

5GとDSRCの連携により V2Xを実現する先進的な アーキテクチャ

著者 : Danish Aziz、フィールド・アプリケーション・エンジニア
Fionn Hurley、マーケティング・マネージャ
Chris Bohm、システム・ソフトウェア・エンジニアリング・マネージャ

概要

現在の商用車には、様々なワイヤレス接続技術に対応するアーキテクチャが適用されています。そのアーキテクチャは、レベル2までの自動運転車にとっては適したものと言えるのかもしれませんが、しかし、レベル3以上の要件を満たせるのかということについては疑問が残ります。そこで、本稿では、将来の自動運転車に対応可能なワイヤレス接続用のアーキテクチャを紹介することにします。そのアーキテクチャは、ソフトウェア無線 (SDR : Software Defined Radio) を適用したRRH (Remote Radio Head) という概念に基づいています。この新たなアーキテクチャによって、2つのメリットが得られます。1つは、将来のユース・ケースに求められる性能上の要件を満たすことができるというものです。もう1つは、特定のサービスを実現するために複数のワイヤレス・アクセス技術を容易に利用できるようにすることで、信頼性を高められるというものです。また、本稿では、そのアーキテクチャによって、2つの異なるワイヤレス・アクセス技術をどのように実装できるようになるのかを示す例を紹介します。このアーキテクチャでは、ソフトウェア化によって得られる効果を最大限に活用します。このアプローチは、車載向けコンピューティング技術の方向性に合致したものだと言えます。

はじめに

本稿では、進化を続けるコネクテッド・カーに適用されるワイヤレス接続用のアーキテクチャに焦点を絞ります。解説を進める上では、ワイヤレス接続に関連するサービスの例を取り上げて、その概要を示します。そうしたサービスのほとんどは、双方向の通信機能を備えています。また、主にサービスの信頼性と品質を確保するために、複数またはハイブリッド型のワイヤレス通信規格や複数の周波数帯を利用しています。複数の規格と複数のバンドに対応するワイヤレス接続用のシステムを設計するのは、非常に難易度の高い作業です。本稿では、RF領域の従来のアプローチに即して車載向けの無線接続ユニットを設計する際に直面する課題について説明します。そうすると、サービスの種類によっては、無線性能などの面で従来のアプローチは最適ではないという事実が浮かび上がってきます。従来のRF設計手法の欠点を把握した結果として誕生したのが、無線接続ユニット用の新たなアーキテクチャです。このアーキテクチャは、RRHの概念に基づいています。筆者らは「[5GとDSRCの連携により、自動運転車向けのV2Xを構築する](#)」¹という記事において、サブ6GHz/マルチバンドに対応し、SDRを実現可能な4チャンネルのトランシーバーIC「[ADRV9026](#)」を紹介しました。本稿では、この記事を更に発展させ、RRHの概念とSDRに対応する単一のトランシーバーICを使用することで、V2X (Vehicle to Everything) を実現するデュアルバンドの接続ユニットを構築する例を紹介します。この接続ユニットの特徴は、5GとDSRC (Dedicated Short Range Communication : 専用狭域通信) という2つの技術に対応することです。また、このユニットであれば、無線性能を高めるだけでなく、V2Xのワイヤレス・アクセスを実現するための高度な協調/連携用アルゴリズムを実装することが可能になります。



コネクテッド・カー向けのワイヤレス技術

インフォテインメント、ナビゲーション、通信、放送など、最新の車両が提供するサービスにはワイヤレス・アクセス・システムが必要です。その種のシステムで使用されるRF周波数帯は非常に広範にわたり、90MHz（ラジオ放送）から5.9GHz（V2X、Wi-Fi）までに達しています。また、将来のシステムでは、ミリ波（5Gのミリ波、24GHz～29GHzなど）に相当する周波数もターゲットになります。図1に示すように、各種のサービスを提供するためには、何種類ものワイヤレス・システムを用意する必要があります。

現在市場に提供されている無線接続ユニットは、アプリケーション空間とそれぞれのワイヤレス・システム間のインターフェースを提供します。ワイヤレス・システムとしては、以下に示すような種類のものが使用されます。

