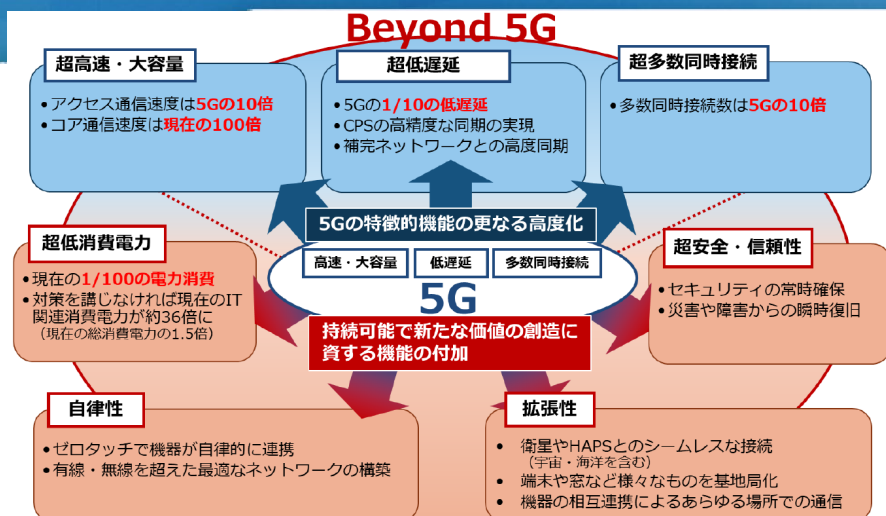


電波資源の究極利用を目指した 全二重無線通信技術への挑戦

松村 武

国立研究開発法人情報通信研究機構
ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室

1. 背景
2. 帯域内フルデュプレクス (IBFD, In-band Full-duplex)
3. IBFD適用基地局の要素技術開発 (自己干渉キャンセル技術)
 1. 小型高アイソレーションアンテナの試作例
 2. マルチバンド対応高周波アナログフロントエンドの試作開発
 3. 怠惰学習を用いた自己干渉キャンセル技術の検討
4. まとめ



総務省, “Beyond 5G 推進戦略 –6Gへのロードマップ–,” 2020/6

5Gの更なる高度化

➤ 100Gbps、E2E遅延: 1ms、1000万台/km²

B5Gで求められる新たな機能

➤ 自律性、拡張性、超安全・信頼性、超低消費電力

通信性能／技術

◆ 新しい通信基盤技術(通信方式、インフラ)

