

LTE-Advanced Release 14における 高速移動環境下の特性向上技術

無線アクセス開発部

たかだ たくま
高田 卓馬

R&D戦略部

てしま くにひこ
手島 邦彦

移動機開発部

はらだ ひろき
原田 浩樹

近年、新幹線乗車時などの高速移動環境における通信品質向上の需要が増加していることから、3GPPではRelease 13より高速移動環境下の特性向上に向けた基礎検討が行われ、Release 14にて特性向上技術の仕様化が行われた。本稿では、Release 14仕様で新たに導入された、高速移動環境下の通信品質向上を実現する技術を解説する。

1. まえがき

近年、新幹線乗車時などの高速移動環境におけるブロードバンド通信の需要が高まってきている。また、モバイル通信で使用される周波数は増加しており、とくに高周波数帯への拡大が進んでいる。高速移動環境においては、一般に周波数が高くなるほどドップラー周波数シフト^{*1}の影響を強く受けるなど、通信品質を確保するための技術的課題が大きくなる。加えて、商用ネットワークにおける置局設計^{*2}の多様化により、従来の3GPP仕様では十分に考慮されていなかった高速移動環境の置局設計における技術的課題が顕在化してきていた。

このような背景の下、3GPPではRelease 13にて

高速移動環境下におけるさらなる品質向上の検討がSI (Study Item)^{*3}として行われ、Release 14ではこのSIでの結果を基に、新たな置局設計における下り通信品質の向上、およびRACH (Random Access Channel)^{*4}検出特性向上を実現する新たな仕様などが規定された。本稿では、これらRelease 14で規定された仕様について解説する。

2. 高速移動環境における課題

2.1 SFNシナリオにおける高速移動時の下り通信品質向上

(1)SFNシナリオの概要

SFN (Single Frequency Network)^{*5}シナリオの

^{*1} ドップラー周波数シフト：ドップラー効果によって生じる搬送波周波数のずれ。
^{*2} 置局設計：要求される品質やエリアを実現するための、基地局の配置やパラメータの設計。
^{*3} SI：「実現性の検討および仕様化すべき機能の大まかな特定」作業のこと。

例を図1に示す。SFNとは、本来は親局や中継局で用いる電波の周波数を同一にして構成したネットワークを指すが、ここで言うSFNシナリオとは、連続して置局されているRRH (Remote Radio Head)^{*6}より、同一周波数で、かつ同一の信号を送受信することで1つのエリアを構成する置局を指す。SFNシナリオでは、各RRHからは同一信号が送信されるため、隣接するRRHからの信号が干渉とにならないことに加え、図1のように、移動端末がRRH1のエリアからRRH2のエリアへ移動する際にセルが変わらないことからハンドオーバー^{*7}動作が生じないため、高速移動環境に適しており、例えば新幹線トンネル内エリアなどにて使用されている。

(2)SFNシナリオにおける高速移動時のドップラー周波数シフトの課題

SFNシナリオでは各RRHから同一信号が送信されるが、移動端末前方のRRHから到来する信号と移動端末後方から到来する信号で、正負が逆のドップラー周波数シフトの影響を受ける。本事象の例を図2に示す。移動端末が図1と同様にRRH1とRRH2の間を通る際、RRH1から到来する信号は負のドップラー周波数シフト、RRH2から到来する信号は正

のドップラー周波数シフトの影響を受ける。高速移動時の場合はドップラー周波数シフトが大きくなるため、高速移動端末が接続するRRHが切り替わるタイミング、すなわち2つのRRHの中間付近で、正負が異なり絶対値が大きいドップラー周波数シフトの影響を受けた信号がほぼ同じタイミングで高速移動端末に到来する。端末はこの2信号を同時に受信しながらRRHを切り替える必要があるが、負から正への急激なドップラー周波数シフトの変化に追従することが困難であり、通信品質の劣化が生じる課題がある。

2.2 高速移動環境におけるRACH検出特性向上

(1)Release 8 LTEにおけるcyclic shiftのrestricted set
基地局における高速移動端末からの上り信号受信時には、送信された上り信号に加わるドップラー周波数シフトに加え、送信を行う移動端末が、ドップラー周波数シフトが加わった下り信号に同期して送信を行っていることから、移動端末における下り信号受信時と比べて大きなドップラー周波数シフトを考慮する必要がある。これはSFNシナリオに限ら

