

5. 車両間の無線通信技術に関する研究

電気・電子情報工学系 教授 上原 秀幸, 助教 宮路 祐一

5-1 はじめに

ワイヤレスデバイスが爆発的に増大し、無線通信資源が逼迫している。クルマもこのようなワイヤレスデバイスのひとつであるだけでなく、その情報ハブとしての役割は一層重要さを増している。車両に搭載された数多くの様々なセンサから得られた情報を周囲の車両や数台はなれた車両と交換する。あるいは、歩行者の有無やその動きをはじめとする周辺環境の情報を収集する。これらは安全・安心なドライブをサポートするために必須であろう。加えて、地図情報やショップのお得情報などは快適なドライブに欠かすことはできない。我々は、このような大量の情報を“うまくさばく”車両間無線通信技術として、時空間マルチホップ全二重無線通信システムを開発している。ここでは、その要素技術である自己干渉除去技術とアクセス制御方式の今年度の成果を報告する。

5-2 システム概要

図 5-2-1 に時空間マルチホップ全二重無線通信システムの送受信機の構成例と動作モードを示す。2 系統の指向性アンテナを用いてパケットの到来方向を前後二方向に識別できる機構を搭載し、二方向での同時送受信を可能にして、時間・空間・周波数の利用効率向上を図っている。

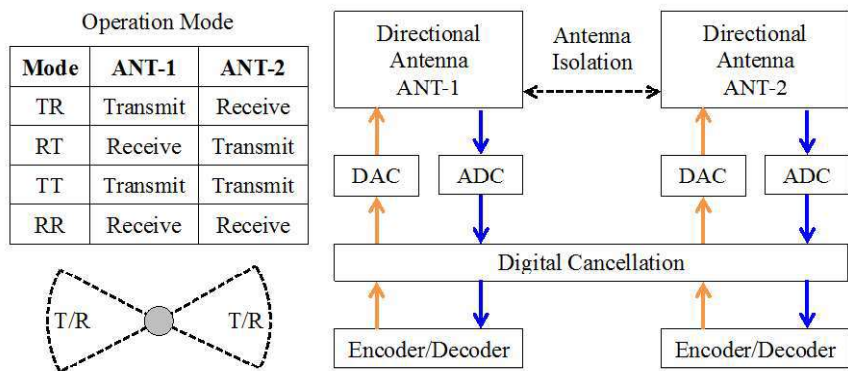


図 5-2-1 二方向全二重システムの送受信機構成と動作モード

5-3 自己干渉除去技術

同一帯域内で全二重通信を実現するためには、自己干渉（送信した自分の信号を受信してしまうことによる干渉雑音）を除去する必要がある。干渉除去の目標値は、アンテナ・アイソレーションで約 30dB、アナログ信号処理で約 40dB、デジタル信号処理で約 40dB の計約 100dB である。

(1) アンテナ・アイソレーション

これは、送受信アンテナ間の経路損失を利用して自己干渉を抑圧する技術である。そのため、一般には送受信機サイズが大きくなる。我々は昨年度、二つのダイポールアンテナと四つの寄生素子を用いて小形平面化し、指向性メインローブが相反するように配置することで高いアイソレーションを実現した。しかしながら、比帯域約 0.85% の狭帯域性がみられた。そこで本年度は、さらに一つの寄生素子を追加することで広帯域化を図った。ダイポールアンテナのみを用いた場合と比較して、比帯域約 4.52% で 30dB 以上の自己干渉抑圧を、また、前後二方向に約 6dB 高い利得を達成した¹⁾。

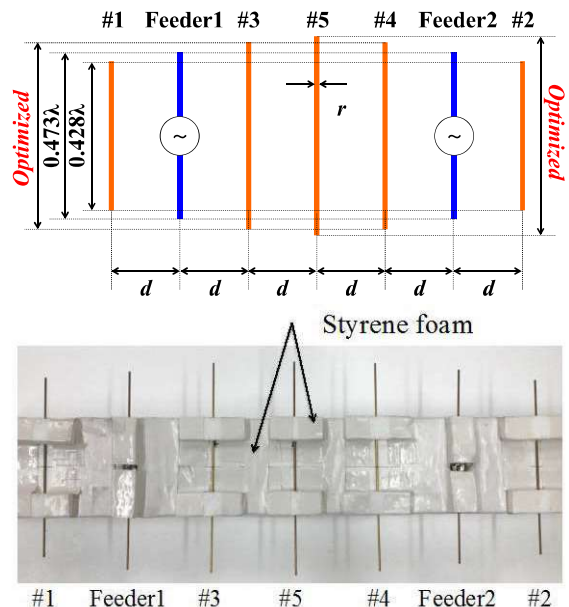


図 5-3-1 広帯域なアイソレーションを実現するアンテナ構成 (上) と 700MHz 帯での試作機 (下)