◆ 実用的なミリ波、テラヘルツ波の通信技術

◆ 空中、海中、宇宙をも対象とした通信技術

干渉制御技術

◆ 干渉把握によるシステム共存技術

◆ 機械学習等を用いた干渉抑圧技術

◆ 干渉制御機能を有する無線アクセス方式

高信頼・ロバストなヘテロジニアスネットワーク

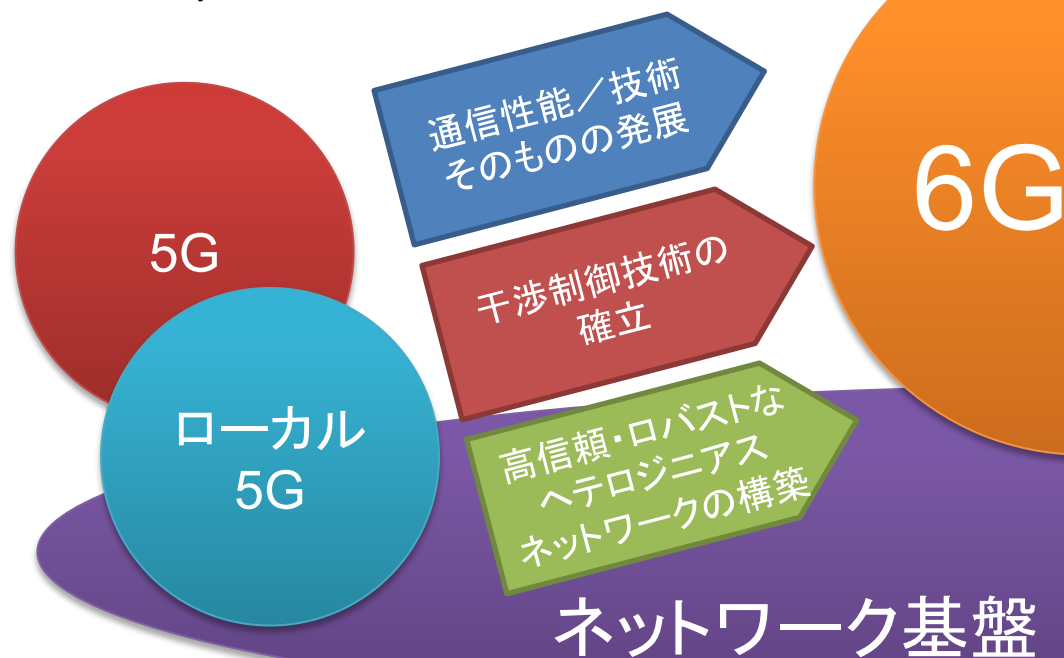
◆ ネットワーク間協調技術

◆ ダイナミックなシステムリソース制御技術

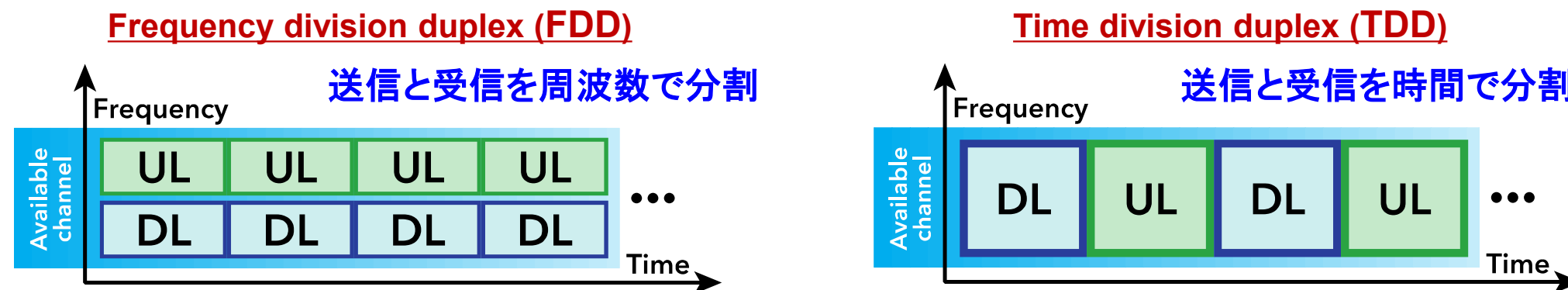
ネットワーク基盤技術

◆ 高度セキュリティ技術

◆ CPSによるネットワーク検証／構成技術

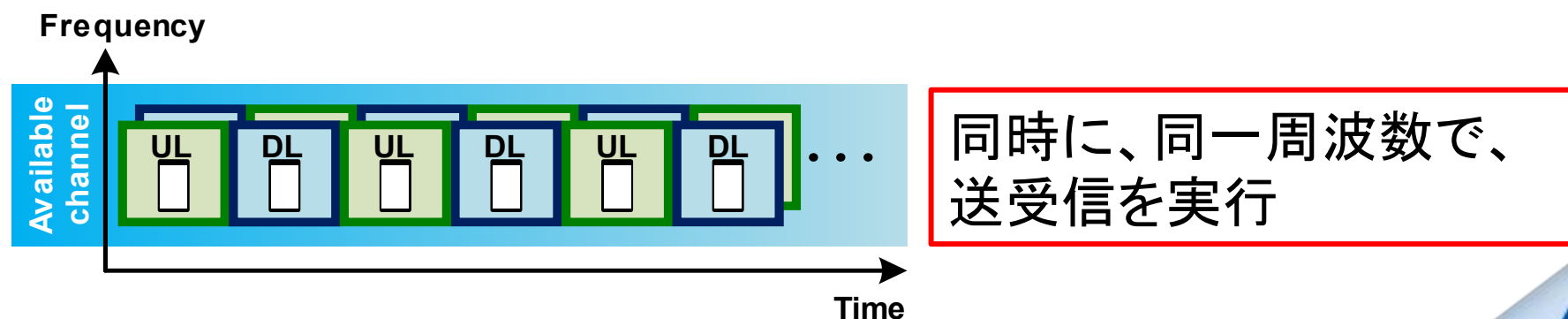