- ▶ **GNSS/GPS**：GNSS（Global Navigation Satellite System）やその一種であるGPS（Global Positioning System）は、位置情報や位置情報に関連するサービスを提供します。よく使用されるのは、他のワイヤレス・システムにおいて同期を確立できるようにするためのサービスです。複数の地域で異なる規格が定められており、1176MHz～1602MHzの周波数が割り当てられています。
- ▶ **2G/3G/4G/5Gのセルラ**：テレマティクス、インフォテインメント、OTA（Over the Air）のアップデート、V2Xの通信など、音声とデータのサービスに使用します。300MHz～5.9GHzの範囲で膨大な数のバンドとチャンネルが使われています。

- ▶ **Wi-Fi**：OTAのアップデート、診断、データのダウンロードなどのアプリケーションに対応します。地域が異なれば、内部／外部での使用に対して異なるバンドとチャンネルが割り当てられます。最も一般的なのは、2.4GHz帯と5.8GHz帯のチャンネルです。日本では、一部のチャンネルが5GHz帯に割り当てられています。
- ▶ **ITS-G5/DSRC**：V2Xの通信向けには、世界のほとんどの地域で5.9GHzの周波数帯、70MHzの帯域幅が割り当てられています。
- ▶ **ラジオ放送**：90MHz～240MHzの周波数が使われます。地域によってチャンネルとバンドが異なります。なお、放送システムに無線接続ユニットで対応することも可能ですが、通常は双方向の通信システムとは別に実装されます。

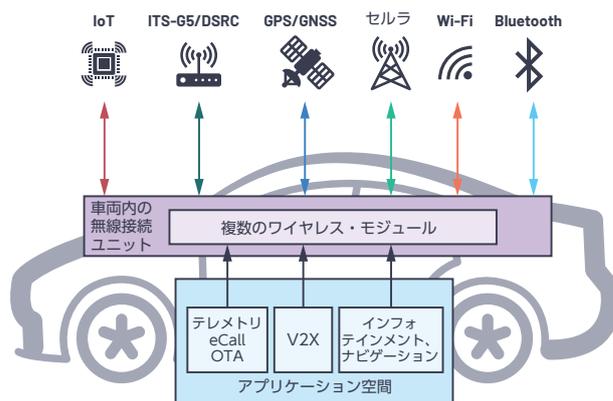


図1. 車両で使われる
主なワイヤレス・システム

複雑なRFシステムの旧来の実装

各種のワイヤレス・システムを搭載することにより、車両はあたかも車輪を備えたスマートフォンであるかのように進化しています。しかし、機能の実装という面では、スマートフォンと車両のUE (User Equipment) には大きな違いがあります。ここでは、商用車に実装される4Gのセルラ・システムのアーキテクチャについて考えてみます。図2 (a) では、車両のボディの外側（通常はルーフトップ）に、4Gの広い周波数帯をカバーするアンテナが取り付けられています。このアンテナは、信号の伝送に用いる同軸ケーブルに接続されています。このケーブルは、車両のボディを通して4Gのモジュールをホストする制御ユニットに接続されます。

ここで、レシーバーのRFパスに配置されるRFフロント・エンド（以下、RFFE）に注目してみましょう。この部分では、帯域制限のためのフィルタ処理を行った後、ノイズ指数（NF：Noise Figure）が非常に低くゲインが高い低ノイズ・アンプ（LNA）により、入力されたRF信号を増幅する処理が行われます。単一または複数の増幅段で増幅された信号は、ベースバンドの処理や上位層の処理のために4Gのモジュールに伝送されます。同モジュールでは4Gのプロトコル・スタックによる処理が行われ、得られたデータがアプリケーション・プロセッサに送られます。このアーキテクチャについて単純なRF解析を行うと、シグナル・チェーン全体のノイズ性能が非常に低いことがわかります。同軸ケーブルにおける信号の損失量は、信号周波数とケーブル長に比例します。そのため、LNAにケーブルを結合すると、ケーブルでの損失によってS/N比が低下します。また、ノイズについてカスケード解析を実施すると、シグナル・チェーン全体のNFは最初のコンポーネントのNFによって大きくなりすぎるようになります。つまり、ケーブルのNFが問題になるということです。性能の高いLNAを適用しても、この問題を解決することはできません。通常、ケーブルとしてはコストの削減と軽量化のためにより軽いものが使用されます。残念ながら、この選択が問題を悪化させます。システムのノイズ性能は、RFFEのコンポーネントをア