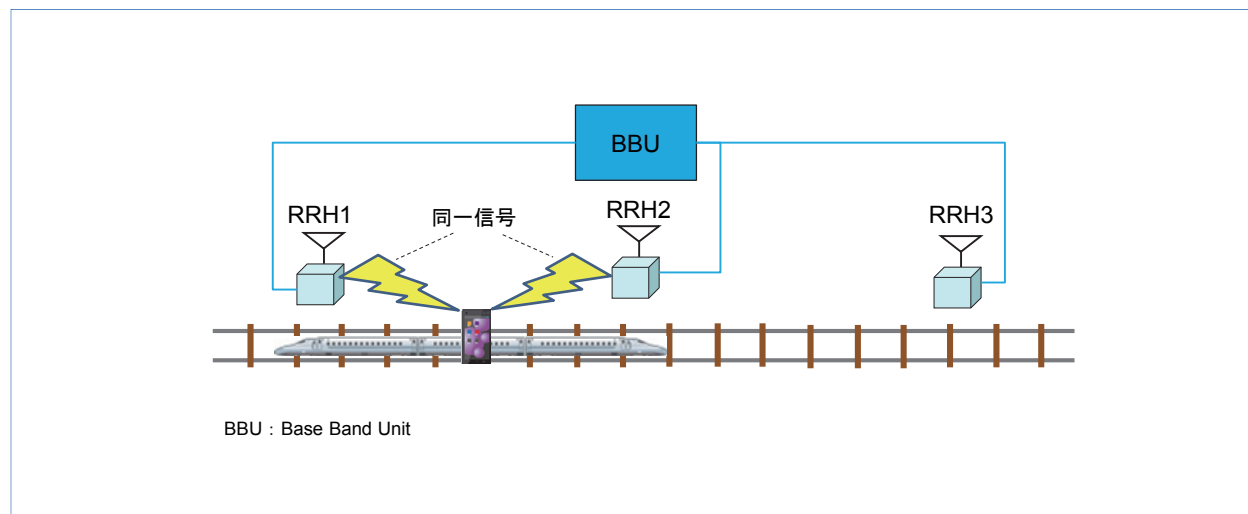


図1 SFNシナリオ

*4 RACH：上り方向の共通チャンネルで、制御情報およびユーザデータの送信に使用するチャンネル。各ユーザが独立に信号をランダムに送信することにより、1つのチャンネルを複数ユーザで共通に使用する。