- 4G/5Gにおける既存の複信方式



複信技術の高度化による周波数利用効率の向上

- 帯域内フルデュプレクス (IBFD, In-band Full-duplex) 方式



● IBFDの適用形態

- ▶ 基地局1台に対し2台のUEが接続
- ▶ 基地局はDL通信とUL通信を同時に実行



理想的には、周波数利用効率が2倍

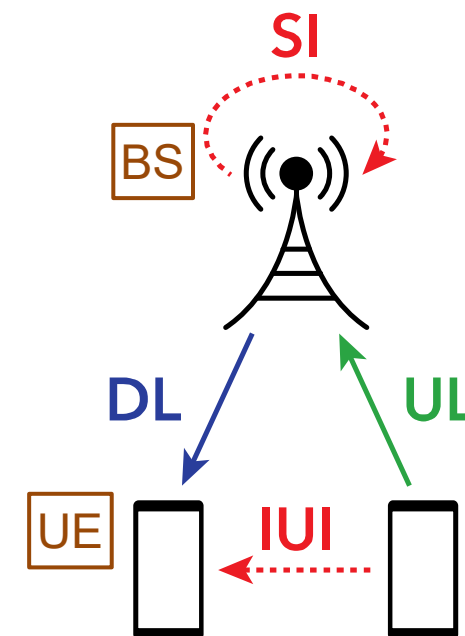
● IBFDの適応における課題

- ▶ DL/UL同時通信における新たな端末間干渉
 - ▷ 端末選択スケジューリング等である程度は抑圧できる
- ▶ 基地局の送信信号が受信信号に与える自己干渉 (SI, Self-Interference)
 - ▷ 基地局自体にSIキャンセル機能を実装する必要がある



