

AAS

EBF/FD-MIMO



LTE-Advanced Release 13標準化

LTE-Advanced Release 13における マルチアンテナ送受信および受信機能改善技術

近年のトラフィックの急増へ対応するため、3GPPでは 無線基地局のさらなる高度化が検討されている.LTE-Advanced Release 13では、無線基地局のアンテナポート の2次元配置やポート数増加を実現する技術が仕様化され た.また、無線信号の送受信機能とアンテナの一体化によ り、柔軟なエリア構築を可能とするアクティブアンテナの 無線性能規定が策定され、さらに、隣接セルから到来する 上りリンクの干渉を低減する干渉抑圧合成受信器を想定し た性能規定の策定も行われた.本稿では、これら技術の特 徴と、3GPPにおける標準化動向を解説する.

先進技術研究所 5G推進室	さの ょうすけ 佐野 洋介
先進技術研究所	ふくだ ぁっし 福田 敦史
無線アクセス開発部	まくやま すぐる 奥山 卓
DOCOMO Innovations, Inc.	^{かきしま ゆういち} 柿島 佑一
ドコモ北京研究所	Chongning Na

1. まえがき

近年,スマートフォンやタブレッ ト端末の普及,および端末の高機能 化に伴う高精細動画サービスやビデ オ通話などの大容量コンテンツの利 用増大により,トラフィックが急増 している.そこで3GPPにおいて, より高速・大容量サービスを提供す るため,無線基地局のさらなる高度 化が検討されている.

LTE-Advanced^{*1} Release 13 (以 下, Release 13) 仕様では, 基地局 におけるアンテナポート配置を従来 の1次元から2次元に拡張し, またさ らなる送信アンテナポート数の増加 を実現するEBF/FD-MIMO(Elevation BeamForming/Full Dimension-MIMO)の機能規定が策定された. また,このような機能を実現する手 段の1つとして無線信号の送受信機 能とアンテナを一体化させることに より,基地局の小型化,電力効率の 向上,および柔軟なエリア構築を可 能とするアクティブアンテナ基地局 (AAS:Active Antenna System)が あり,AASに求められる無線性能規 定が策定された.さらに,無線信号 処理の高度化により隣接セル*2から 到来する上りリンクの干渉を効果的 に抑圧する干渉抑圧合成(MMSE-IRC: Minimum Mean Squared Error-Interference Rejection Combining) 受信器を想定した無線性能規 定の策定も行われた.

本稿では、これらの新しく導入さ れた機能や装置とその規定の概要と ともに、3GPPにおける今後の展望 を解説する.

2. EBF/FD-MIMO

LTEでは、下りリンクMIMO (Multiple Input Multiple Output)*³ 技術の機能拡張が複数のReleaseに わたって続けられている.**表1**およ

©2016 NTT DOCOMO, INC. 本誌掲載記事の無断転載を禁じます.

- *1 LTE-Advanced: LTE (Release 8, 9)の 発展形無線インタフェースであり, Release 10以降の仕様として標準化されて いる.
- *2 セル:セルラ方式の移動通信ネットワーク と移動端末との間で無線信号の送受信を行

う最小のエリア単位.

^{*3} MIMO:複数の送信機(送信アンテナ)お よび受信機(受信アンテナ)を用いること により、データレートの高速化あるいは受 信品質の高品質化を実現する技術.

	Release 12	Release 13
送信アンテナ数	1, 2, 4, 8	1, 2, 4, 8, 12, 16
送信アンテナ構成	1次元(水平方向配列)	2次元(水平・垂直方向配列)
SU-MIMOストリーム数	最大8	最大8
MU-MIMOストリーム数	最大4 (最大4移動端末,移動端末あたり最大2ストリーム)	最大8 (最大8移動端末,移動端末あたり最大2ストリーム)





び図1にRelease 12/13の下りリンク MIMO技術および閉ループ型*4プリ コーディングMIMO多重伝送の概要 を示す. Release 13では,水平およ び垂直方向に2次元配列された基地 局アンテナを用いて,水平および垂 直方向の送信ビーム制御を行う技術 であるEBF/FD-MIMOの機能規定 が策定された.

