

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。

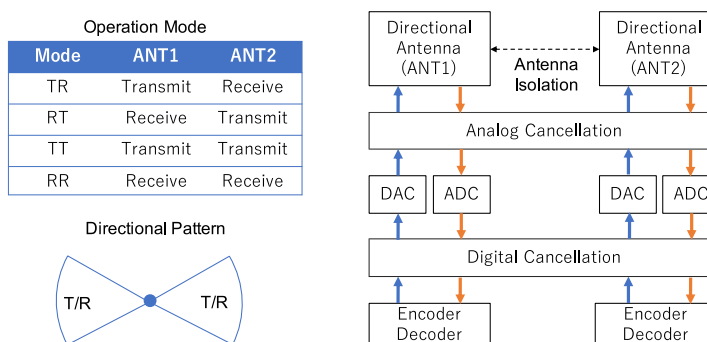


図 5-2-1 同一帯域全二重マルチホップシステムの送受信機構成と動作モード

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。本年度の成果として、アナログ信号処理によるミキサの I/Q インバランスと局部発振器の位相雑音に対する研究結果¹⁾、デジタル信号処理による増幅器の非線形性に対する研究結果を示す²⁾。

(1) アナログ信号処理

これは、受信機に入り込む強い自己干渉信号が増幅器で非線形増幅することや、アナログ-デジタル変換器（図 5-2-1 中の ADC）のダイナミックレンジの飽和を防ぐための技術である。一般的に、高周波アナログ回路により、送信信号の一部を減衰器・移相器によって振幅・位相を調整し受信信号と合成する手法が用いられる。しかしながら、伝播において複数の遅延波が生じ、これらの遅延波に応じたアナログ回路が必要となる。対して、複数の遅延波に補助送信機が有効であることが知られている。本年度は、I/Q インバランスと位相雑音のある送受信機において補助送信機を用いた自己干渉除去について取り組んだ。また、アナログ段を高周波領域とベースバンド領域とに区別し、どちらの領域で自己干渉を除去すべきか、シミュレーションにより評価した。シミュレーションの結果より、除去性能は信号の伝播遅延の影響が支配することがわかった。また、送信機-補助送信機間の時刻同期の精度、送信機-受信機間の端末距離によって、除去性能の優劣が変化することを明らかにした。つまり、基地局、車両、携帯端末における送受信機の配置に対して、高周波領域で除去すべきかベースバンド領域で除去すべきかの重要な指標を得られたことになる。今後はこれらの理論解析についても取り組む。

(2) デジタル信号処理

前述したアナログ信号処理によって残留した自己干渉は、デジタル信号処理による除去を施す。また、5-3(1)で述べたアナログ信号処理では、増幅器の非線形性に対処していないため、残留した自己干渉は非線形変換の影響を受けている。現在までに開発・研究されてきた非線形変換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。本年度は、増幅器とデジタルフィルタの非線形特性をラグール陪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、デジタルフィルタの性能を理論的に解析した。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。今回用いた増幅器のモデルは、理想的な特性であるソフトリミットモデルと固体電力増幅器の特性である Rapp モデルを用いた。それぞれの増幅器のモデルにおいて、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。今後はこれらの実験評価にも取り組む。

5-4 ネットワークにおける自己・他端末干渉の影響

無線ネットワークでは、自己干渉だけでなく他端末からの干渉についても考慮する必要がある。そこで、図 5-2-1 で示した送受信機でネットワークを形成した際の自己・他端末干渉の影響について調査した³⁾。無線ネットワーク (図 5-4-1 左) は、四台の端末により構成する。それぞれは、送信端末、中継端末 1、中継端末 2、あて先端末の機能が割り振られる。また、点線で囲われている中継端末 1 と 2 は、図 5-2-1 に示した送受信機構成とする。このような構成にすることで、送信-中継 1 (link 1)、中継 1-中継 2 (link 2)、中継 2-あて先 (link 3) の三組の通信を同時に行うことが可能となる。それぞれのリンクでのビット誤り率 (図 5-4-1 右) を評価した。cancellation の項目は除去する干渉の種類を表している。結果より、自己・他端末干渉の影響の大きさは、 $SI > B-IFI > F-IFI$ となった。また、全ての干渉を除去することにより、 10^{-4} オーダの誤り率を達成した。理想的な TDMA での誤り率には達成していないことから、今後さらなる改善が求められる。

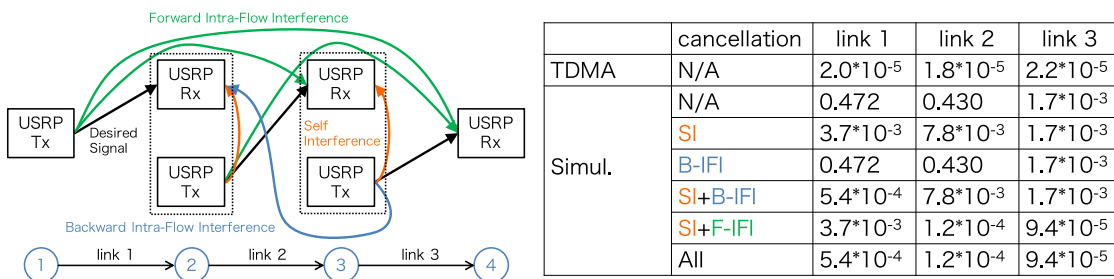


図 5-4-1 四端末で構成される無線ネットワークの実験 (左図: ネットワーク構成, 右図: ビット誤り率)

5-5 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、アナログ信号処理とデジタル信号処理による自己干渉除去技術を開発した。また、無線ネットワークにおける自己・他端末干渉の影響を明らかにした。

参考文献

- 1) 福井崇久・小松和暉・宮路祐一・上原秀幸, 「I/Q インバランスと位相雑音を考慮した補助送信機によるアナログ自己干渉除去の伝搬遅延の影響」 RCS 研究会, 沖縄産業支援センター, 2018.11.21
- 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ラグ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
- 3) 小網 敦・小松和暉・宮路祐一・上原秀幸, 「全二重通信における干渉除去がビット誤り率に与える影響」 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 金沢大学, 2018.9.14