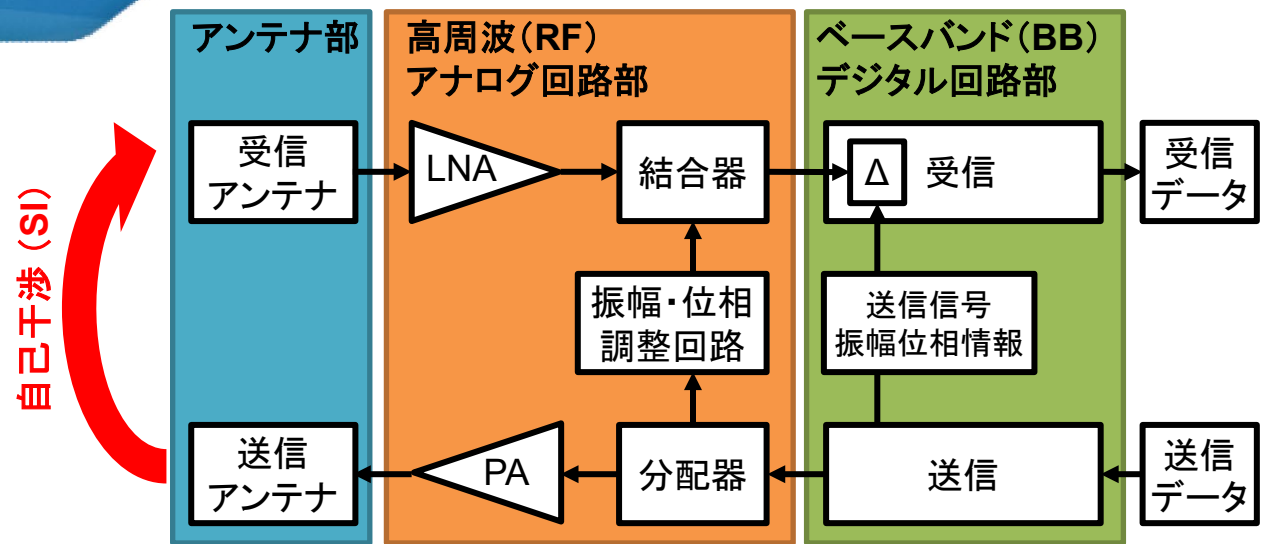
NICTは京大と連携し、IBFDを適用する基地局技術の開発を実施

User paired FDC: UP-FDC



*IUI: Inter-UE interference

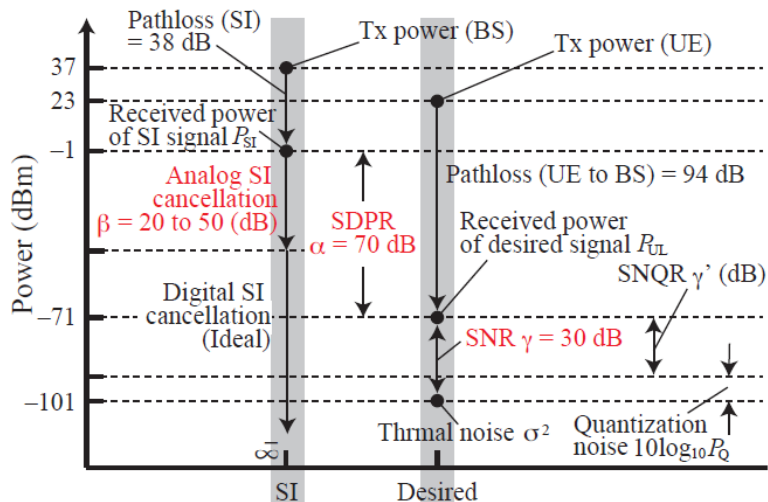
RFフロントエンドに求められるSIキャンセル性能



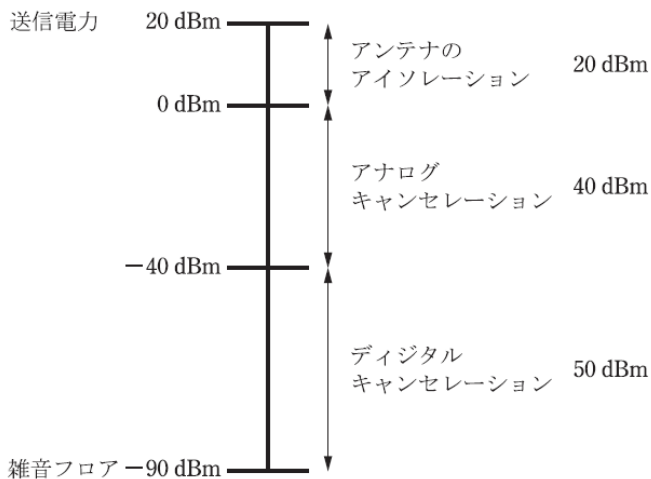
キャンセル性能配分

ステージ	キャンセル性能
アンテナ	> 20-30 dB
アナログ回路	> 20-30 dB
デジタル回路	> 50-60 dB

参考:セルラシステム



参考:Wi-Fiシステム



K. Mizutani and H. Harada, "Analytical Model of Quantization Noise for In-band Full-duplex Wireless Communications," in Proc. WPMC2020, pp. 204-209, Oct. 2020.