*5 SFN：電波の周波数を同一にして構成したネットワーク。

*6 RRH：基地局を構成する装置の1つで無線信号の送受信処理を

行う無線機。光ファイバなどを使ってBBU（BaseBand Unit）から離れた場所に設置する。

*7 ハンドオーバー：通信中の移動端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

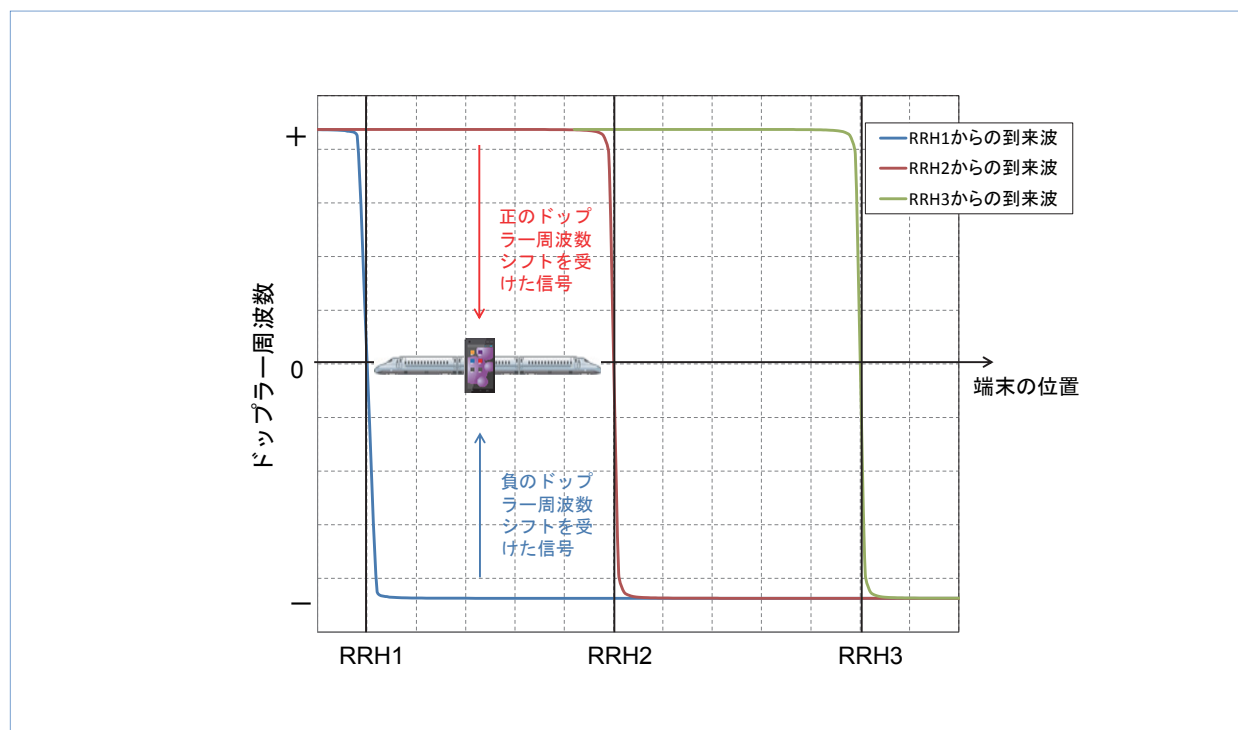


図2 ドップラー周波数の影響

ず通常の置局シナリオにおいても共通に生じる課題である。上記を考慮して、Release 8 LTEにおけるPRACH (Physical Random Access CHannel)^{*8}は、高速移動環境におけるドップラー周波数シフトが最大 $\pm 1.25\text{kHz}$ 加わっていても、基地局が検出できるよう設計された。これにより、周波数2GHzで約350km/hまでは十分なPRACH検出特性が得られる。

(a) 通常時のPRACH CS検出

PRACH送信系列は、ZC (Zadoff-Chu) 系列^{*9}に対してCS (Cyclic Shift)^{*10}を適用して生成される。適用するCSの値は、移動端末が基地局の設定に従って候補値の中から選択する。高速移動端末を想定しない通常のセルでは、CSの候補値としてPRACH受信タイミング窓長である N_{CS} の整数倍の値が設定される(図3(a))。基地局側では受信したPRACHとZC系列テンプレートの相関^{*11}ピークが発生するCS値を検出

することで、移動端末が選択した送信系列および N_{CS} の範囲内でのタイミング誤差を認識することができる。

(b) 高速移動時の検出のためのPRACH CS restricted set導入

一方、高速移動時にはドップラー周波数シフトの影響で、基地局側では受信したPRACHとZC系列テンプレートの相関ピークが複数観測される。最大相関ピーク位置のずれによる検出特性の劣化を防ぐため、Release 8 LTEではPRACH CSの候補値を限定する設定 (restricted set) が導入されている。PRACHプリアンブル^{*12}系列部分の時間長の逆数に対応するCSを d_0 とし、選択したCSに対して $+d_0$ 、および $-d_0$ の位置に対応する計3つのタイミング検出窓を基地局側で用意し、各検出窓にて観測された相関ピークを、併せて検出に用いることで、移動端末の

^{*8} PRACH: Random access preambleを送信するための物理チャネル。

^{*9} ZC系列: 時間インデックスに対して振幅が一定で、自己相関関数がデルタ関数となる特性をもつCAZAC (Constant Amplitude Zero Auto Correlation) 系列の1つ。