2.1 Release 12における 下りMIMO技術

Release 12では、基地局送信機で 最大8アンテナを用いた下りMIMO 伝送がサポートされている. それぞ れのアンテナからは異なるデータ系 列(ストリーム*5)を同時に送るこ とが可能であり、データレートを増 大することができる(MIMO空間多 重). 加えて、データ系列・送信ア ンテナの組合せごとに異なる複素 ウェイト*6を乗算することで、送信 信号に指向性*7を持たせる、プリ コーディング伝送が可能である. Release 12では、水平方向に並列配 置されたMIMOアンテナを用い、水 平方向のプリコーディング伝送を実 現している. ここで適切なプリコー ディング制御のためには、送信機側 で伝搬路状態情報(CSI:Channel State Information)*8を把握する必 要があり、LTEでは主に2つの手法 が採用されている. ①CSI-RSを用いた手法

> 1つめは、端末からのフィード バック情報を用いる方法である. この方法では、まず、基地局が チャネル状態情報推定用参照信 号 (CSI-RS: CSI-Reference Signal)*⁹をアンテナごとに送 信する.移動端末では、受信し たCSI-RSを基に伝搬路状態を 推定し、あらかじめ決められた プリコーディングウェイトの候 補 (コードブック*¹⁰)の中か ら好適な物を選択する.最後に、 選択したプリコーディングウェ イトのインデックスをCSIの1

- *4 **閉ループ型**:受信機からのフィードバック 情報を用いる方法のこと.
- *5 ストリーム: MIMOに用いられる伝搬路の チャネルに送信されるデータ列.
 *6 複素ウェイト: プリコーディング利得を得

*0 複素フェイト・フリコーティング利得を得 ることなどを目的として送信信号に乗算さ れる複素信号.

- *7 指向性:アンテナの放射特性の1つで,ア ンテナからの放射強度(あるいは受信感 度)の方向特性のこと.
- *8 伝搬路状態情報 (CSI):信号が経由した無 線チャネルの状態を表す情報.

*9 チャネル状態情報推定用参照信号(CSI-RS):無線チャネルの状態を測定するため に送信される既知の信号.

^{*10} コードブック:あらかじめ決められたプリ コーディングウェイト行列の候補.

つであるPMI (Precoding Matrix Indicator)*11としてフィー ドバックする. なお、CSI フィードバック情報はPMIのほ か、送信ストリーム数を制御す るRI (Rank Indicator)*12や適 用変調符号化を実現するための CQI (Channel Quality Indicator)*13などで構成される.

②SRSを用いた手法

2つめは、上下リンクの伝搬 路状態は原理的には同一となる という特性(伝搬路双対性)を 用いた方法である.基地局は上 りリンク参照信号であるSRS (Sounding RS)*¹⁴の受信結果を 基にCSIを推定することができ る。この方法は、上下リンクで 同一の周波数帯を用いるTDD (Time Division Duplex)*15シス テムにおいて特に有効であり, その場合はアンテナおよびRF (Radio Frequency) *¹⁶回路が高 い精度で校正されている必要が ある.

LTEのMIMO伝送は、SU-MIMO (Single-User MIMO) およびMU-



MIMO (Multi-User MIMO) の2種 類に分類される. SU-MIMOは、複 数のデータストリームを単一の移 動端末に割り当てる方法であり, Release 12では最大8ストリームの SU-MIMOがサポートされている. 一方、MU-MIMOは、複数のデータ ストリームを複数の移動端末に割り 当てる方法であり、Release 12では 最大4ストリーム(最大4移動端末, 移動端末当り最大2ストリーム)の MU-MIMOがサポートされている.