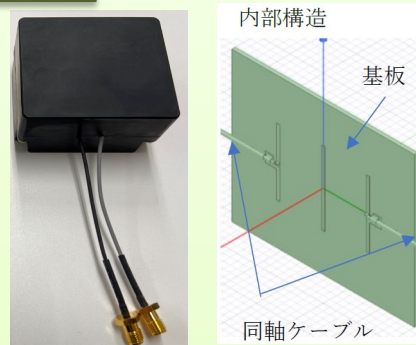
猿渡, 渡辺, "全二重無線通信の実用化に向けた課題と可能性," 電子情報通信学会誌, Vol. 101, Vol. 4, 2018.

本小型高アイソレーションアンテナは日星電気株式会社に製造を委託したものです。

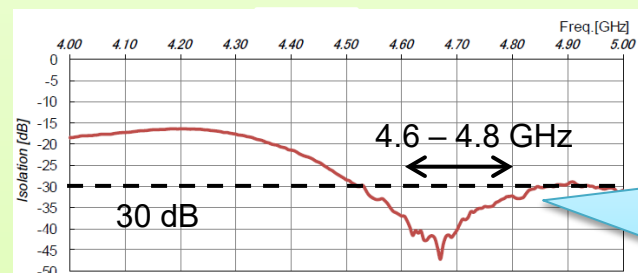
● 4.7GHz帯の小型高アイソレーションアンテナ試作開発例

指向性有

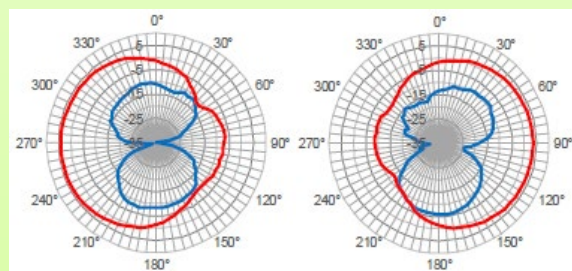
- ▶ 指向性に応じた端末選択、ペアリング
- ▶ 最大ゲイン 5dBi
- ▶ 30dB以上のアイソレーション



試作アンテナ外観と内部構造
(60mm × 50 mm × 30 mm)



周波数を限定すれば
40dBのアイソレーション

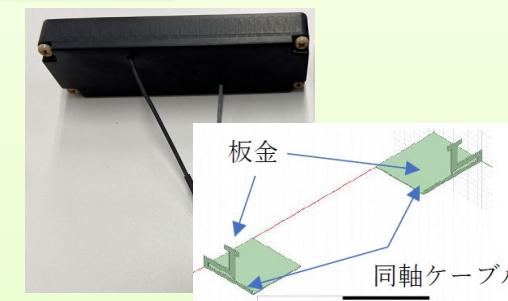


— V偏波
— H偏波

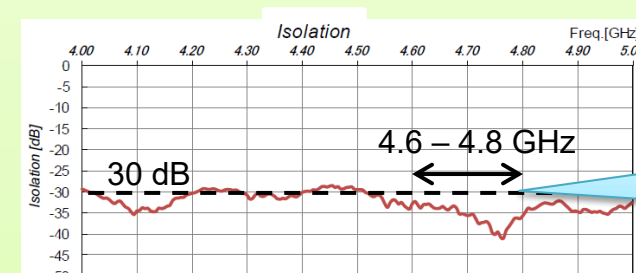
指向性及びアイソレーション特性

指向性無

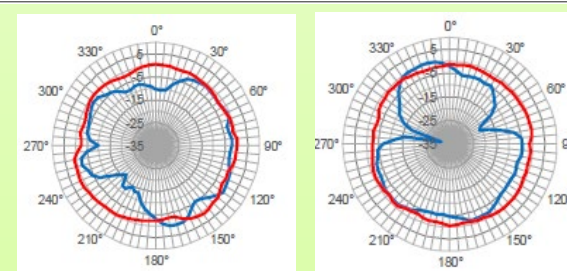
- ▶ 任意の端末を選択、ペアリングが可能
- ▶ 最大ゲイン -5dBi
- ▶ 約30dBのアイソレーション



試作アンテナ外観と内部構造
(100mm × 50mm × 25mm)