ンテナの近くに配置することによってある程度向上します。それでも同軸ケーブルの影響はシステムに残存することになります。

トランスミッタ側では、信号を送信する前に適切に増幅を行う必要があります。こちらのパスについての詳細な説明は割愛します。ただ、セルラ・ネットワークに接続される送信側のデバイスについては、ネットワーク事業者の承認を得なければならないということを強調しておきます。つまり、受信側、送信側共に、RF信号のパスは適切に設計する必要があるということです。

図2 (b) は、セルラ以外のワイヤレス・システムがどのように実装されるのかを示したものです。この図を見れば、各システムに対応するアンテナを接続するために、多くの同軸ケーブルが使用されるということがわかります。また、各システムでどれほどの信号損失（dBm単位の減衰量）が発生するのかということも、容易に想像できるでしょう。それらの損失は、単一のシステムで複数のアンテナを使用する場合には急増します。加えて、複数のアンテナの信号の間で同期をとったり、それらを同軸ケーブルで伝送したりするのは容易なことではありません。更に、ミリ波（24GHz～29GHz）を使用する5Gでは、同軸ケーブルにおける信号損失がサブ6GHzを使用する場合と比べてより大きくなります。

ワイヤレス接続に用いるRRHのアーキテクチャ

RRHの概念は、既に確立されています。実際、同軸ケーブルによって生じる問題を解決するために、基地局では広く使用されています。その戦略の柱は、RF信号を伝送するのではなく、デジタル信号を伝送するようにシステムを構成するというものです。この目的に向けて、RFFEとトランスシーバIC（RF IC）はアンテナの近くに配置されます。その上で、アナログのRF信号はデジタルのI/Qデータに変換され、高速デジタル・データ・リンクによって伝送されます。デジタル・データに対する後続の処理は、ベースバンド処理用のリソースを使って実施されます。

