3GPP Release 11　干渉除去技術　移動機性能高度化

Technology Reports

LTE/LTE-Advanced のさらなる発展 ―LTE Release 10/11 標準化動向―

LTE Release 11 仕様における移動機干渉除去・抑圧技術の高度化

無線アクセス開発部　寒河江 佑太†
先進技術研究所　大渡 裕介　佐野 洋介

近年のトラフィック増大に対応するためのセルの高密度化に伴い，隣接セル間の干渉増大が問題となり，その低減が求められている．

本稿では，3GPP における Release 11 LTE 仕様において新たに導入された干渉除去・抑圧技術による移動機性能の高度化技術について概説する．具体的には，移動機における複数の受信アンテナを用いて隣接セルから到来する干渉を抑圧し，主にセル境界近傍におけるスループット特性を改善させる干渉抑圧合成受信機について解説する．

1. まえがき

近年のスマートフォンの普及などに伴う急激なトラフィックの増大に対応するため，セル[*1]の高密度化が進み，その結果，隣接セル間の干渉が増大している．またマクロセル[*2]のエリア内において小型基地局を用いてスモールセル[*3]を運用するヘテロジーニアスネットワーク（HetNet: Heterogeneous Network）[*4]運用形態では，同一周波数で運用する場合，マクロセルとスモールセル間の干渉はさらに大きくなる．このような地域では，雑音電力に比べ隣接セルから移動機に到来する干渉信号電力が大きく，この干渉によりスループット[*5]特性が劣化してしまう．

本稿では，3GPP で検討された干渉除去・抑圧技術による移動機性能の高度化技術について，Release 11 LTE 仕様（以下，Rel.11 LTE）において導入・拡張された機能を中心に解説する．

2. 移動機干渉除去・抑圧技術の概要

Rel.8 LTE では最小平均二乗誤差規範（MMSE： Minimum Mean Squared Error）[*6]に従った MMSE 受信機を想定して移動機の性能規定が策定されているが，この Rel.8 LTE において標準となる MMSE 受信機では，隣接セルからの干渉信号の影響を移動機における雑音と等価であると仮定して受信処理を行うため，雑音電力に対して干渉信号電力が大きい環境においては，その隣接セルからの干渉によりスループットが制限されてしまう．

近年の高干渉エリアにおいても，干渉信号の影響を緩和し，ユーザスループット[*7]を向上させるため「移動機干渉除去・抑圧技術」として，MMSE-IRC（MMSE-Interference

© 2013 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

† 現在，無線アクセスネットワーク部

＊1 **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．

＊2 **マクロセル**：1つの基地局がカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア．

＊3 **スモールセル**：送信電力が大きいマクロセルと比較して送信電力が小さいセルの総称．

＊4 **ヘテロジーニアスネットワーク（HetNet）**：電力の違うノードがオーバレイするネットワーク構成．従来の基地局に対し，より送信電力の小さいピコ基地局，フェムト基地局，Wi-Fi など複数テクノロジーが混在，連携，統合化したネットワーク．

Rejection Combining）受信機がRel.11 LTEにて導入された[2]．Rel.8 LTEにおける受信機はMIMO伝送技術[*8]に対応するため，導入初期から最低でも2本の受信アンテナが搭載されているが，Rel.11 LTEにおけるMMSE-IRC受信機では，この複数の受信アンテナを利用して干渉信号の到来方向に対してアンテナ利得[*9]の落込み点（ヌル[*10]）を作り，干渉信号を抑圧することができる（**図1**）．主要な干渉信号，つまりスループットの劣化を特に与える干渉信号に対してヌルを向けるため，受信機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）[*11]が改善し，スループット特性を向上できる．ただし，もともと複数の送受信アンテナを利用して高いスループットを実現するMIMO多重伝送においては，レイヤー間の信号分離のために受信アンテナを利用するため，特に2本の受信アンテナをもつ移動機では，隣接セルからの干渉を抑圧できず，スループットの向上効果は得られない．