概ねフラットな
周波数特性

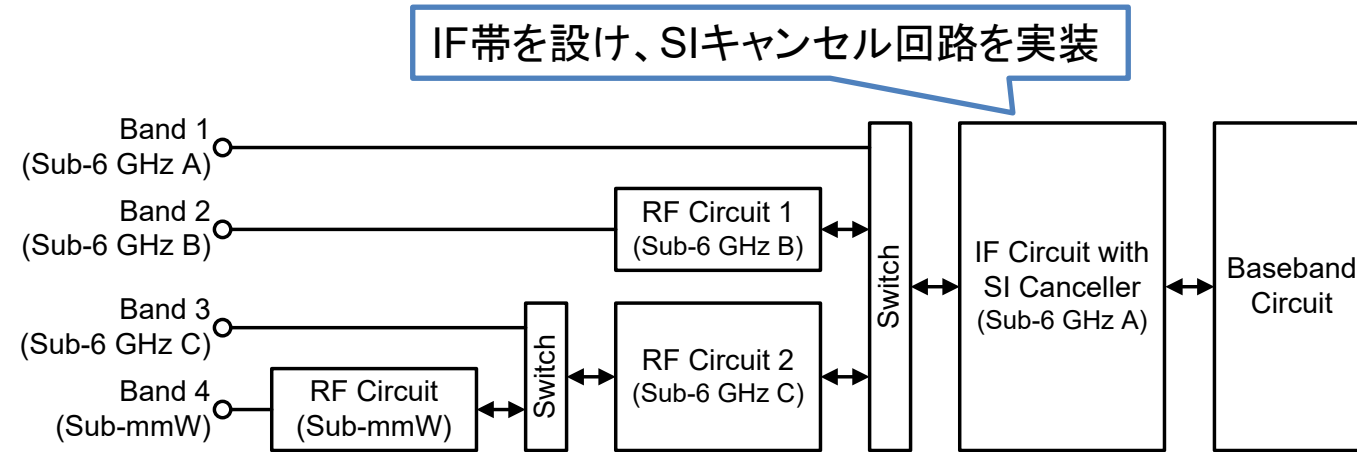


— V偏波
— H偏波

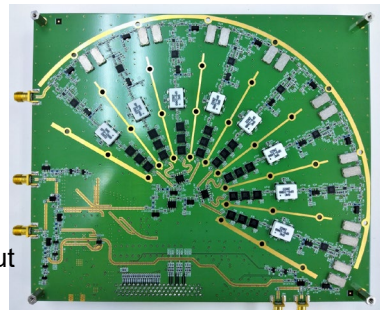
指向性及びアイソレーション特性

● RFフロントエンド構成

- ▶ 共通IF帯でSIをキャンセル
 - ▷ 周波数帯ごとの回路設計が不要
 - ▷ RF回路の切替で複数周波数に対応
 - ▷ 周波数帯ごとの回路遅延に合わせた位相・振幅制御が必須