2.2 3次元プリコーディング (1)概 要

近年、アクティブアンテナ技術の 進歩により、MIMO送信アンテナ数 増大や、アンテナおよびRF回路の 校正精度が向上している.特に、プ リコーディング制御を垂直方向で行 う場合、隣接セルに対して予期しな い干渉を与えることを避けるため、 垂直方向のアンテナ群を高精度で校 正しなければならないが、それが現 実的になってきている. Release 13 仕様では、この様な背景を基に、基 地局アンテナを水平および垂直方向 に平面配置した2次元アンテナを用

いて、水平および垂直方向のプリ コーディング制御を実現している. この技術は、形成されるビームの指 向性が直交座標系内で3次元に制御 されるため、3次元プリコーディン グや3次元ビームフォーミングなど と呼ばれる.

(2)2つのCSIレポート法

Release 13仕様では、CSI-RSの 送信法およびCSIフィードバック情 報が異なる、2つのCSIレポート法 (クラスやeMIMO-Typeと呼ばれる) が導入された(図2).

①クラスAレポート法

クラスAレポート法はRelease 12の従来法をベースとし、アン テナポート数を最大16とする 多アンテナ化(12および16ア ンテナのCSI-RS送信)および CSIフィードバック情報の2次 元化をサポートした. 12およ び16アンテナのCSI-RSリソー ス(時間・周波数領域における 多重位置など)は、Release 12 のCSI-RSのリソースを複数組 み合わせて確保する. さらに、 水平および垂直方向の伝搬路状 態情報のフィードバックを実



*11 PMI: 好適な下りリンクプリコーダを指定 するために移動端末からフィードバックさ れる情報. コードブック内から選択される 項番として通知される. *12 RI: 好適な送信ストリーム数を指定するため に移動端末からフィードバックされる情報.

*13 CQI:移動端末で測定された下りリンクの 伝搬路状況を表す受信品質指標 *14 SRS:基地局側で上りリンクのチャネル品

CSI (RI/PMI/CQI)

クラスB (N_B=1)

- 質や受信タイミングなどを測定するための 参照信号.
- *15 TDD: 双方向の送受信方式の1つ. 上りリ

ンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用 し、異なる時間を割り当てることにより双 方向通信が可能.

*16 RF:無線通信に使用される周波数,また は無線信号の搬送波に使用される周波数.

現する2次元コードブックを 採用した.本コードブックは, Release 10および12で採用され たダブルコードブック構成*17[1] を用いている.加えて、本コー ドブックは上位レイヤシグナリ ングを用いてアンテナ構成を通 知することで、さまざまなアン テナ構成(異なる水平・垂直ア ンテナ数の組合せやアンテナ間 隔など)や基地局設置環境に適 用が可能な設計となっている. 一方、クラスAレポート法では、 基地局アンテナ数に比例して, CSI-RSのオーバヘッドが増大 する.加えて、基地局の総送信 電力が一定であると仮定した場 合. アンテナ数の増大に応じて CSI-RSのアンテナごとの送信 電力が低下する可能性がある. ②クラスBレポート法

クラスBレポート法では、 CSI-RSに対してビームフォー ミングを適用する事で、CSI-RSのオーバヘッドの低減やカ バレッジの増大を実現する.こ の技術はCSI-RSビームの数 (N_B) に応じて2つの異なる用 途が想定されている.

・N_Bが1の場合,移動端末固有の ビームフォーミングを適用した CSI-RSを送信する事が可能と なる.例えば,基地局は伝搬路 双対性を用いて取得した伝搬路 の事前情報を基に,CSI-RSに ビームフォーミングを適用して 送信する.移動端末はCSI-RS ビームを基にCSIを測定し基地 局にフィードバックする. この 方法では、伝搬路の事前情報を 用いることで、後段のクラスB レポート法 (N_B =1) における CSI-RSオーバヘッドを低減す ることが可能である.