^{*10} CS: 系列などに対して、時間インデックスと要素との関係を

巡回シフトさせる処理。

^{*11} 相関: 異なる信号の類似性を示す指標。複素数で表され絶対値は0~1の値をとる。1に近いほど類似性が高い。

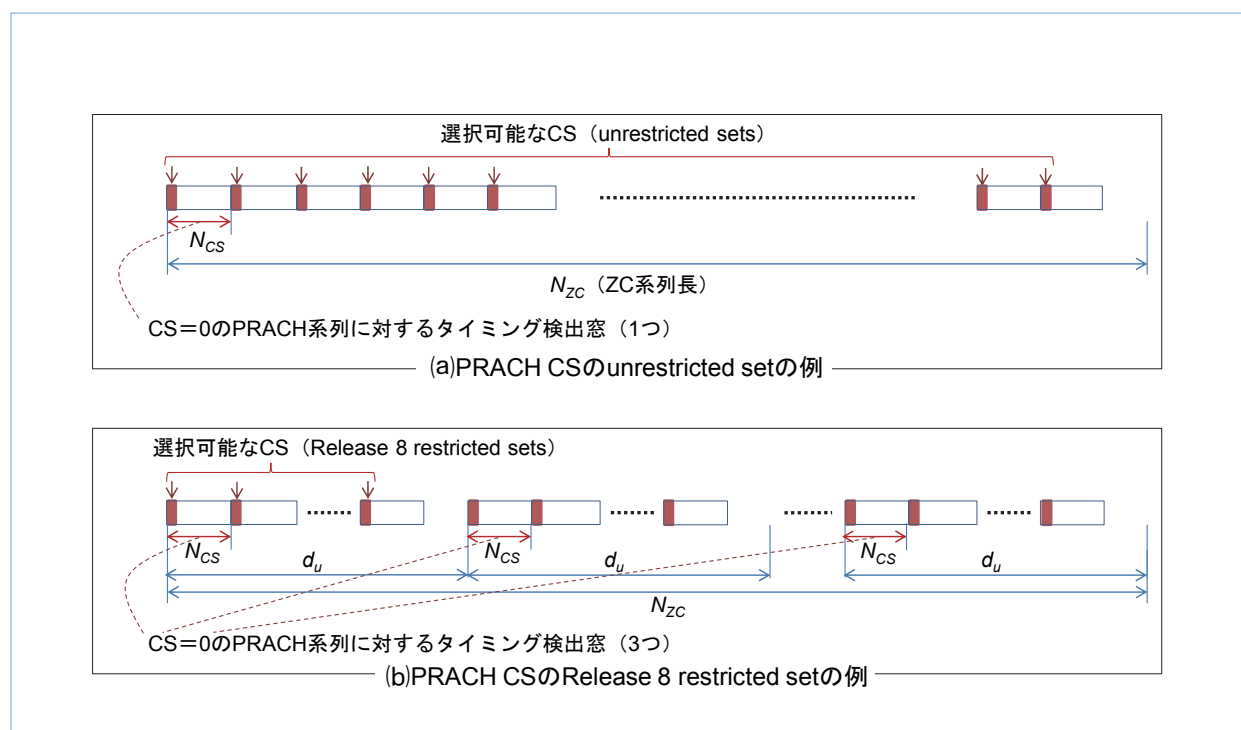


図3 従来のPRACH系列CSの選択および検出方法

選択した送信系列および N_{CS} の範囲内でのタイミング誤差を認識する(図3(b))。この場合、移動端末の選択した送信系列の認識誤りを防ぐため、移動端末の選択可能なCSは $+d_u$ 、および $-d_u$ の位置を含めて他の候補CSと互いに重複しないよう制限される。

(2)高速移動環境におけるPRACH検出の課題

Release 8 LTEのPRACHは、上記の通り、高速移動環境におけるドップラー周波数シフトの範囲として $[\pm 1.25\text{kHz}]$ まで耐えられるよう設計された。しかし、より高い周波数を利用する場合や、SFNシナリオのようなドップラー周波数シフトの影響が顕著な環境においても高いPRACH検出特性を実現する必要性が高まってきた。また、ドップラー周波数シフトが大きくなると、最大の相関ピークは $+2d_u$ 、または $-2d_u$ の位置で観測されるようになり、Release 8で導入された従来のrestricted setを用い

る方法では移動端末の選択した送信系列の認識誤りが発生してしまう課題がある。

3. 新しい規定とその効果

3.1 SFNシナリオでの高速移動時を想定した新たな下り受信性能規定

Release 14において、2.1節で示した課題を解決するため、図1のようなSFNシナリオを模擬した新たな高速移動環境モデル定義、および、そのモデルを使用した場合のスループット性能規定が追加された。新たなスループット性能規定を策定する上で、移動端末受信器動作については以下を基準として検討を行った。