適応型遅延回路を実装した
IF回路試作基板



Rx
IF_in
Rx
IF_out

Tx IF_out Tx IF_in

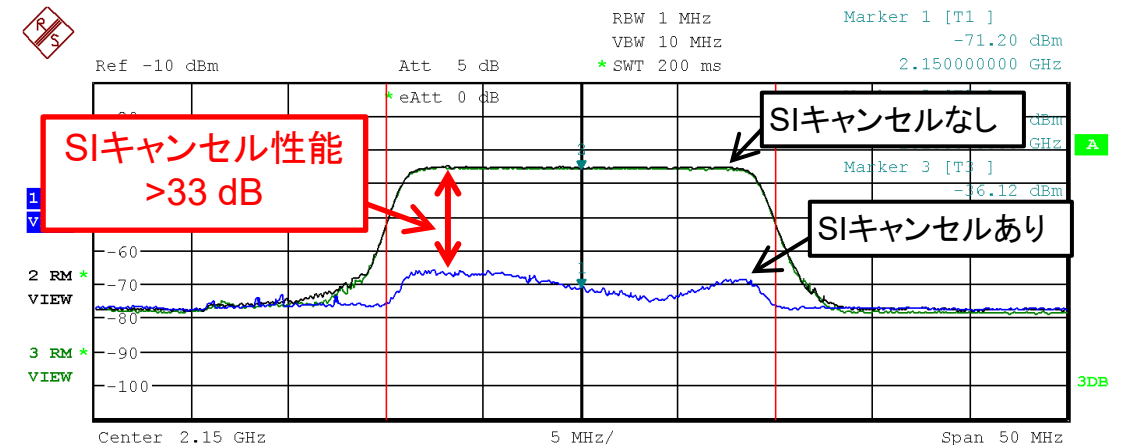
RFフロントエンド試作基板



適応型遅延回路の遅延実測結果

Tap	1	2	3	4	5	6	7	8
Delay (ns)	8.4	12.9	17.7	22.3	27.0	31.4	36.2	41.1

4.7GHz帯SIキャンセル性能測定結果



28GHz帯においても26dBのSIキャンセル性能を確認

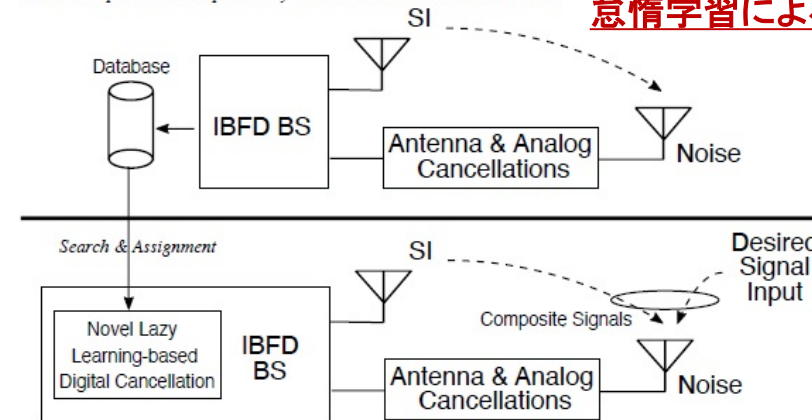
松村ほか, “マルチバンド対応フルデュプレクス基地局実現に向けたアナログ自己干渉キャンセル回路の試作開発,” 信学技報, vol. 120, no. 298, RCS2020-144, pp. 54-59, 2020年12月.

● 怠惰機械学習を用いたSIキャンセル技術の評価

- ▶ 静的環境において、30dB以上のSIキャンセル性能が得られることを確認
- ▶ チャネル推定誤差、データベース規模(位相分解能等)による提案手法の優位性を確認
- ▶ パワーアンプの歪、雑音やフェージングの影響についても評価中

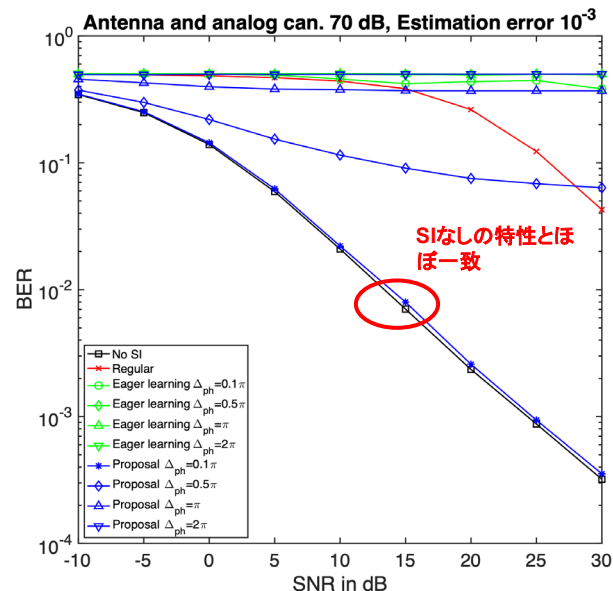
Offline: SI plus noise are previously measured and recorded to database