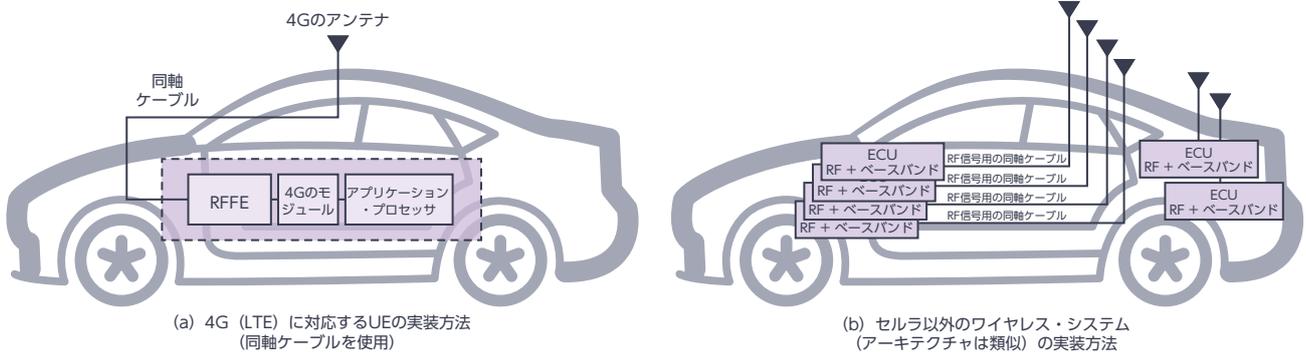


図2. 旧来の車載ワイヤレス・システムのアーキテクチャ

アナログ・デバイスは、このRRHと似たアーキテクチャを車両に適用することを提案しています。図3に示したのが、その概要です。ご覧のように、同軸ケーブルが高速デジタル・リンクに置き換えられています。また、アナログ・デバイスは、RF信号をI/Qのデジタル信号に変換するために、RF信号をビット・データ（デジタル・データ）に、あるいはその逆に変換することが可能なトランシーバーICを採用することを提案しています。得られたビット・データは、デジタル・リンク（ギガビット・イーサネットなど）によってトランシーバーICとベースバンド・プロセッサの間でやり取りされます。同プロセッサによる処理を経て、得られたデータはアプリケーション・プロセッサに引き渡されます。これらのプロセッサは、無線接続ユニットあるいは集中型のコンピューティング・プラットフォームの形で提供されます。現在の自動車では、演算リソースと集中型コンピューティングに関する動きが急加速しています²。そのため、このアーキテクチャに徐々に移行するのは、将来の車両に適用されるコンピューティング・アーキテクチャにマッチしていると言えます。

RF信号からビット・データへの変換機能だけをアンテナの近くに配置することには、2つの長所があると言えるでしょう。1つは、スペースと電力が既に問題になっているアンテナの近くに配置する必要があるのは、RF信号の損失を避けるための最小限の変換部だけで済むということです。もう1つは、デジタル高速リンクにおいてデータ・レートに関する要件が緩和されることです。

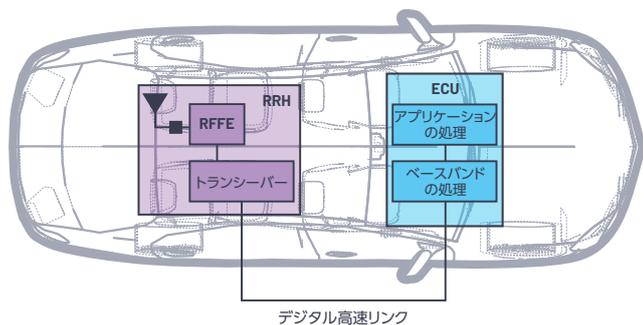


図3. 将来の無線接続用アーキテクチャ

RRHとSDRをベースとしたV2Xの実装

マルチバンドに対応するトランシーバーICとRRHを組み合わせれば、RRHのアーキテクチャの長所を強化することができます。V2Xの通信サービスは、この組み合わせを活用できる良い例だと言えます。V2Xのサービスは、2つの異なるワイヤレス・アクセス技術をベースとして構築することができます（「5GとDSRCの連携により、自動運転車向けのV2Xを構築する」を参照）。1つは、DSRC/ITS-G5（IEEE 802.11p）をベースとした技術です。もう1つは、4G（LTE）や5Gなどのセルラ技術をベースとした技術（C-V2X：Cellular V2X）です。両技術を協調／連携させて使用することにより、求められる信頼性と安全性を保証することが可能になります。トランシーバーICとしてADRV9026を採用すれば、この1つのICをベースとしてマルチバンド対応のV2Xシステムを設計することができます。具体的には、RRHにADRV9026を組み込んで、ルーフトップのアンテナ・ボックスに配置することが可能になります（図4）。ADRV9026は、送信用、受信用、それぞれ4つのメイン・チャンネルを備えています。ベースバンド・プロセッサに対しては、最大4系統の独立したデジタル・データパスを設けることが可能です。また、同ICは先進的なアーキテクチャの局部発振回路を内蔵しています。それにより、6GHz未満の複数の周波数帯を同時に使って送受信が行えるようになっています。V2Xのワイヤレス・アクセス管理（WAM：Wireless Access Management）機能を使えば、（世界のほとんどの地域で）V2Xに割り当てられている5.9GHz帯／70MHz幅の周波数資源を、2種類のワイヤレス・アクセス技術によって実現されるサービスで効率的に共有することができます。

アナログ・デバイスは、将来の動向に鑑みると、車両において集中型の計算リソースを利用できると考えています（図4）。つまり、ベースバンド処理、モデムのプロトコル・スタック、アプリケーション処理は、集中型のプラットフォームに実装できるということです。ADRV9026の場合、シリアル・データの送受信についてはJESD204B/JESD204Cのプロトコルに準拠しています³。市販のケーブルを使用することにより、10Gbpsのデータ・レートで最長1mまでの伝送に対応することができます⁴。より高い柔軟性、より高いデータ・レートが必要な場合には、任意のプロセッシング用ハードウェアを使用し、JESD204B/JESD204Cに対応するシリアル・データをギガビット・イーサネットやPCI Express（PCIe）向けのフォーマットに変換することで対応可能です。