(2) デジタル信号処理

ベースバンド段で自己干渉信号を除去するためには、RF段での増幅器やIQインバランス等を考慮した非線形特性を再現するフィルタを設計する必要がある。しかし、 N タップのFIRフィルタ P 個から成る並列型ハマースタイン・フィルタを学習する際の計算量は、1サンプルあたり $\mathcal{O}(P^2N^2)$ と大きな計算量となる。そこで我々は昨年度、直列型のハマースタイン・フィルタを開発し、 $\mathcal{O}(PN^2)$ の計算量を達成した。今年度は、自己干渉チャネルの周波数応答を各周波数において独立して推定することで、低計算量の学習を実現する周波数領域ハマースタイン・フィルタを開発した。周波数応答を推定するにあたっては、図5-3-2のように、OFDMシンボルの前半部分のみを交換することでシンボル内部に非連続点を導入し、さらにサイクリック・プレフィックス(CP)の効果により、高精度な推定を可能とした。シミュレーションの結果、自己干渉抑圧比を劣化させることなく $\mathcal{O}(P^2)$ の計算量を達成した²⁾。

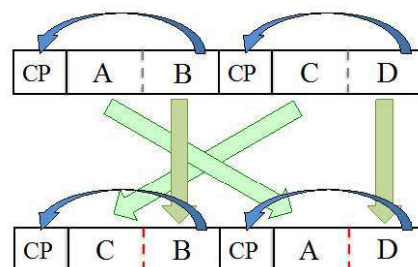


図5-3-2 学習用OFDMシンボルの生成法

5-4 メディアアクセス制御方式

無線LAN等で用いられているメディアアクセス制御(MAC)方式は、半二重通信のIEEE 802.11 DCFである。これは、全方位性アンテナとシングルホップでの通信を想定して設計されている。我々は昨年度、図5-2-1で構成される時空間マルチホップ全二重無線通信で動作するMACプロトコルを開発し、通信路でのパケット誤りを考慮してその基本性能を評価した。今年度は、同一経路上に対向する二つのフローがある場合と隠れ端末がある場合の性能を評価した。図5-4-1は、ストリングトポロジーの片端および両端からパケットが送出された場合におけるネットワーク全体のスループット特性である。対向するフローが二つあっても、ホップ数の増加に対してスループットを劣化させることなく、時間と空間を互いに等分できることが示された。隠れ端末があるとスループットの劣化が見られたため、次年度以降に対策を講ずる予定である。

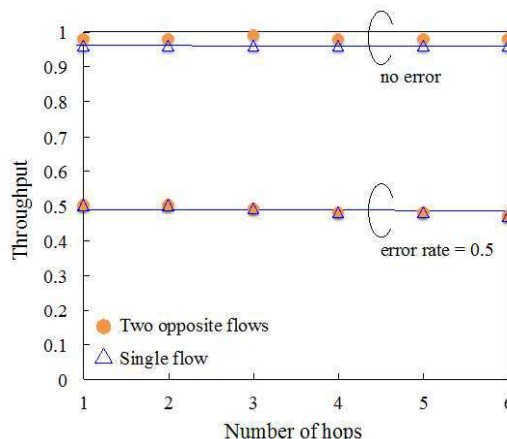


図5-4-1 スループット特性

5-5 おわりに

車両間無線通信にも応用可能な時空間マルチホップ全二重無線通信システムの要素技術として開発した二つの自己干渉除去技術とメディアアクセス制御方式の今年度の成果を報告した。本研究の一部は展示会等でも報告済みである³⁾。

参考文献

- 1) 轡見真太郎, 宮路祐一, 上原秀幸, “広帯域な自己干渉抑制を達成する寄生素子を用いたアンテナ構成,” 信学技報, vol. 116, no. 317, AP2016-107, pp. 1-5, 2016年11月.
- 2) Kazuki Komatsu, Yuichi Miyaji and Hideyuki Uehara, "Frequency-Domain Hammerstein Self-Interference Canceller for In-Band Full-Duplex OFDM Systems," Proc. IEEE WCNC, Mar. 2017.
- 3) ワイヤレス通信研究室, “マルチホップ無線電力伝送/マルチホップ無線全二重通信,” MWE 2016, Dec. 2016.