

車載ワイヤーハーネスレスに向けた UWB 通信干渉抑止の研究

イノベーション創出センター 吉竹 弘晃
西垣 友理
奥原 誠

1. 取組背景

近年、自動車の高機能化に伴い、電子機器同士をつなぎ合わせるワイヤーハーネスが増加しています。ワイヤーハーネスの増加は、環境への影響（重量増による燃費の悪化、廃棄物の増加など）、配線スペースの増加による車両スペースの圧迫、コストへの影響（組付け、品番管理、在庫管理の工数の増加など）の問題を引き起こします。そのため、ワイヤーハーネスを削減することは、環境保護とコスト削減の観点から重要です。

これに対して、ワイヤーハーネスメーカーは電線の素材を銅からアルミに置き換えることで重量低減に取り組んでいますが、配線スペースの削減などの課題には対応できません。そこで当社では、物理的にワイヤーハーネスを削減（以下、ワイヤーハーネスレスという）し、車両の軽量化に加えて、車内スペースの確保や製造ラインでの組付けコストの削減に大きく貢献できるワイヤーハーネス無線化に着目しました。

無線技術には様々な種類がありますが、その中で Ultra-Wideband（以下、UWB という）に注目しました。UWB は IEEE 802.15.4a/z¹⁾で規定された通信方式であり、1ns 以下の超短パルス、500 MHz 以上の超広帯域、-41.3 dBm/MHz 以下の低送信電力といった、狭くて障害物の多い車室内環境において

優位な特徴があります。また日本国内では 2019 年に電波法が改正され、中心周波数 8 GHz の 1 チャンネルが屋外で使用可能となりました。図 1 に示すように、この帯域は UWB 以外の通信では使用されておらず、ほかの通信機器との電波干渉のリスクが低くなります。こういった点から、UWB 技術を活用し、今まで実現が困難であった車載ワイヤーハーネス無線化に取り組みました。

2. システム構成

図 2 に、今回検討する UWB の車載ネットワークを示します。

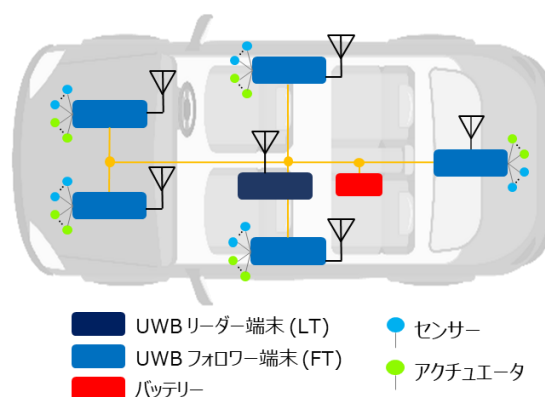


図2 システム構成

システムの考え方とシステム構成は以下のとおりです。

システムの考え方

- ・ワイヤーハーネスの重量配分が大きいセンサー、アクチュエータと ECU 間のデータ通信を無線化し、ワイヤーハーネスレス化・各センサー・アクチュエータを集約することで質量やコストの増加を防ぐ
- ・アクセルセンサー、ブレーキ、エアバッグなどの安全関連のセンサー・アクチュエータは、安全性および ISO26262 の機能安全の観点から、考慮の対象外

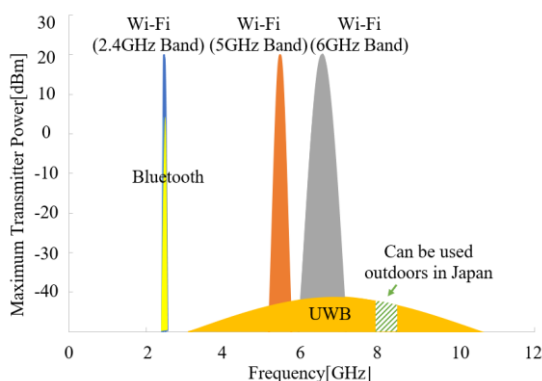


図1 帯域と送信電力の関係

システム構成

- ・通信の開始や制御を行う役割を持つ 1 台の UWB リーダー端末（以下、LT という）と LT からの指示に従って動作する 5 台の UWB フォロワー端末（以下、FT という）で構成
- ・FT は車両のゾーンごとに配置
- ・FT は複数のセンサーとアクチュエータを接続