図4の構成では、DSRC、5Gを利用したV2X向けに、それぞれ2つの送信チャンネルと2つの受信チャンネルを割り当てています。C-V2Xのサービスを含めて、5Gによる通信には2つのチャンネルを使用することができます。それにより、2×2のMIMO (Multiple Input Multiple Output) の機能を実装することも可能です。現在使われているアーキテクチャとは異なり、集中型のコンピューティング・プラットフォームには、それぞれのワイヤレス規格に対応するモデム機能 (ソフトウェア) を実装する必要があります。つまり、それぞれのワイヤレス規格に対応するI/Qデータは、それぞれのモデムによって処理されます。アナログ・デバイスとしては、現世代のシステムにこのような変更を加えるのは困難だと考えています。しかし、ソフトウェア化と仮想化を進めれば、このような構成も実現可能になるはず⁵。

まとめ

本稿では、現状の分析として、車両でワイヤレス接続を実現するために使われているアーキテクチャについての説明を行いました。そのアーキテクチャでは、各種のワイヤレス・システムが、アンテナ、ケーブル、RF処理用のハードウェア、ソフトウェア処理用のハードウェアを組み合わせることで個別に実装されています。また、定性的な分析に基づけば、旧来のアーキテクチャではサービスの性能に対して悪影響が及ぶことがわかっています。そこで、アナログ・デバイスは、車両におけるワイヤレス接続向けの新たなアーキテクチャを提案しました。そのアーキテクチャでは、RRHの概念とデュアルバンド対応のトランシーバーICを組み合わせることで、以下に示すような様々なメリットが得られると見込んでいます。

- ▶ 同軸ケーブルの使用量を削減でき、RF性能と無線リンクの信頼性が高まる
- ▶ 将来の車両で使われるソフトウェア・アーキテクチャに即している
- ▶ ソフトウェアのアップデートによって新たな機能を管理可能
- ▶ 単一のトランシーバーICによって複数の規格に対応できる

- ▶ サービスの品質保証に向けた管理を強化することが可能
- ▶ 複数のワイヤレス規格を利用するサービスにおいて、より適切な協調を実現できる
- ▶ 将来の車両において、ミリ波対応の5Gのような新たなワイヤレス規格に即した実装が行える

このようなアプローチにより、(自動運転機能に必要なレベルまで) 性能を高められるだけでなく、共通のハードウェアをベースとして複数のワイヤレス・システムを実装することが可能になります。V2Xのサービスは、信頼性の高いワイヤレス接続が求められる隊列走行や遠隔操縦走行といった自動運転のユース・ケースに不可欠です。本稿で紹介したアーキテクチャの長所を活かせば、そうしたサービスを実現することが可能になるでしょう。

参考資料

- ¹ Danish Aziz, Chris Bohm, Fionn Hurley [5GとDSRCの連携により、自動運転車向けのV2Xを構築する] Analog Devices, 2021年10月
- ² Ondrej Burcacky, Johannes Deichmann, Georg Doll, Christian Knochenhauer [Rethinking Car Software and Electronics Architecture (車載向けのソフトウェアとエレクトロニクスのアーキテクチャについて再考する)] McKinsey & Company, 2018年2月
- ³ [JESD204B サバイバル・ガイド], Analog Devices, 2014年8月
- ⁴ [Rev It Up: 3M™ Round Conductor Flat, Controlled Impedance Cable, 7700 Series (Rev It Up: 3M 7700シリーズ: 円形導線フラット型の制御インピーダンス・ケーブル)], 3M, 2018年8月
- ⁵ Husein Dakroub, Adnan Shaout, Arafat Awajan [Connected Car Architecture and Virtualization (コネクテッド・カーのアーキテクチャと仮想化)] SAE International Journal of Passenger Cars: Electronic and Electrical Systems, 2016年4月