怠惰学習によるSIキャンセル方式

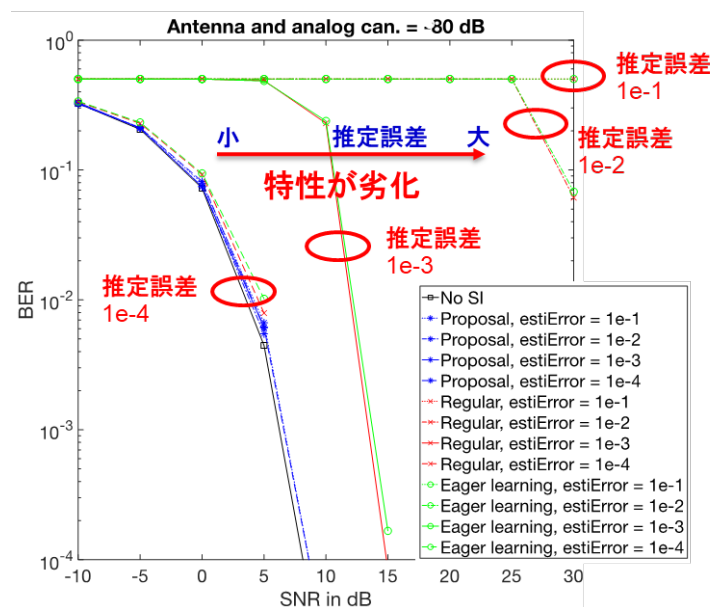


Online: Desired signal is separated by subtracting the recorded SI plus noise from received composite signals

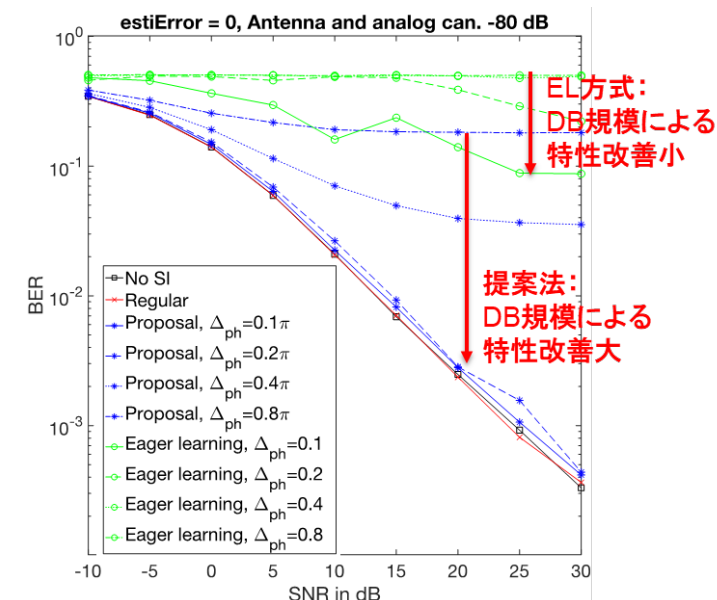
(c) Proposed method



静的環境における特性比較



チャネル推定誤差による特性比較



データベース規模による特性比較

- 理想的に2倍の電波利用効率が期待できる「帯域内フルデュプレクス (IBFD)」とその実装技術について述べた。
- NICTでは、IBFDが適用可能な基地局技術の開発を実施しており、基地局におけるSIキャンセルの要素技術を紹介した。
 - ▶ 小型高アイソレーションアンテナの試作例を示した。
 - ▶ マルチバンド対応高周波アナログフロントエンドの試作開発例を示した。
 - ▶ 怠惰学習を用いたデジタルキャンセル回路の検討結果を示した。

ご清聴ありがとうございました。

国立研究開発法人情報通信研究機構
ワイヤレスネットワーク総合研究センター
ワイヤレスシステム研究室

松村 (matsumura@nict.go.jp)

本研究開発は、総務省の「第5世代移動通信システムの更なる高度化に向けた研究開発 (JPJ000254)」によって実施した成果を含みます。