 一方、N_Bが1より大きい場合、 CSI-RSビーム選択を用いた CSIフィードバックが可能とな る. 具体的には、基地局は複数 の異なるビームフォーミングを 適用したCSI-RSを送信する. 移動端末は複数のCSI-RSビー ムのうち、好適なものを選択し、 そのインデックスをCRI (CSI-RS Resource Index) として フィードバックする. 加えて、 選択したCSI-RSビームに対す るCSIをフィードバックする. この方法では、CSI-RSを複数 送信するのでオーバヘッドは増 えるものの、ビームフォーミン グによりその増大を抑えること ができる.

Release 13では,最大8個のCSI-RSビームを用いたビーム選択型の CSIフィードバックが仕様化された. CSI-RSに対してビームフォーミン グを適用するクラスBレポート法は, 高い周波数帯域を用いるため,カバ レッジの課題が想定される5G(第5 世代移動通信システム)において, 一層有効な技術となる可能性がある.

2.3 MU-MIMOの高度化

プリコーディング制御の自由度が 向上するRelease 13では,送信ビー

*18 復調用参照信号(DM-RS):データ復調の ための無線チャネルの状態を測定するため に送信される既知の信号. ム間に高い空間分離能力が期待でき るため、MU-MIMOの運用が一層現 実的となる. Release 13では、最大 8ストリーム(最大8移動端末、移 動端末あたり最大2ストリーム)の MU-MIMOをサポートするため、 下りリンクデータ復調用参照信号 (DM-RS: DeModulation RS)*¹⁸の 機能拡張が行われた. 具体的には、 DM-RSに対して系列長4の符号多重 を用いることで、最大4の直交レイ ヤ数を確保した.

2.4 TDDシステムを想定した 技術拡張

前述の通り、TDDシステムにお いては、伝搬路双対性を用いたCSI 推定法が有効であり、SRSを用い た実装が有効であると考えられてい る.SRSは上りデータ伝送のリンク 適用制御を主目的として設計されて いるが、当該参照信号を、下りデー タ伝送用のCSI推定に用いる場合、 より高精度な伝搬路推定が必要とな り高い参照信号密度が要求される. 加えて、SRSを密にスケジューリン グした場合, 隣接セルからのSRS の干渉レベルが上がり, 伝搬路推定 精度が劣化することが懸念される. そこでRelease 13では、挿入密度増 大および過密スケジューリング回避 を目的として、SRS容量増大が検討 され、TDDシステムにおけるSRS シンボル*19数の増大やSRS多重技 術の拡張を行った.

2.5 今後の展望

Release 13 EBF/FD-MIMOでは

^{*17} ダブルコードブック構成:無線チャネルを 長周期・広帯域な情報と短周期・狭帯域な 情報の組合せで表現する事を目的としてい るコードブック構成のこと.

^{*19} シンボル:伝送するデータの時間単位であ り、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) の場合は複数のサブ キャリアから構成される.各サプキャリア には複数のビット (例えばQPSKなら 2bit) がマッピングされる.

6GHz以下の運用を想定した技術検 討が行われた.一方、5Gを含めた 将来のセルラネットワークでは. 6GHz以上の周波数帯において広い 帯域幅を活用する事が重要となる。 電波伝搬損失が大きい高周波数帯で は、MIMOを用いたビームフォーミ ング技術やダイバーシチ*20技術の さらなる高度化が求められる。中で も、制御信号などのセル共有の信号 に対して、面的および距離的なカバ レッジを実現することが新たな検討 課題となる可能性がある.また、帯 域幅の増大に従ってRF回路の実装 が難しくなることが一般的に知られ ている。RF回路のコスト(例:RF 回路の数)を適切に抑えつつ、高い 利得を得るMIMO装置構成および伝 送技術の検討が求められる.

- 3. AAS
- AASに対応する規定の
 必要性

EBF/FD-MIMOのようにビーム

制御を実現するうえで、多数の無線 信号の送受信機能部とアンテナを持 ち、それらを一体化させたAASが 有効な手段として考えられている。 3GPPにおける従来基地局RF仕様 は、アンテナを含まない無線信号の 送受信機能の性能を規定するもので あるが、新たにAASのようなアン テナー体型基地局のRF仕様が求め られており、Release 13にてAAS RF仕様が策定された[2].

