

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“うまくさぼく”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。

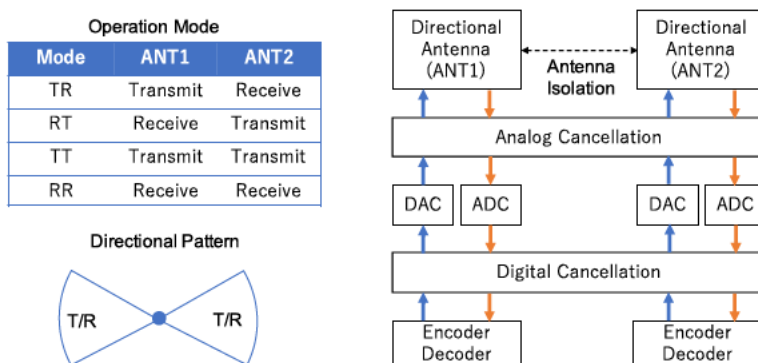


図 5-2-1 同一帯域全二重マルチホップシステムの送受信機構成と動作モード

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

半二重通信において、電力増幅器は、理想的に線形化された飽和特性が最も通信性能が良いとされている。一方、我々は、同一帯域全二重通信において、理想的に線形化された場合の性能を上回る非線形特性の存在を明らかにしている¹⁾。これまでに得られている成果は、電力増幅器の非線形特性を任意に設計可能であることを仮定していた。そこで、既存の電力増幅器モデルを使用し、デジタルプリディストーションによって意図的な非線形化を施すことで、自己干渉除去の性能が向上するかについて検討した。図 5-3-1 にシミュレーション結果を示す。電力増幅器のみ (w/o DPD)、線形化 (Linearizer)、提案する非線形化プリディストーション (NL(SICR), NL(SIDNR)) を比較する。電力増幅器への入力電力が小さい場合は、どの手法においても差が見られない。電力増幅器への入力電力が大きくなるに従い、手法ごとの自己干渉除去性の差が顕著となる。特に、線形化は急激に特性が劣化していることが確認できる。このことは、半二重通信で性能を改善する手法が、必ずしも適切ではないことを表している。提案手法はともに、電力増幅器のみの性能を上回っていることがわかる。これより、既存の電力増幅器に対して、デジタルプリディストーションにより適切に非線形化することで、自己干渉除去の性能が向上することを示せた。

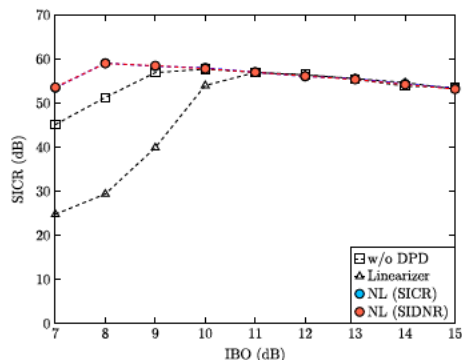


図 5-3-1 電力増幅器への入力電力に対する自己干渉除去量

(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²⁾は、ソフトウェア無線機をデジタル-アナログ変換器として利用し、磁界結合したコイル間を無線伝搬路として構成した。開発したシステムにより、位相雑音と I/Q インバランスの影響を受けずに測定できる。また開発したシステムは、自己干渉除去量を 50 dB 程度まで測定できた。今年度は、上記と同様にソフトウェア無線機をデジタル-アナログ変換器として利用し、追加として外部に高周波回路を配置することで、同一帯域全二重の通信機を構築した(図 5-3-2)。開発した通信機は、局部発振器を送信と受信のミキサに共有することで、位相雑音の影響を著しく低減している。これにより、昨年度に開発した評価システムの自己干渉除去量と同等の性能を見込める。開発したシステムのアンテナ部をケーブルと可変減衰器に置き換えた簡易的な自己干渉除去量の評価において、自己干渉を 50 dB 程度除去できることを確認した。また、我々が検討している、電力増幅器の非線形性とミキサの I/Q インバランスの影響の差異についても評価できることがわかった。



図 5-3-2 自己干渉除去の評価システムの概観

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に関する成果を示した。自己干渉除去における、シミュレーション・理論解析・実機実験の全ての基盤を構築できた。これらの知見をネットワーク・その他の応用に活かして研究を進めていく。

参考文献

- 1) 小松和暉・宮路祐一・上原秀幸, 「非線形自己干渉キャンセラを用いる帯域内全二重のための送信機 AM-AM 特性の最適化」 電子情報通信学会総合大会, 広島大学, 2020.3.17
- 2) 蛭川泰丞・小松和暉・宮路祐一・上原秀幸, 「ベースバンド無線における帯域内全二重のためのヒルベルト変換を組み合わせた自己干渉除去」 電子情報通信学会総合大会, 広島大学, 2020.3.17