3. UWB の課題確認

車両での UWB 通信の課題を確認するため、下記二つの評価を行いました。

- 評価 1. 車両 1 台でのシステム構成における通信の成立性評価（車室内 UWB 通信の可否確認）
- 評価 2. 同じシステム構成を持つ車両 2 台を隣接させた場合（図 3）の通信の成立性評価（隣接する車両からの電波干渉影響確認）

評価条件は以下のとおりです。

評価環境	: 電波暗室
ターゲット車両	: ハイブリッド車（トヨタ プリウス）
使用 UWB 端末	: Qorvo 社製 DWM3000 ^{*(1)}
FT 端末配置 （図 4）	: FT1 と FT2 エンジンルーム FT3 と FT4 車室内、 FT5 トランク
通信方法	: ポーリング方式により LT が FT1 から FT5 と順番に通信を実施し、 10,000 回繰り返し
車両動作状態	: ACC-OFF（アクセサリオフ） ACC-ON（アクセサリオン） IG-ON（イグニッションオン） Ready（レディ） Idling（アイドリング）
確認する性能	: フレームエラーレート（データ通信数の中で通信が失敗する割合 以下、FER という）

評価 1. の車両 1 台での評価では、車両の動作状態に関わらず全てのケースで FER 0 %を達成し、車室

内における UWB 通信の有効性が確認できました。しかし、評価 2. の車両 2 台を隣接させた評価では、車両の動作状態にかかわらず、全ての FT の FER が 4 %以上、平均で約 6 %となりました。したがって、UWB によるワイヤーハーネスレス通信を実現するには、隣接する車両間の電波干渉による FER をいかに抑えるかが課題となります。



ターゲット車両 妨害車両

図 3 UWB の車両評価環境

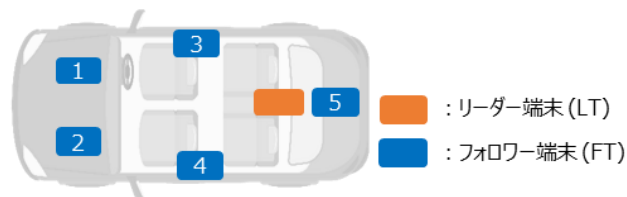


図 4 UWB 通信端末の配置

4. 工夫点・アピールポイント

4.1 干渉制御調停制御（ISAC）の発明

ワイヤーハーネスレス通信の干渉問題を解決するために、UWB 干渉抑制調停制御（以下、ISAC^{*(2)}という）を発明しました。ISAC は UWB の特性を利用した 2 段階の干渉制御方法です。

第一段階：受信モードの最適化

通信失敗の原因は、UWB 無線機が先に届いた不要なフレームを解析するため、あとから届く必要なフレームの解析が出来なくなることだと考えられます。図 5 は ISAC が受信モードを最適化する様子を示しています。UWB 無線機は通常、「受信」、「アイドル」、「送信」の三つのモードを持っています。「アイドル」時はフレームを受信しません。これを利用し、UWB 無線機が送信直

後に「受信」に切替えるのではなく、「アイドル」に変更し、最適なタイミングで「受信」モードに変更します。つまり、必要なタイミングだけ「受信」モードに切替えることで、不要なフレームの受信を防ぎ、通信失敗の可能性を下げることができます。