図3に、従来基地局とAASの構成 およびRF仕様の規定範囲の違いを 示す.AASでは、無線信号の送受 信機能とアンテナを一体化すること で、従来送受信機能—アンテナ間の 接続に用いられてきた同軸ケーブル が不要となることから、従来基地局 と比較し、損失低減による電力効率 の向上および基地局装置の小型化が 期待できる.また、複数のアンテナ 間での信号振幅・位相を調整するこ とにより、メインビーム方向を図4 に示すように水平/垂直方向に変更 することができ、より柔軟なエリア 構築が可能となる. さらに、メイン ビーム方向がそれぞれ異なるマルチ ビームを形成することで、一装置で 複数セルのエリア化が可能となるな ど、従来基地局にはない機能の提供 が期待される.

3.2 AAS仕様の特徴

従来の基地局RF仕様に比べ, Release 13 AAS RF仕様は大きく 以下の2点が異なる.

・1点めは、規定点*²¹の違いである。従来は無線信号の送受信機能とアンテナの境界点であるコネクタを規定点とし、アンテナへの入出力信号の特性を規定していた(以下,Conducted規定)のに対して、AASではコネクタ(AAS仕様ではTABコネクタ(Transceiver Array Boundary Connector)と呼ぶ)でのConducted規定に加えて、アンテナも含めた基地局のRF仕様



*20 ダイバーシチ: MIMOアンテナを用いて通 信の質や信頼性の向上を図る技術の総称で あり,特に閉ループ型でないもの. *21 規定点:基地局RF仕様が規定されるポイ ント.ここでアンテナへの入出力信号の特 性,または電波放射/受信空間上の特性を 測定することにより,基地局装置が3GPP 仕様を満たしているかを確認する. を規定するために新たにアンテ ナからの電波放射空間上に規定 点を設け、一部特性については すべてのアンテナの合成後の 放射特性も規定(以下,OTA (Over the Air)規定)された. Release 13では、OTA規定とし て、①放射送信電力精度規定 (Radiated transmit power accuracy requirement)*²²と②無 線受信感度規定(OTA sensitivity requirement)*²³の2種類 が規定され、アンテナを含めた 性能を評価することができる. ・2点めは、conducted規定におけ る規定単位の違いである.従来 は前述のコネクタを規定点とし、 コネクタ当りで無線特性を規定 していた.一方、AAS RF仕様 ではTABコネクタ当りの規定 に加え、一部仕様では複数TAB コネクタ総和で無線特性を規定 している.

(1)OTA規定内容

①放射送信電力精度規定

従来のconducted規定における 送信電力精度に相当するものと して、電波放射空間上の放射送 信電力精度がある. これら2つを 同等な特性とするために放射送 信電力精度をアンテナの利得/ 偏差*²⁴も含めて規定する必要が ある. そのために,等価等方放 射電力(EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power)*²⁵[2][3] が用いられた.本規定は,ビー ム内のEIRPの最大値に対して 適用される. 当該ビームにおい てEIRPが最大となる方向を, 以下では送信ビーム方向をさまざ まに変えた際の,ビーム内の



図4 AASにおけるメインビーム方向変更



 *22 放射送信電力精度規定(Radiated transmit power accuracy requirement):アンテナ からの電波放射空間上に設けられた規定点 における送信電力精度に関する規定.
 *23 無線受信感度規定(OTA sensitivity requirement):アンテナへの電波受信空間上 に設けられた規定点における受信感度に関 する規定. *24 偏差:アンテナ利得の変動を示す指標. *25 等価等方放射電力(EIRP):電波放射空間 上に設けられた規定点における送信電力. EIRPの最大値とその偏差を例 示する。 送信ビーム方向のEIRP 値に許容される偏差を放射送信 電力精度(図5中の規定精度範 囲)として規定した、また、ど の方向に送信ビームを向けられ るかは装置ごとに異なり、アン テナ利得および偏差は送信ビー ム方向に依存し変化する. 規定 を満足できる送信ビーム方向も 情報として必要となることから、 図6に示すような放射送信電力 精度を満たすことのできる送信 ビーム方向の範囲 (EIRP accuracy directions set) を装置ご とに宣言する。 当該範囲内にて 放射送信電力精度が規定値内と なることが仕様として求められ る. また、この範囲内でEIRP の絶対値が最大となる送信ビー ム方向.およびその方向を基準 とし θ / ϕ のそれぞれを最大/ 最小とした4方向の計5方向で 試験を行う. 試験は規定精度を 満足しているか確認するために