一方，3GPPでは，W-CDMA/HSDPA（High Speed Downlink Packet Access）[*12]に対する干渉除去・抑圧技術を搭載した移動機の性能規定がすでにRel.7 UMTS（Universal Mobile Telecommunications System）において導入されている．W-CDMAでは，通常の受信機にて1本の受信アンテナを用いてRake受信[*13]を行うRake受信機の適用が一般的であるが，マルチパス[*14]の影響により受信性能が劣化するという課題があった．そこで，以下の3種類の受信機の拡張が検討され，導入に至った．

- Type 1/1iはRake受信機を2本の受信アンテナに拡張した受信機
- Type 2/2iはRake受信機から拡張し，マルチパスと隣接セルからの干渉を抑圧するMMSE受信機
- Type 3/3iはType 2/2iで定義された干渉を抑圧するMMSE受信機を2本の受信アンテナに拡張

Rel.7 UMTSおよびRel.11 LTEでの受信機の機能拡張を**表1**にまとめる．Rel.11 LTEで導入されたMMSE-IRC受信機は，一般に，W-CDMA/HSDPAで導入された受信機のType 3/3iと同等の受信アルゴリズムに該当する．ただし，W-CDMA/HSDPAでの受信機においては，自セル内の符号間干渉に対しても，その干渉を抑圧するように動作するのに対して，LTEシステムでは自セル内干渉がないため，Rel.11 LTEで導入されたMMSE-IRC受信機では隣接セルから到来する干渉信号を抑圧するように動作する．

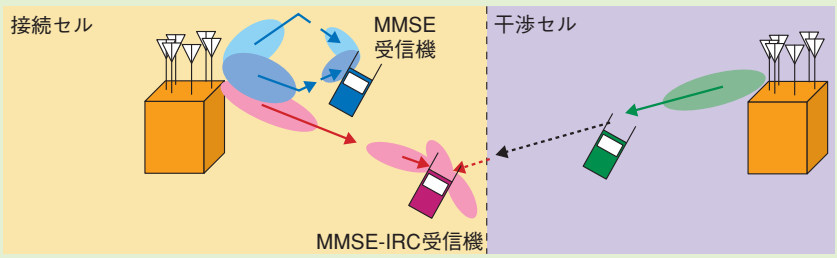


図1　移動機拡張で対象とするネットワーク構成

表1　受信機の機能拡張

	Rel.7 UMTS	Rel.11 LTE
基本構成	Rake受信機（1受信アンテナ）	MMSE受信機（2受信アンテナ）
移動機の拡張	Type 1/1i: - 2受信アンテナのRake受信 Type 2/2i: - マルチパスおよび隣接セルからの干渉抑圧するMMSE受信機 - 1受信アンテナ Type 3/3i: - マルチパスおよび隣接セルからの干渉抑圧するMMSE受信機 - 2受信アンテナ	MMSE-IRC受信機 （2受信アンテナ）

＊5　**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転送速度．本稿では，スループット＝（送信側のデータ伝送速度）×（単位時間当りに誤りなく受信されるパケット数）/（単位時間当りに送信されるパケット数）により定義される．

＊6　**最小平均二乗誤差規範（MMSE）**：最小平均2乗誤差法．受信した信号に対し，算出したウェイトをかけることで，他信号からの干渉を抑圧する方法．

＊7　**ユーザスループット**：1ユーザが単位時間内に誤りなく伝送できるデータ量．

＊8　**MIMO伝送技術**：同一時間・周波数において，複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い，通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号伝送技術．

＊9　**アンテナ利得**：基準アンテナに対する放射電力の比．

＊10　**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．

＊11　**信号対干渉および雑音電力比（SINR）**：所望波信号の受信信号電力と，それ以外の干渉波信号と雑音電力の和の比．

3. Rel.11 MMSE-IRC受信機への拡張

前述のとおり，Rel.11 LTEにおいて導入されたMMSE-IRC受信機は複数の受信アンテナを利用して，隣接セルからの干渉信号にヌルを向けることでその干渉信号を抑圧する．

