen ließe sich auch ein 2 x 2 MIMO-Szenario realisieren. Gegenüber derzeitigen Schaltungskonzepten müssen die Modems für jeden Funkstandard im Zentralrechner implementiert werden. Die I/Q-Abtastwerte der jeweiligen Funksignale werden von deren Software-Modems verarbeitet. Das Konzept bringt heute eine gewisse Herausforderung mit sich. Dank Implementierung in Software und Virtualisierung dürfte sich dies allerdings in absehbarer Zeit leicht umsetzen lassen. [5]

Schlussfolgerung

Bei dem hier erläuterten klassischen Schaltungskonzept zur Fahrzeugkommunikation wird jedes Funksystem einzeln mit Antennen, Kabeln, HF-Verarbeitungs-Hardware und Software-Verarbeitungs-Hardware implementiert. Ausgehend von der qualitativen Analyse wurden die negativen Auswirkungen des klassischen Konzepts auf die Leistungsfähigkeit der Dienste dargestellt. Aufbauend auf der Remote-Radio-Head-Architektur und dem Einsatz eines Dualband-HF-ICs wurde ein neuer Schaltungsansatz für die Fahrzeugkommunikation entwickelt.

Das RRH-Konzept in Verbindung mit dem Dualband-HF-IC bietet eine Reihe von Vorteilen:

- weniger Koaxialkabel

Dies erhöht die HF-Leistung sowie die Zuverlässigkeit der Funkverbindung.

- erfüllt die Anforderungen der Software-Architektur künftiger Fahrzeuge

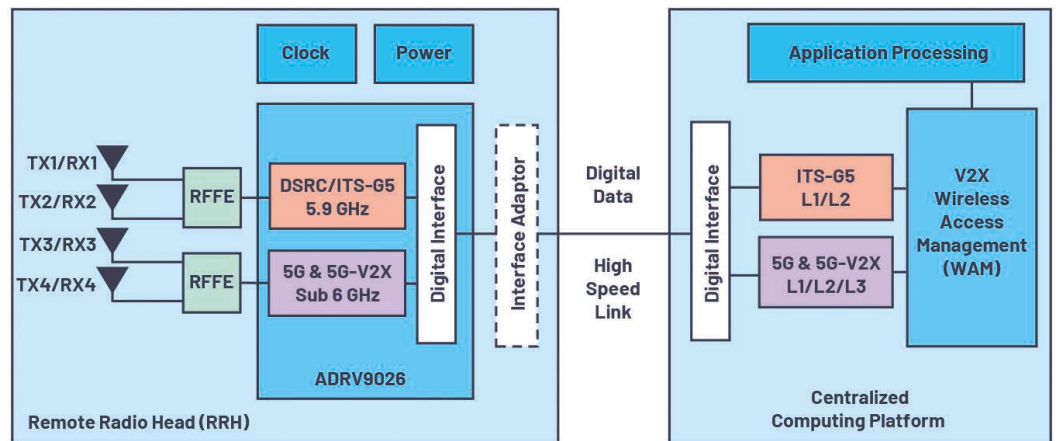


Bild 4: Erweiterte 5G- und V2X-Kommunikation mit dem SDR-basierten RRH-Konzept

- Neue Leistungsmerkmale lassen sich per Software-Updates steuern.
- ein HF-IC für mehrere Standards
- optimierte Verwaltung der Dienstqualität (Quality of Service)
- bessere Koordinationsmöglichkeit von Diensten, die mehrere Funkstandards nutzen
- geeignet für die Einführung neuer Funkstandards in zukünftigen Fahrzeugen, beispielsweise 5G mmWave

Das hier vorgestellte RRH-Konzept ist leistungsfähiger als herkömmliche Lösungen und eignet sich somit für das automatisierte Fahren. Ferner lassen sich mehrere Funksysteme in einer gemeinsamen Schaltung implementieren.

Gezeigt wurde, dass V2X-Dienste, die für automatisierte Fahr-Anwendungen wie Platooning (Vernetzung mehrerer LKWs, die auf der gleichen Strecke unterwegs sind) und ferngesteuertes Fahren erforderlich sind, die Vorteile des RRH-Konzepts nutzen können. Denn für beide Use Cases ist eine hohe Zuverlässigkeit der Funkverbindung unabdingbar.

Referenzen

- [1] Danish Aziz, Chris Bohm, und Fionn Hurley: “Enabling 5G and DSRC V2X in Autonomous Driving Vehicles”, Analog Devices, Inc., Oktober 2021

- [2] Ondrej Burcacky, Johannes Deichmann, Georg Doll und Christian Knochenhauer: “Rethinking Car Software and Electronics Architecture”, McKinsey & Company, Februar 2018

- [3] JESD204B Survival Guide, Analog Devices, Inc., August 2014

- [4] “Rev It Up: 3MTM Round Conductor Flat, Controlled Impedance Cable, 7700 Series”, 3M, August 2018

- [5] Husein Dakroub, Adnan Shaout und Arafat Awajan. “Connected Car Architecture and Virtualization”, SAE International Journal of Passenger Cars: Electronic and Electrical Systems, April 2016

Autorenvorstellung

Danish Aziz ist Staff Field Applications Engineer und Subject Matter Expert für HF-Produkte und -Systeme bei Analog Devices (ADI). Als Mitglied des technischen Sales-Teams treibt Aziz das Wachstum voran und bietet Kunden in der Region EMEA technische Unterstützung. Schwerpunkte seiner Arbeit sind Funkanwendungen für die Bereiche Automobil, Industrie, Verteidigung und Mobiltelefonie. Er vertritt ADI in der 5G Automotive Association (5GAA).

Bevor Danish Aziz 2017 zu ADI kam, arbeitete er als Forschungs- und Entwicklungsingenieur bei Bell Labs, Deutschland. Er trug

zur Standardisierung von 3G-, 4G- und 5G-Systemen bei. Er vertritt Bell Labs in mehreren von Europa und Deutschland finanzierten Vorzeige-Forschungsprojekten. Aziz ist Autor oder Mitautor von mehr als 25 wissenschaftlichen Artikeln, die in international begutachteten IEEE-Veröffentlichungen für Funkkommunikation publiziert wurden. Aziz hält mehr als 20 aktive und veröffentlichte internationale Patente.

Fionn Hurley ist als Marketing Manager in der Automotive Cabin Electronics Group bei Analog Devices Inc. (ADI) in Limerick, Irland, beschäftigt. Bei ADI ist er seit 2007. Zuvor war er als HF-Entwicklungsingenieur beschäftigt.

Chris Bohm hat einen Abschluss in Telekommunikation von der Fachhochschule Regensburg und einen Master of Science von der University of Limerick, Irland. Bohm ist seit 1995 bei Analog Devices Inc. (ADI) und hat als Digital Design Engineer an verschiedenen ASIC-Produkten gearbeitet. Darunter Videodecoder, Referenzdesigns für die optische Datenübertragung und in letzter Zeit an HF-Systemen für den 5G-Funkstandard. Sein derzeitiger Arbeitsschwerpunkt liegt auf der digitalen Signalverarbeitung und der Entwicklung von Algorithmen für die Funkübertragung in Sub-6-GHz-Frequenzbändern. ◀