行われるが、範囲内に無数に存 在するすべての点で試験を行う ことは非現実的であり、最低限 代表5方向で試験を行うことが 課せられている.本仕様では、 θ/ϕ 共に送信ビーム方向を変 えられるAAS、 θ/ϕ いずれか 一方、もしくは共に送信ビーム 方向を変更できないAAS、い ずれも対象となる.共に変えら れる場合は、一般的に図6に示 すようなEIRP accuracy directions setとなる.

②無線受信感度規定

無線受信感度も放射送信電力 精度と同様の理由により,等価 等方感度(EIS: Equivalent Isotropic Sensitivity)*²⁶[2]が指標 として用いられた.ビーム内の 受信アンテナ利得が最大となる 方向を,以下では受信ビーム方 向と呼ぶ.端末からの信号を受 信しそのスループット*²⁷が最 大値の95%を達成することを 無線受信感度として規定した. 本規定を満足できるかは、受信 ビーム方向と端末からの受信信 号到来方向の関係。およびEIS 値に依存することから、AAS ベンダはEIS値と、そのEIS値 にて無線受信感度を満たすこと のできる受信信号到来方向の範 囲(Receiver target redirection range)を宣言する.図7に例を 示す. ある受信ビーム方向に対 して, 無線受信感度を満足する 端末からの受信信号到来方向範 囲をsensitivity RoAoA (Range of Angle of Arrival) と定義し、 受信ビーム方向をさまざまに変 えていった際の, sensitivity RoAoAの集合をReceiver target redirection rangeと定義する. 無数に存在するすべての点で試 験を行うことは非現実的である ため、放射送信電力精度と同様 に、 試験はReceiver target redirection range内の代表5方向 で実施される。



*26 等価等方感度(EIS):電波受信空間上に設けられた規定点における受信電力.
 *27 スループット:単位時間当りに,誤りなく伝送される実効的なデータ量.



これら2つのOTA規定により、従 来では規定されていなかった、アン テナを含めた無線特性規定が定まり、 それによる評価が可能となった. (2)複数TABコネクタ総和での規定

複数TABコネクタ総和で規定され る規格に、希望周波数帯域外への不 要な電力放射に当たる不要発射の許 容値規定(Unwanted emission) があ る. 従来では、前述の通りコネクタ 当りで許容不要発射量が規定されて いた.一方AASでは、多数の無線信 号の送受信機能およびアンテナを具 備することが想定され、従来と同様 にTABコネクタ当りで規定すると、基 地局トータルでの許容不要発射総量 が大幅に増加してしまう懸念があっ た.そこで、①基地局トータルの不 要発射総量が,従来規定の同時送信 ストリーム数上限に相当するアンテ ナポート数8における許容値総量を超 えないこと、②一装置で複数セルを カバーする場合には、セル間での不 要発射量の偏りを防ぐため不要発射 規定はセル当りで規定する,という 2点を踏まえ以下のように規定された.