Rel.8 LTEにおいて標準となるMMSE受信機について説明する．MMSE受信機は，受信した信号に含まれる干渉信号を移動機における雑音と等価であるとして扱い，一般に次式で表わされるように受信アンテナ間の信号を合成する．

$$\hat{\mathbf{d}}_1 = \mathbf{W}_{\mathrm{Rx},1}\mathbf{r} \qquad (1)$$

ここで，$\mathbf{W}_{\mathrm{Rx},1}$が受信アンテナ間の信号を合成するための受信ウェイト行列[*15]であり，次式で表わされる．

$$\mathbf{W}_{\mathrm{Rx},1} = P_1\mathbf{H}_1^H\mathbf{R}^{-1} \qquad (2)$$

$$\mathbf{R} = P_1\mathbf{H}_1\mathbf{H}_1^H + \sigma^2\mathbf{I} \qquad (3)$$

ここで，$\hat{\mathbf{d}}_1$が受信処理後の信号，$\mathbf{r}$が受信信号ベクトル，$\mathbf{H}_1$が接続セルと移動機間のチャネル行列[*16]，P_1が接続セルの送信電力，$\mathbf{I}$が単位行列[*17]である．チャネルに対する共分散行列[*18]$\mathbf{R}$を算出するにあたり，干渉信号成分を雑音電力σ^2に含めている．このように干渉信号を雑音と等価であるとして扱うため，干渉信号が到来する方向を気にせず，干渉および雑音電力に対して受信品質を最大化する．

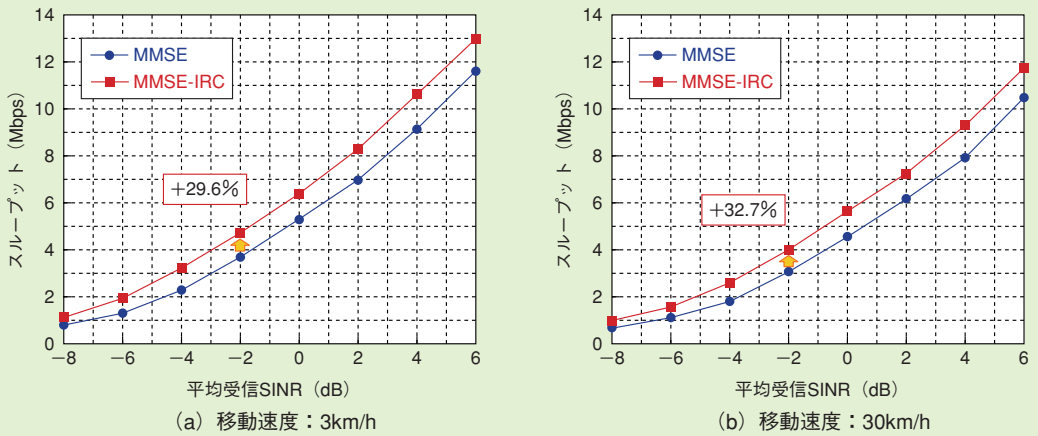
一方，MMSE-IRC受信機では，雑音成分と等価と扱っていた干渉信号に対して，雑音成分とは独立に干渉信号成分を考慮する．式(2)における共分散行列$\mathbf{R}$を次式に示すように，雑音成分とは独立に扱う．

$$\mathbf{R} = P_1\mathbf{H}_1\mathbf{H}_1^H + \sum_i P_i\mathbf{H}_i\mathbf{H}_i^H + \sigma^2\mathbf{I} \qquad (4)$$

