

5. 同一帯域全二重マルチホップ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、同一帯域全二重マルチホップ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に関する今年度の成果を報告する。

5-2 システム概要

図 5-2-1 に同一帯域全二重マルチホップ通信を実現する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。

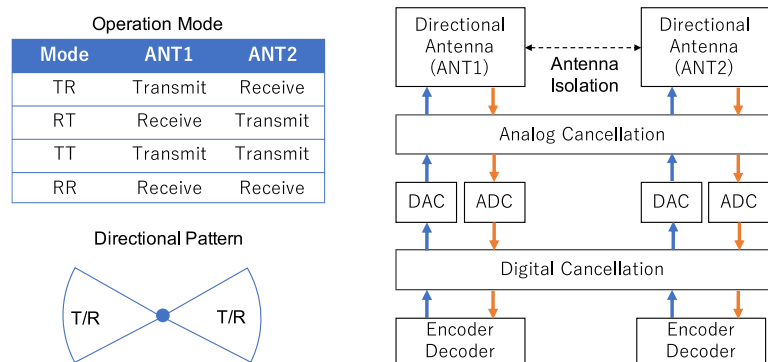


図 5-2-1 同一帯域全二重マルチホップシステムの送受信機構成と動作モード

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。自己干渉は送受信機の不完全性（ミキサの I/Q インバランス、局部発振器の位相雑音、増幅器の非線形性）の影響を強く受けるため、これらの不完全性を考慮した信号処理が求められる。今年度の成果として、自己干渉除去の性能向上に関する検討結果、ならびに自己干渉除去の評価システムに関する検討結果を示す。

(1) 自己干渉除去の性能向上に関する検討

・OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 信号のクリッピングと自己干渉除去

現在検討している OFDM 信号はマルチキャリア信号の一種であり、一般にピーク電力が高いことが知られている。このような信号が増幅器によって非線形増幅される場合、高精度の自己干渉除去が困難である。そこで、ピーク部分をクリッピングが自己干渉除去に与える影響を評価する。また、クリッピングによる歪補償も併せて検討する。計算機シミュレーションの結果から、クリッピングのしきい値が低いほど自己干渉除去量が改善することがわかった。しかし、クリッピングのしきい値が低くなることで、受信特性が劣化するため、最適なしきい値があることもわかった。

・OFDM 信号のコンパンディングと自己干渉除去

OFDM 信号のクリッピングに類似した手法として、コンパンディングについても検討した。クリッピングは逆関数が存在しないため、受信側の歪補償を別途検討する必要がある。一方でコンパンディングは逆関数が存在するピーク抑圧手法のため、自己干渉除去量の改善と歪補償を対にして考えることができる。理論解析と計算機シミュレーションより、帯域内全二重に適したコンパンディング関数があることを明らかにした。また、理論解析と計算機シミュレーションは自己干渉除去量の大きい領域でよく一致することがわかった。大域的に一致するには、近似の改善が必要である。

(2) 自己干渉除去の評価システムに関する検討

昨年度に開発した自己干渉除去の評価システムを用いて、各種自己干渉除去フィルタを性能評価した。

・時間領域学習と周波数領域学習が自己干渉除去量に与える影響

これまでに、様々な自己干渉除去のフィルタ構成法を研究してきたが、その中でも時間領域学習と周波数領域学習が自己干渉除去量に与える影響を実験的に明らかにする。評価システムに実装するフィルタ構成法は文献¹⁾に従う。評価システムを用いた比較において、自己干渉除去量は、時間領域学習と周波数領域学習の手法間に差異がなかった。これは計算機シミュレーションの結果と同様の傾向である。このことから、評価システムの性能と計算機シミュレーションの性能を制限する主要因は一致していると考えられる。

・シングルキャリア信号が自己干渉除去量に与える影響

送受信機の不完全性を考慮した自己干渉除去を行う際に、信号の複素平面での分布が性能差に影響することを明らかにしている。本評価では、これまでに検討していたマルチキャリア信号だけでなく、シングルキャリア信号を用いて自己干渉除去量に与える影響を明らかにする。シングルキャリア信号にFSKとPSKを用いた。信号の複素平面での分布の特徴から、FSKは定包絡信号であり、PSKは振幅変動が中程度の信号である。実験結果より、FSKは入力信号電力によらず高い除去量を示した。また、最大で約50 dBの除去量を達成した。一方で、PSKはマルチキャリア方式よりも除去量が劣化した。FSKの高い除去量は予想と一致しているが、PSKの振る舞いは予想と異なるため、今後さらなる検討が必要である。また、評価システムは、信号の違いによる性能差を測る場合にも十分な構成であることがわかった。

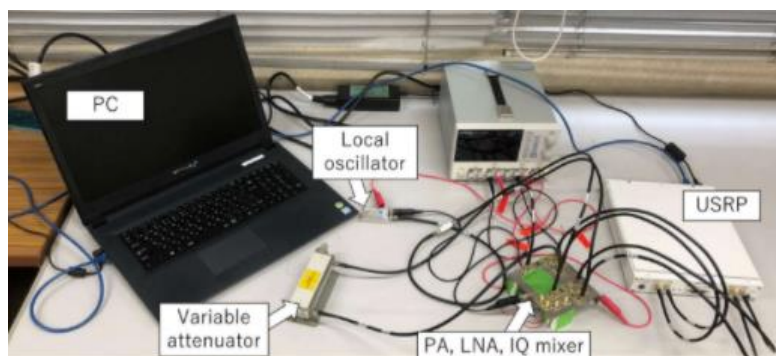


図 5-3-1 自己干渉除去の評価システム

5-4 おわりに

車両間無線通信に応用可能な同一帯域全二重マルチホップ無線通信システムの要素技術として、デジタル自己干渉除去の研究に関して取り組んだ。本報告では、自己干渉除去の性能向上に関する成果と評価システムを用いた評価結果を示した。自己干渉除去における、シミュレーション・理論解析・実機実験の全てを好循環させた結果が得られていると評価できる。

参考文献

- 1) K. Komatsu, Y. Miyaji and H. Uehara, "Frequency-Domain Hammerstein Self-Interference Canceller for In-Band Full-Duplex OFDM Systems," IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 1-6, Mar. 2017.