- ・高速移動端末に同時に到来する、正負が異なり絶対値が大きいドップラー周波数シフトの影響を受けて到来する複数信号をすべて捉え、各信

*12 プリアンブル：パケットの先頭に配置された固定パターンの信号。受信側では、これを用いてパケットの検出、ゲイン制御、フレームの同期、周波数同期などを行い、データ部の受信に備える。

号に対してドップラー周波数シフトを推定し、中心周波数のずれを補正する。

- ・伝搬路推定を高度化し、特に時間領域^{*13}における補間精度を上げる。

評価結果例を図4に示す [1]。横軸がSNR (Signal-to-Noise Ratio)^{*14}、縦軸がスループットである。350km/hで移動している場合において、従来の受信器を使用した場合 (図4内の赤) と、上記基準を考慮した受信器 (図4内の緑) を比較すると、スループットが大きく改善していることがわかる。

ただし、本受信器の動作はSFNシナリオに特化していることから、低速移動時や、SFNシナリオ以外での高速移動時にて常に動作させることは特性劣化、消費電力の増大につながる可能性がある。そのため、本受信器動作のON/OFFを可能にする制御信号 (Network assisted signaling) が導入された。本受信器のON/OFFを含めた動作概要を図5に示す。この制御信号をSFNシナリオの基地局から報知情報^{*15}に含めて送信し、高速移動端末が当該

エリアに在圏し本信号を受信した場合に、規定した受信器動作を開始する。

3.2 高ドップラー周波数シフト環境をサポートするPRACH規定

2.2節で示した課題を解決するため、Release 14では高速移動時のドップラー周波数シフトとしての範囲は $[\pm 2.5\text{kHz}]$ までに耐えられるよう、PRACHの品質を向上する技術が導入された。移動端末の選択可能なCSとして、選択した位置に対して $+d_u$ 、および $-d_u$ に加え $+2d_u$ 、および $-2d_u$ の位置を含めた計5つが他の候補CSと互いに重複しないように制限される。新たなPRACH CS restricted setが規定された。基地局側では上記5つの位置でそれぞれ N_{CS} の範囲のタイミング検出窓を用意し、各検出窓にて観測された相関ピークを合わせて検出に用いる (図6)。これにより $[\pm 2.5\text{kHz}]$ の範囲までのドップラー周波数シフト、例えば2GHz周波数での350km/hを超える高速移動環境などにおけるPRACH検出特性が向上する。

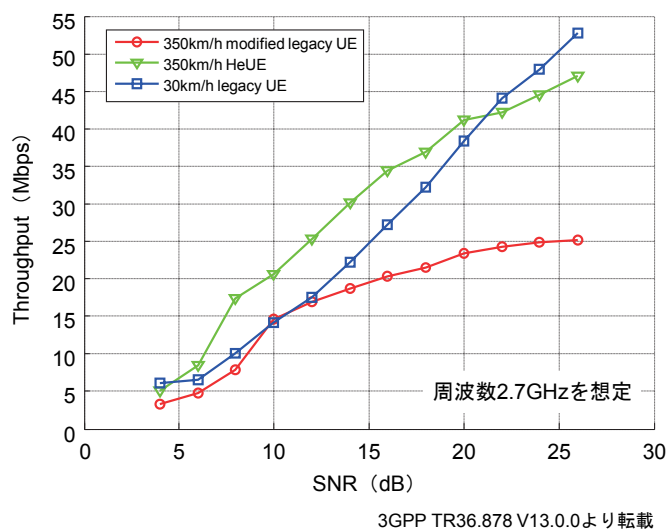


図4 SFNシナリオでの評価結果例

^{*13} 時間領域：信号などの解析において、その信号が各時間においてどのくらいの成分をもっているかを示すことに用いられる。時間領域の信号をフーリエ変換することで周波数領域の信号に変換することができる。

