

Beyond5G を目指した Full Duplex リレーの初期検討

Initial Study of Full Duplex Relay for Beyond5G

栗原啓弥¹⁾

指導教員 前山利幸¹⁾

1) 拓殖大学 大学院工学研究科 機械・電子システム工学専攻 前山研究室

キーワード: Beyond5G, 6G, Full duplex, Octave

1. はじめに

2030 年には第 6 世代移動通信システム(B5G or 6G)の利用が開始される. 無線アクセス技術は世代毎に代表的な通信方式が存在したが, 6G ではさらに多くの無線技術の組み合わせが必要となると考えられており, 更なる周波数利用効率の改善策が期待されている. その候補の一つとして, 基地局と端末との間の上下リンクにおいて, 信号伝送を同一周波数帯域で同時送受信する全二重通信 (Full Duplex) の研究開発が進められている. 従来の FDD(Frequency Division Duplex)方式と比較して周波数利用効率は 2 倍, TDD(Time Division Duplex)方式と比較して時間効率は 2 倍となり, 条件により 2 倍程度の通信容量を実現できるという利点がある[1].

本稿では Full duplex リレー通信(以下 FDR)と従来法である Half duplex リレー(以下 HDR)のアウトージ確率の基礎的な検討について Octave[2]で評価を行ったのでその結果を報告する. アウトージ確率とは, 通信が失敗する確率のことである.

2. Full duplex

2.1 Full duplex とは

Full duplex は, 基地局と端末との間の上下リンクにおいて信号伝送を同一周波数帯域で同時送受信する全二重通信のことをいう. 現在移動通信で用いられている半二重通信(Half duplex)には, 上下リンクの信号伝送を別の周波数で送受信する FDD や, 異なる時間に送受信する TDD がある.

2.2 Full duplex の仕組み

図 1(a)に既存の半二重無線通信器, (b)に全二重無線通信器の構成要素を示す. 既存の半二重無線通信器は端末本体, 制御回路, デジタル送信回路, デジタル受信回路, アナログ送信回路, アナログ受信回路, 送受信アンテナから構成される. 半二重通信では 1 つのアンテナを送信時と受信時に切り替えて共有している.

全二重無線通信器は半二重無線通信器と比較して, 送信アンテナと受信アンテナが分離され, アナログ送信回路・アナログ受信回路の間にアナログキャンセル回路を, デジタル送信回路・デジタル受信回路の間にデジタルキャンセル回路を挿入した構成になっている. 二つのキャンセル回路は自己干渉をキャンセルする回路である. 自己干渉とは, 自身の送信アンテナから放出された高い電力の送信信号を, 隣接する自身の受信アンテナが受信してしまい, 受信アンテナに到達してくる弱い受信信号に対して干渉が起こるといふ現象である[1].

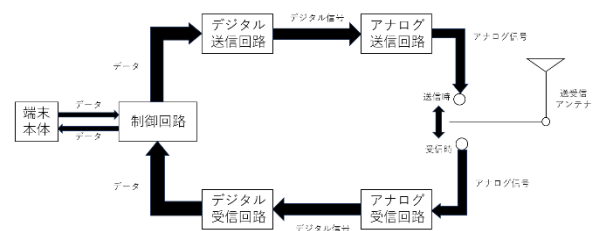


図 1 (a) 半二重通信器の構成図

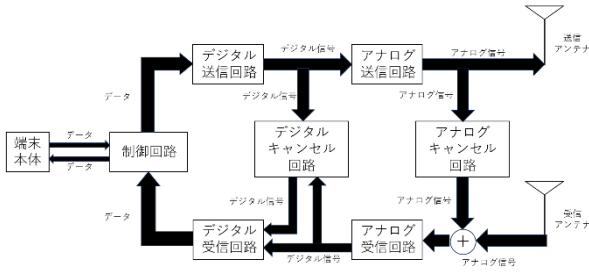


図 1 (b) 全二重通信機の構成図

3. アウテージ確率において FDR が優れる条件

FDR を導入するためには従来法である HDR より低いアウテージ確率を満たす必要がある。FDR のアウテージ確率 P_0^{FDR} を導出する閉形式を (1) に示す [3].

$$P_0^{FDR} = 1 - \frac{\exp\left(-\left(\frac{1}{\pi s, r} + \frac{1}{\pi r, d}\right) \frac{(2^{RT}-1)}{SNR}\right)}{(1+(2^{RT}-1)/SIR_r)(1+(2^{RT}-1)/SIR_d)} \quad (1)$$