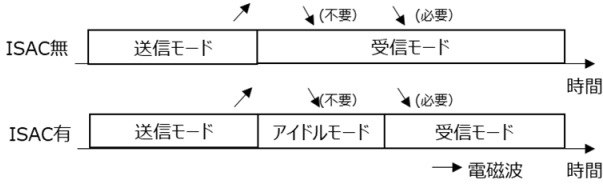


図5 ISACによる受信モードの最適化

第二段階：プリアンブルコードの優劣特性の利用

プリアンブルは、データ本体の前に送信されるビット列で、受信側にデータの到着を知らせます。図6に示すように、プリアンブルはUWBフレームフォーマットの先頭に位置し、初期チャネル取得、チャネル推定、フレーム同期、およびレンギングに利用されます。UWB通信では、異なるプリアンブルコードを使用することでほかの通信システムとの干渉を減らすことができ、コードの選択が重要です。プリアンブルコードは1～24まであり、チャネルごとに使用できるコードが定義されています。表1に示すように、コード1～8は31個の3値を持つローコード、コード9～24は127個の3値を持つハイコードです。ローコードは16.1 MHzのパルス繰り返し周波数(PRF)で、ハイコードは62.89 MHz PRFで動作します。日本の屋外で使用可能な中心周波数8 GHzのチャンネル9では、コード3、4、9、10、11、および12が使用可能です。干渉実験の結果、ハイコードとローコードには表2のような優劣特性が確認されています。No.1、No.2、No.3の実験結果から、同じ長さのプリアンブルコードでも異なるコードを使用することで通信が成功します。また、No.4の結果から、ローコードとハイコードとの組合せでは、ハイコードのほうが通信性能に優れていることが分かりました。以上のことから、ワイヤハ

プリアンブル	SFD	PHR	PSDU
プリアンブル：受信側にデータの到着を知らせるシーケンス			
SFD：データフレーム開始を示すシーケンス			
PHR：データフレームの物理層情報を含むヘッダーシーケンス			
PSDU：物理層で伝送されるデータユニット			

図6 UWBフレームフォーマット

表1 プリアンブルコード

コード	長さ	PRF (MHz)	クラス
1-8	31	16.1	ローコード
9-24	127	62.89	ハイコード

表2 プリアンブルコードの優劣特性

No.	プリアンブルコードの組合せ	特性
1	同じコード	どちらも通信失敗
2	ローコード同士で異なるコード	どちらも通信成功
3	ハイコード同士で異なるコード	どちらも通信成功
4	ローコードとハイコードで異なるコード	ハイコードのみ通信成功

ースレスシステムにおいて、隣接車両と異なるハイコードを使用し、そのほかのシステムの優先度の低い通信にローコードを割当てすることで、第一段階の受信モード内で妨害波を受信した場合でも、プリアンブルコードの優劣関係により所望のデータを受信できる確率が高くなります。

4.2 ISACの効果確認結果

ISACの性能を評価するため、周辺に同じ車載ネットワークを搭載した車両が隣接した場合を想定した干渉評価を行いました。駐車場での停車中に同じシステムを持つ車両が周囲に存在する状況を想定し、自車両を含む6台のシステムで評価を行いました。電波暗室での評価では、実車両を配置することがむずかしいため、FERの評価対象車両以外は、実車両を使用せずにQorvo社製DWM3000を配置して評価環境を構築しました。実際に車両2台を並べて評価した結果と、