- ・送受信機能数もしくはセル数
 ×8の最小値をN_{TXU, counted}とする
 (送受信機能数が多い場合は後 者を上限とする)
- ・ $N_{TXU, \ countedpercell}$ を $N_{TXU, \ counted}$ /セル数とする
- ・ある1セルに対して送受信を 行う複数TABコネクタをグ ループとし、そのグループ当 りで、既存不要発射許容量× N_{TXU, countedpercell}の不要発射量を 許容する

3.3 今後の展望

AAS RF仕様では、OTA規定、お よびTABコネクタ総和での規定が 新たに導入された.しかしながら前 述のようにOTA規定は放射送信電力 精度規定と無線受信感度規定のみで あり、その他は無線信号の送受信機 能とアンテナの境界点であるTAB コネクタで規定されているため、 AAS RF仕様に基づく評価/測定を 行うためには、TABコネクタが必 要である.一方、5Gなどで検討さ れているMassive MIMOの実用化に 向けては、超多素子のAASが有効 な手段と考えられる.そのような AASでは、全送受信機能にTABコ ネクタを設けることは現実的ではな く、また、TABコネクタを具備し ないことで小型化も期待できるため、 OTA規定のみによるAAS RF仕様 のニーズが高まっており、今後はそ の策定が進められる[4].

4. 上りMMSE-IRC 受信器

近年のスマートフォンなどの普及 に伴う急激なトラフィックの増大に 対応するため、特に都市部における セルの高密度化が進み、結果として 隣接セルから到来する干渉が増大し ている.このような地域では、雑音 電力*²⁸よりも隣接セルから到来す る干渉電力が大きく、この干渉によ

^{*28} 雑音電力:受信器における雑音電力. 移動 端末内で生じる熱雑音電力や,遠方より到 来する微小な隣接セル間干渉信号電力の総 和により構成される.

りスループット特性が劣化する可能 性がある.

3GPPでは、上記隣接セルからの 干渉を低減するため、近年さまざま な技術が検討されている。特に下り リンクでは、移動端末の無線信号処 理を高度化することが検討され、 Release 11においては最小平均二乗 誤差 (MMSE) 規範*²⁹に従い、隣 接セル間干渉を抑圧するMMSE-IRC受信器の性能規定が策定されて いる[5] [6]. そのさらなる高度化と してRelease 12では、基地局から移 動端末へ隣接セル間干渉の制御情報 (送信電力情報など)をシグナリング し、より高度な干渉低減処理を移動 端末に実施させるNAICS(Network Assisted Interference Cancellation and Suppression) 受信器の性能規 定が策定されている[5] [7].

一方,上りリンクにおける無線信 号処理の高度化は,Release 13にお いてはじめて検討が行われている. 具体的には,Release 11で検討され たMMSE-IRC受信器と同等の機能 を基地局に搭載することを想定した 性能規定の策定が行われた[8].

4.1 MMSE-IRC受信器の 特徴

(1)MMSE受信器の課題

LTE Release 8仕様では、上りリ ンクの基地局の性能規定[3]として、 MMSE受信器が想定されている.こ れは、MMSE規範に従い所望の信号 を検出するが、隣接セル間干渉の統 計的性質を受信器における白色雑音*³⁰ と等価であると仮定した受信処理を 行うという特徴がある.したがって, 現実の隣接セル間干渉を抑圧するこ とができず,特に基地局が高密度に 配置されているエリアでは,隣接セ ルに在圏している移動端末からの干 渉により,上りスループットが制限 されてしまう.

(2)MMSE-IRC受信器の基地局搭載

そこで、前述したとおり、Release 13では隣接セル間干渉を抑圧するこ とを目的として、基地局にMMSE-IRC受信器を搭載することが検討さ れた.このMMSE-IRC受信器では、 基地局に複数の受信アンテナが搭載 されていることを前提としており. 基地局の無線信号処理において、隣 接セル間干渉が抑圧されるように各 受信アンテナの受信信号を合成する. より具体的には、上りリンクの参照 信号 (DM (DeModulation)-RS) を 用いて、所望信号の伝搬路(チャネ ル)情報だけでなく、隣接セル間干 渉の統計的性質を推定し、これらの 情報を用いて隣接セル間干渉の到来 方向に対してアンテナ利得の落込み 点(ヌル*³¹)が作られるよう各受信 信号の位相を調節し合成する(図8). MMSE-IRC受信器の、より詳細な