^{*14} SNR：雑音の電力に対する所望信号の電力の比。

^{*15} 報知情報：移動端末における位置登録要否の判断に必要なとなる

位置登録エリア番号、周辺セル情報とそのセルへ在圏するための電波品質などの情報、および発信規制制御を行うための情報などを含み、セルごとに一斉同報される。

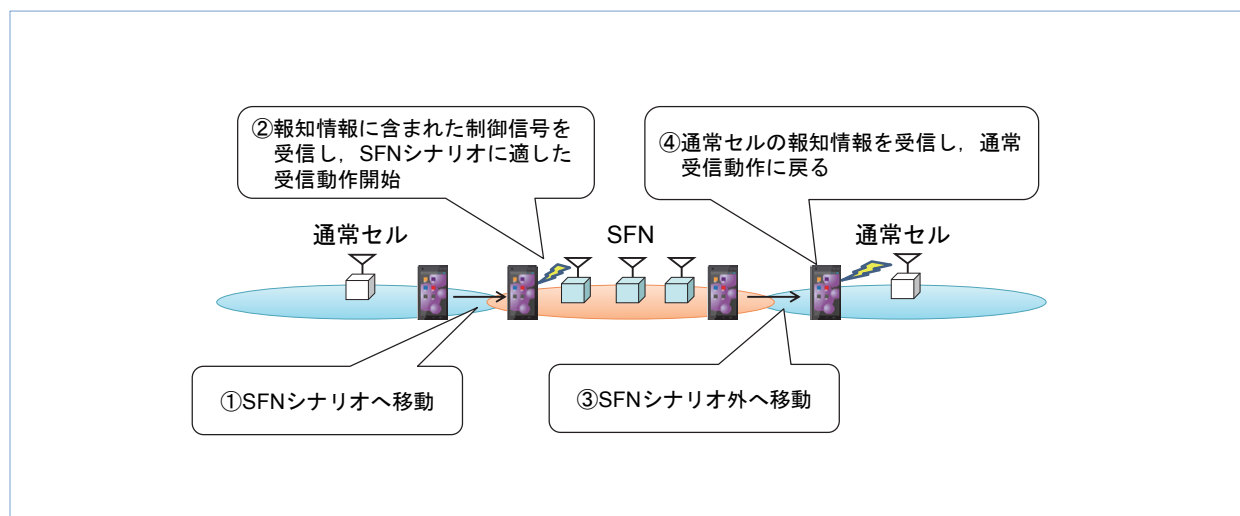


図5 SFNシナリオに特化した受信動作概要

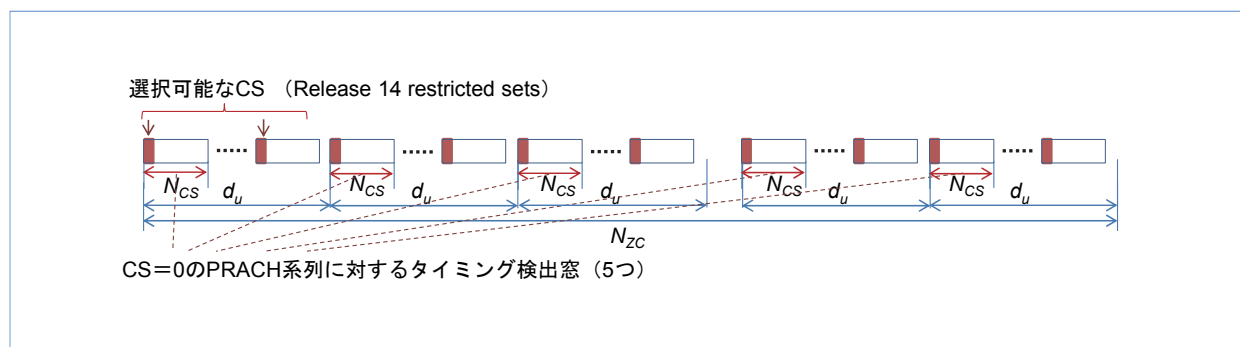


図6 PRACH CSのRelease 14 restricted setの例

4. あとがき

本稿では、3GPP Release 14にて行われた高速移動環境下における特性向上、具体的には新しい置局設計における受信規定、およびPRACH特性向上を実現する仕様策定について、機能的特徴や基本制御を解説した。これらの機能によって、新幹線乗車時

などの高速移動環境下におけるさらなる通信品質向上が実現される。

文献

- [1] 3GPP TR36.878 V13.0.0 : “3rd Generation Partnership Project : Technical Specification Group Radio Access Network : Study on performance enhancements for high speed scenario in LTE,” Feb. 2015.