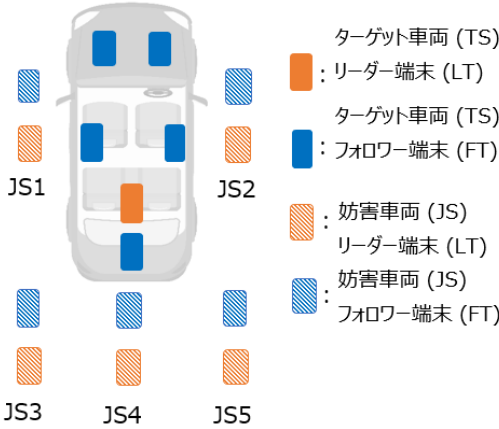


図7 ISAC効果確認の車載ネットワーク構成

Qorvo 社製 DWM3000 を配置して評価した結果は同様となり、本評価方法に妥当性があると判断しました。

図 7 に車載ネットワークの構成を示します。ターゲット車両（以下、TS という）の周囲には、TS と同様の車載ネットワークを模擬した 5 台の妨害車両（JS）を配置しました。各 JS は一つの LT と一つの FT で構成され、TS と同様に 4 ms スロットごとにフレームを送受信します。TS と JS のタイムスロットは同期していません。**表 3** に示すように、各プリアンブルコードの組合せによる優劣特性がすぐれるハイコードで、コード 9 ～ 12 を使用します。日本で使用できるプリアンブルコードは限られているため、TS と JS 4 では同じコード 9 を使用し、JS 1 と JS 5 も同様にコード 10 を使用しています。また、通信失敗時に再送を行う「再送あり」と「再送なし」で評価を行いました。再送信はポーリングごとに 1 回だけ行います。

評価結果を**図 8** に示します。ポーリング方式として ISAC 無、再送無、ISAC 無、再送有、ISAC 有、再送無、ISAC 有、再送有の 4 種類を実装し、JS1 から順次 JS を増やして実験を行いました。TS の LT は各 FT と 50,000 回通信を行い、合計 25 万回通信をしました。ISAC 無・再送無の状態では FER が 10^{-1} でしたが、ISAC を適用することにより JS2 台までは FER が 0、JS3 台でも FER は 10^{-3} に改善されました。さらに、

表 3 各車両のプリアンブルコード

車両	プリアンブルコード
TS	9
JS1	10
JS2	11
JS3	12
JS4	9
JS5	10

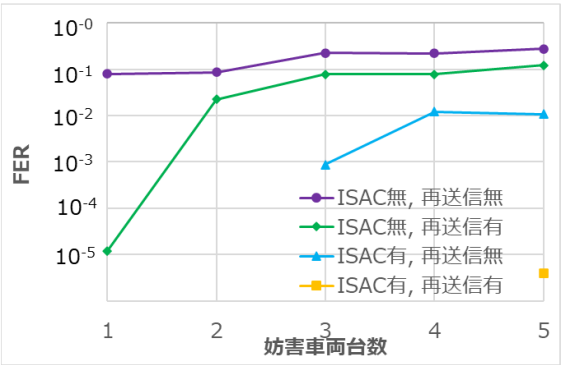


図 8 ISAC 効果確認結果

ISAC と再送信の両方を適用することにより、JS4 台まで FER は 0 であり、JS5 台でも FER は 10^{-5} 以下でした。このことより、ISAC は FER を大幅に改善することができ、その有効性が実証できました。

5. まとめ・今後の展開

今回、当社は車載 UWB ネットワーク用の ISAC を発明しました。この方式により、UWB 通信の大きな課題である隣接する車両間の干渉を大幅に軽減できることを確認しました。ワイヤーハーネスレス車載ネットワークに ISAC を実装すると、物理的なワイヤーハーネスを大幅に削減でき、製造時の組立手順の簡略化、電子機器の設計と設置の柔軟性向上、ワイヤーハーネスの在庫管理の合理化など、軽量化以外にも多くの利点が期待できます。

今後は、さまざまな UWB デバイスメーカーでの ISAC の有効性を評価していきます。また、ISAC では、UWB 全体で一貫したプリアンブルコードの使用規則が必要であるため、IEEE での標準化を提唱中です。

注釈

本研究は総務省 SCOPE（受付番号 JP215007006）の受託を受けたものです。

参考文献

- 1) IEEE Standards Association, “IEEE802.15.4-2020 IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks”, July 2020, [Online]. Available: <https://www.techstreet.com/ieee/searches/39462013>. Accessed on: Nov. 5, 2024.

脚注

- * (1) DWM3000
DWM3000 とは、Qorvo 社が製造、販売する DW3110IC をベースにした超広帯域 (UWB) モジュール
- * (2) ISAC
ISAC とは「Interference Suppression Arbitration Control」の略称で、デンソーテンが開発した UWB データ通信における干渉対策技術