受信アルゴリズムについては文献[6] を参照されたい.主要な干渉信号, つまり上りスループットの劣化に特 に影響がある干渉信号に対してヌル を向けるため,受信器における信号 対干渉および雑音電力比 (SINR: Signal to Interference plus Noise power Ratio)*³²が改善し,スルー プットを改善することができる.な お,本受信器は無線信号処理のみを 高度化する技術であるため,すでに サービス展開中の基地局に対して比 較的容易に追加実装できるという利 点も有する.

4.2 上りスループット 改善効果

MMSE-IRC受信器による上りス ループット改善効果を図9に示す. 本評価においては、2本の受信アン テナが搭載されたマクロ基地局環境 を想定し、隣接するセルに在圏する 2つの干渉移動端末から、電力が大 きい2波の干渉が到来するケースを 模擬した.また、各移動端末の送信 アンテナ数は1とし、所望信号の変 調方式は受信環境に応じて最適なも のが選択されているものとした。



スペクトル密度が全周波数で一定(白色) という特性を持つ. *31 ヌル:ビームパターンにおいて,アンテナ 利得が極小となる方向. *32 信号対干渉および雑音電力比(SINR):所 望信号の受信信号電力と,それ以外の干渉 信号と雑音電力の和の比.ただし本稿では 遠方から到来する軽微な干渉信号電力は雑 音電力とみなす.

^{*29} 最小平均二乗誤差(MMSE)規範:アンテ ナ合成ウェイトを算出する方法の1つ.ア ンテナ合成後の受信信号の平均2乗誤差が 最小となる規範で求められ,合成後の受信 SINRを最大にできる. *30 白色雑音:受信器における雑音成分.電力



図9 MMSE-IRC受信器によるスループット改善効果

シミュレーション結果より, MMSE-IRC受信器は, 既存のMMSE受信器 と比較して全SINR領域で約1.5dB 程度(SINR換算)の性能改善を見 込めること,特に平均受信SINRが 0dB程度の場合に約30%程度のス ループット向上効果が得られること が分かった.

4.3 今後の展望

Release 14以降では、さらなる性 能改善をめざし、Release 12におけ るNAICS相当の受信器を基地局に 搭載することが提案されている.本 受信器はさらなる性能改善を期待で きる一方、基地局の受信負荷や、実 装のためのコストが上昇する可能性 があるため、引続き注意深い議論が 必要である.

5. あとがき

本稿では、LTE-Advanced Release 13仕様で新たに導入された基地局 装置の高度化技術を解説した.今後 も高品質なサービスエリアの提供を めざし、さらなる基地局装置改善技 術の標準化を推進していく.

文 献

- 川村 輝雄, 柿島 佑一: "LTE-Advanced におけるマルチユーザMIMOの標準化 動向及び実証実験,"電子情報通信学 会誌 1079号, Apr. 2014.
- [2] 3GPP TS37.105 V1.0.0: "Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) transmission and reception," Mar. 2016.
- [3] 3GPP TS36.104 V13.2.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception," Jan. 2016.

- [4] 3GPP TSG RAN#71 RP-160548: "Further Enhancement of Base Station (BS) RF and EMC requirements for Active Antenna System (AAS) core part," Mar. 2016.
- [5] 3GPP TS36.101 V13.2.1: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception," Jan. 2016.
- [6] 寒河江, ほか: "LTE Release 11仕様
 における移動機干渉除去・抑圧技術の
 高度化,"本誌, Vol.21, No.2, pp.26-29, Jul. 2013.
- [7] 武田, ほか: "LTE-Advanced Release 12における高次多値変調/スモールセ ル検出/干渉制御技術,"本誌, Vol.23, No.2, pp.46-53, Jul. 2015.
- [8] 3GPP TR36.884 V1.0.0: "Performance requirements of MMSE-IRC receiver for LTE BS," Mar. 2016.