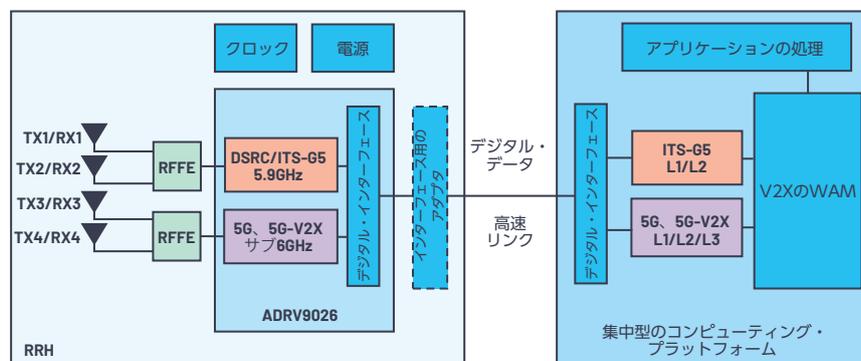


図4. RRHとSDRを組み合わせたアーキテクチャ。DSRCと5Gを先進的な形で連携させてV2Xを実現することができます。

著者について

Danish Azizは、アナログ・デバイセズのスタッフ・フィールド・アプリケーション・エンジニアです。RFに関する製品やシステムが専門です。テクニカル・セールス・チームの一員として、欧州/中東/アフリカのお客様の技術サポートを担当。車載/産業/防衛/セルラ分野のワイヤレス接続アプリケーションに重点的に取り組んでいます。5GAA (5G Automotive Association) では当社の代表を務めました。2017年に入社する前は、ベル研究所 (ドイツ) で研究開発技術者として業務に従事。3G/4G/5Gのシステムの標準化に貢献しました。また、欧州とドイツが資金提供したいくつかの重要な研究プロジェクトでは、ベル研究所の代表を務めました。著者/共著者として、ワイヤレス通信に関する国際学術誌 (IEEEが査読済み) で25本以上の論文を発表。20件を超える国際特許を出願/登録しています。NED工学技術大学 (パキスタン カラチ) で電気工学の学士号、シュトゥットガルト大学で電気工学の修士号と博士号を取得しています。

Fionn Hurleyは、アナログ・デバイセズのマーケティング・マネージャです。オートモーティブ・キャビン・エレクトロニクス・グループ (アイルランド リムリック) に所属しています。RF設計技術者としてのキャリアを積んだ後、2007年に入社。ユニバーシティ・カレッジ・コーク (アイルランド) で電気/電子工学の学士号を取得しています。

Chris Bohmlは、アナログ・デバイセズのデジタル設計エンジニアです。1995年に入社しました。現在は、サブ6GHz帯を使用する無線伝送向けのデジタル信号処理とアルゴリズムの開発に注力。以前は、ビデオ・デコード、光伝送システムのリファレンス設計、5Gシステム向けの様々なASIC製品を担当してきました。レーゲンスブルク応用科学大学 (ドイツ) で通信工学の学士号、リムリック大学 (アイルランド) で理学修士号を取得しています。

EngineerZone®

オンライン・サポート・コミュニティ

アナログ・デバイセズのオンライン・サポート・コミュニティに参加すれば、各種の分野を専門とする技術者との連携を図ることができます。難易度の高い設計上の問題について問い合わせを行ったり、FAQを参照したり、ディスカッションに参加したりすることが可能です。



Visit ez.analog.com

*英語版技術記事は[こちら](#)よりご覧いただけます。



想像を超える可能性を
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

アナログ・デバイセズ株式会社

お住いの地域の本社、販売代理店などの情報は、analog.com/jp/contact をご覧ください。

オンラインサポートコミュニティEngineerZoneでは、アナログ・デバイセズのエキスパートへの質問、FAQの閲覧ができます。

©2022 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。
Ahead of What's Possibleはアナログ・デバイセズの商標です。

TA23068-7/22(A)

VISIT [ANALOG.COM/JP](https://analog.com/jp)