ここで, $\pi s, r$, $\pi r, d$ は送信端末 (s)-リレー (r) 間, 送信端末 (s)-受信端末 (d) 間の干渉チャネルの分散値, SNR は SN 比, RT は目標伝送レート, SIR_r , SIR_d はリレーと受信端末での SIR (Signal-to-Interference Ratio) であり, $SIR_r = \pi s, r / \pi r, r$, $SIR_d = \pi r, d / \pi s, d$ で表される。また, 比較のためにダイバーシティを考慮した HDR-D (Diversity) のアウテージ確率 P_0^{HDR-D} を導出する閉形式を (2) に示す。ダイバーシティとは, 複数のアンテナを離したり, 方向, 偏波を変えたりすることで得られる複数の受信出力を合成, 切り替えを行うことで受信電波のレベル変動を少なくする技術である。

$$P_0^{HDR-D} = 1 - \frac{\pi r, d}{\pi r, d - \pi s, d} \exp\left(-\left(\frac{1}{\pi s, r} + \frac{1}{\pi r, d}\right) \frac{(2^{2RT}-1)}{SNR}\right) - \frac{\pi s, d}{\pi s, d - \pi r, d} \exp\left(-\left(\frac{1}{\pi s, r} + \frac{1}{\pi r, d}\right) \frac{(2^{2RT}-1)}{SNR}\right) \quad (2)$$

同様に, ダイバーシティを使用しない HDR-ND (No Diversity) のアウテージ確率 P_0^{HDR-ND} を導出する閉形式を (3) に示す。

$$P_0^{HDR-ND} = 1 - \exp\left(-\left(\frac{1}{\pi s, r} + \frac{1}{\pi r, d}\right) \frac{(2^{2RT}-1)}{SNR}\right) \quad (3)$$

(1)~(3)の式と, 表 1 に示す諸元から図 2 の結果が得られる。FDR は SN 比が 0 から最大 14 dB まではアウテージ確率が HDR より低いことが見てとれる。また, 15dB 以降は HDR のアウテージ確率は下

表 1 評価諸元

$\pi s, r$	-3 dB
$\pi r, d$	-1 dB
$\pi r, r$ & $\pi s, d$	-8 dB · -16 dB
SN 比	0 ~ 20 dB
RT	0.5 bps/Hz

Outage probabilities of FDR, HDR-ND, HDR-D

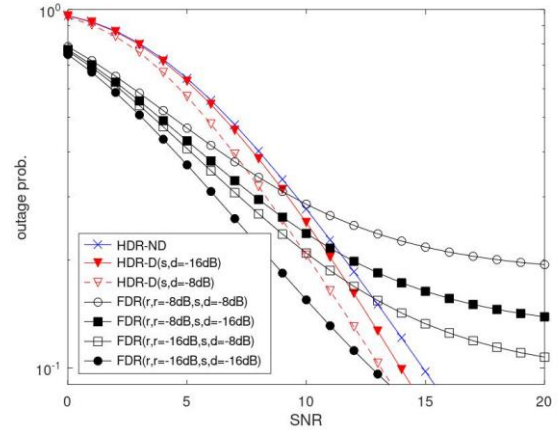


図 2 各方式のアウテージ確率

がり続ける一方, FDR のアウテージ確率は 10^{-1} 付近で停滞し続けている。14dB の時に低いアウテージ確率を出しているのは干渉チャネルの分散値である $\pi r, r$ と $\pi s, d$ が低い値の場合のみであり, ほかの値の組み合わせでは 10dB までしかアウテージ確率において優位性が保証されないことが確認できた。この結果から, FDR で実際の通信を行う場合, 低い SN 比で BER (Bit Error Rate) が高い QAM (Quadrature Amplitude Modulation) は適していない。そのため, QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) や BPSK (Binary Phase Shift Keying) を用いることで, SN 比が低い場面でエラー率を少なくするべきだと考えられる。

4. まとめ

本稿では Full duplex リレーの初期検討を行った。今回の結果から閉形式のモデルを使用してシミュレーションを行っていきたい。

参考文献

[1] 猿渡俊介, 渡辺尚, “全二重無線通信の実用化に向けた課題と可能性,” 電子情報通信学会誌, Vol.101, No.4, pp.387-393, 2018.
 [2] <https://octave.org/>
 [3] T. Kwon, S. Lim, S. Choi, and D. Hong, “Optimal duplex mode for DF relay in terms of the outage probability,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 59, no. 7, pp. 3628-3634, Sep. 2010.