ここで，$\mathbf{H}_i$（$i>1$）は第i干渉セルと移動機間のチャネル行列，P_iが干渉セルの送信電力である．$\mathbf{H}_i\mathbf{H}_i^H$は第$i$セルからの干渉信号の相関性を示しており，干渉信号の逆相関（逆行列）をウェイト行列として利用することで，主要な干渉信号に対して係数が小さくなり抑圧することができる．干渉信号の到来方向にヌルを向け抑圧を行い，抑圧後の干渉および雑音成分に対して受信品質を最大化する．干渉信号の抑圧効果により受信SINRが，MMSE受信機よりも高くなるためにスループット向上を実現できる．

なお，Rel.11 LTEにおけるMMSE-IRC受信機は，Rel.8 LTEをベースとしたシステムであれば利用が可能であり，すでに商用サービスを開始しているRel.8 LTEネットワークにおいても干渉抑圧効果を得ることができる．

MMSE-IRC受信機によるスループット改善効果を**図2**に示す．図2



（a）移動速度：3km/h　（b）移動速度：30km/h

図2　MMSE-IRC受信機のスループット改善効果

＊12 **HSDPA**：W-CDMA方式に基づく下りリンクの高速パケット伝送方式．3GPP規格上の下り伝送速度は最大約14Mbit/sである．移動端末の電波受信状況に応じて，変調方式と符号化率を適応的に制御する．

＊13 **Rake受信**：伝搬時間が異なる電波を集めて受信することで，これらの信号を重ね合わせることにより通信品質を向上する技術．

＊14 **マルチパス**：送信機から送信された電波が，建物や地形などの障害物によって反射・回折し，複数の経路を通じて受信機に到達する現象．

＊15 **受信ウェイト行列**：複数の受信アンテナにより受信した信号を合成・分離するために必要な振幅および位相の変動量で構成される行列．受信信号ベクトルに乗算することで，合成・分離後の信号を得ることができる．

＊16 **チャネル行列**：各送信アンテナと受信アンテナ間の伝搬路（チャネル）の振幅および位相の変動量で構成される行列．

＊17 **単位行列**：対角成分が1，その他の成分が0である正方行列．

＊18 **共分散行列**：各変数の分散を対角成分とし，その他の要素はそれぞれ2つの変数の変動方向（正・負）の相関度合いを表す行列．

のグラフは，それぞれ縦軸がスループット，横軸が平均受信SINRを示しており，移動機の移動速度を徒歩移動および車による移動を想定し，それぞれ3 km/h，30 km/hとした場合の結果を示している．なお，高トラフィックエリアを想定し2つの主要な干渉セルがあるとし，それぞれの干渉信号電力レベルと雑音電力レベルの比（INR：Interference-to-Noise power Ratio）が十分に大きいことを前提に模擬した．結果より，移動速度が30 km/h程度でもRel.8 LTEのMMSE受信機と比較して，SINRが低いセル境界において，約30％のスループット特性の改善が得られることがわかる．

4. あとがき

本稿では，3GPPにおいて，Rel.11 LTEとして標準化が進められていた移動機干渉除去・抑圧技術について解説した．Rel.11 LTEでは，近年の高トラフィック環境に対応するため，高密度に設置されたセル環境や高干渉エリアでのユーザスループットを向上する技術として有望である．また，本機能は，Rel.8 LTEなどの通常のLTEにも利用することができ，多彩な導入シナリオ・セル展開シナリオに対応できる．

今後も無線アクセスネットワーク[＊19]のさらなる高性能化，高機能化と経済化の1つとして，移動機の受信性能の向上をめざし，標準化を推進していく．

文　献

[1] 中村，ほか：“LTE-Advancedの概要および標準化動向，” 本誌，Vol.18, No.2, pp.6-11, Jul. 2010.

[2] 3GPP TR36.829 V11.1.0：“Enhanced performance requirement for LTE User Equipment (UE),” 2013.

[3] 3GPP TS36.101 V11.4.0：“Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception,” 2013.

＊19 **無線アクセスネットワーク**：コアネットワークと移動端末の間に位置する，無線基地局および無線回線制御装置などで構成されるネットワーク．