

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。

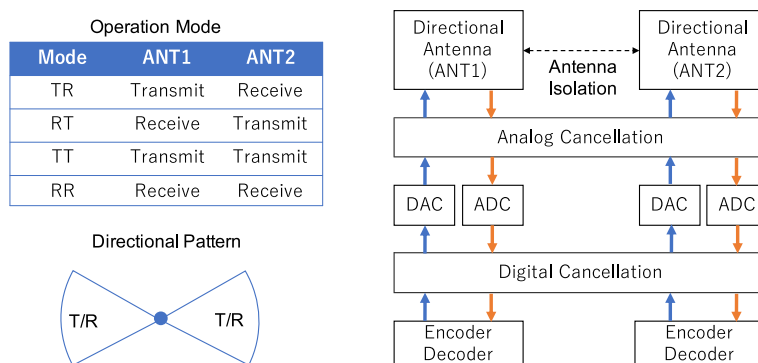


図 5-2-1 同一帯域全二重マルチホップシステムの送受信機構成と動作モード

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、自己干渉除去に関するシミュレーションにより明らかにした局部発振器の位相雑音に対する研究結果¹⁾、理論的解析により明らかにしたデジタル信号処理によるミキサと増幅器の非線形性に対する研究結果²⁾を示す。

（1）自己干渉除去に関するシミュレーション

全二重通信を実現する上で、局部発振器が自己干渉除去の性能に影響することが知られている。そこで、今年度の研究において、局部発振器に Free Running (FR) と Phase Locked Loop (PLL) を用いて、二つの局部発振器の比較について取り組んだ。図 5-3-1 に送受信機間の直接波の伝搬遅延時間に対する自己干渉除去量を示す。局部発振器が独立している（図中の Ind.）のとき、PLL はいかなる伝搬遅延時間においても FR を上回ることが示されている。また、局部発振器を共有する（図中の Com.）ことで自己干渉除去量が大きく改善する。これは局部発振器を共有することで、位相雑音の共通位相誤差が大幅に抑制されるためである。興味深い結果として、伝搬遅延時間が 0.2 ns を境にして、FR と PLL の優劣が逆転することが明らかとなった。これは、伝搬遅延時間の減少に伴い遅延波の位相雑音によるキャリア間干渉の影響が顕著となり、PLL よりも FR の方がキャリア間干渉の影響が小さいためである。一般的には PLL の性能が良いとされているが、自己干渉除去の観点では FR の方が良い状況があることを示唆している。

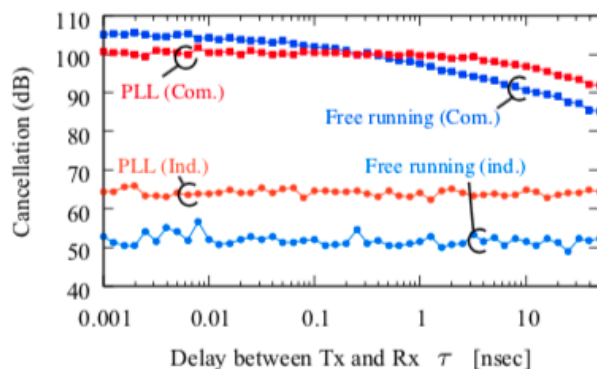


図 5-3-1 送受信機間の直接波の伝搬遅延時間に対する自己干渉除去量¹⁾

(2) 自己干渉除去に関する理論的性能解析

現在までに開発・研究されてきた非線形変換（ミキサの I/Q インバランスと増幅器の非線形性）に対応したデジタル信号処理について、理論的な性能解析は十分に行われていない。今年度は、ミキサ、増幅器とデジタルフィルタそれぞれの非線形特性を二次元ラゲール多項式からなる正規直交基底を用いた一般フーリエ級数で表し、自己干渉除去の性能を理論的に解析した。本解析手法は、昨年度に報告したラゲール陪多項式を用いた手法³⁾の拡張版にあたる。解析手法は等価低域系のシミュレーションにより評価した。解析には、周波数依存性のない I/Q インバランスと固体電力増幅器の特性である Rapp モデルを用いた。図 5-3-2 より、それぞれの除去手法において、解析結果とシミュレーション結果が一致したことから、開発した理論解析方法がデジタルフィルタの性能解析に有効であること示した。

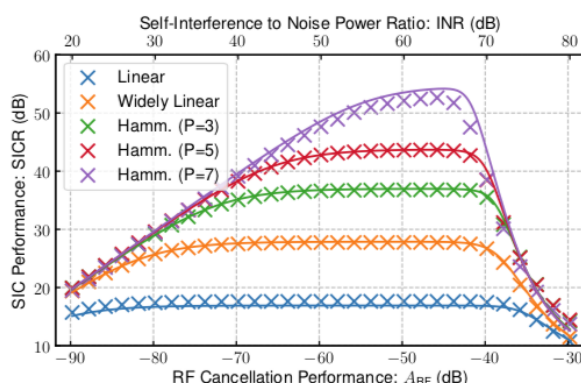


図 5-3-2 自己干渉除去量の理論性能²⁾

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、シミュレーションによる研究成果と理論解析による研究成果を示した。今後は、シミュレーション・理論解析・実機実験による評価を進めていく。

参考文献

- 1) 福井崇久・小松和暉・宮路祐一・上原秀幸, 「帯域内全二重における位相雑音を考慮した局部発振器の比較」電子情報通信学会ソサイエティ大会, 大阪大学, 2019.09.13
- 2) 小松和暉・宮路祐一・上原秀幸, 「非線形自己干渉キャンセラのための二次元正規直交ラゲール多項式を用いた理論的性能解析」RCS 研究会, 宮古島平良港ターミナルビル, 2019.06.20
- 3) 小松和暉・宮路祐一・上原秀幸, 「非線形自己干渉キャンセラのためのラゲール陪多項式を用いた理論的性能解析」RCS 研究会, 沖縄産業支援センター, 2018.11.21