

LTE/NRにおける 高速移動環境下での性能向上技術

無線アクセス開発部

たかだ たくま いいざさ なおと
高田 卓馬 飯笹 直人

移動機開発部

ひぐち しょういち
樋口 翔一

日本や中国をはじめとして、時速300kmを超える新たな鉄道サービスの導入が検討されている。このような高速移動環境下でも安定したモバイル通信サービスを提供することをめざし、3GPP Rel-16にてLTEおよびNR向けに新たな仕様化の検討が行われた。本稿ではRel-16仕様で導入された、最大時速500kmを想定した環境下でも安定した通信品質を実現する技術と、その議論動向を概説する。

1. まえがき

近年、日本や中国をはじめ、新幹線以上の速度に到達する交通機関の導入が進められている。このような高速移動環境下におけるモバイル通信品質の性能担保に向けた議論が、3GPP (3rd Generation Partnership Project) において行われている。3GPP Release 14 (以下、Rel-14) ではLTE向けに、新幹線相当の高速移動環境下におけるさらなる通信品質向上を実現する仕様が規定された [1]。またRel-15で新しい通信方式であるNR (New Radio) [2] が

仕様化されたことに伴い、高速移動環境下でNRを利用する機会も増えていくと考えられる。一般に高い周波数や移動速度が速くなるとドップラー周波数シフト*1の影響を強く受けるが、LTEとNRではドップラー周波数シフトの補正に用いる参照信号 (Reference signal) の構成が異なるために、NR向けに新たに検討が必要であった。

このような背景のもと、Rel-16において、時速500kmを想定した、LTEおよびNRの下り・上りリンクの通信品質担保を実現する仕様が規定された。本稿では、Rel-16仕様で導入された、最大時速

©2020 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*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。

500kmを想定した環境下でも安定した通信品質を実現する技術と、その議論動向を概説する。

2. 高速移動環境下における課題

2.1 ドップラー周波数シフトの補償

高速移動環境下では、移動速度が速くなるほど、周波数が高くなるほどドップラー周波数シフトの量が大きくなり、それによって受信信号に生じる位相回転^{*2}が、通信品質に大きな影響を与える。時速500kmの環境下での利用を想定すると、この影響が大きくなるのはもちろんのこと、現時点で主にNRが利用している3.7GHz帯（n77^{*3}/n78）や4.5GHz帯（n79）といった周波数は、LTEが利用している周波数と比較して高周波数帯であり、影響がさらに大きく現れるため、LTEとの差分を含めて3GPPでの議論がなされた。なお、28GHz帯（n257）といったミリ波帯については、Rel-16における議論の対象外となっている。

一般的にドップラー周波数シフトが発生すると、時間領域では位相回転が生じる。基地局・端末共に、このドップラー周波数シフトによる位相回転を推定・補償するために参照信号を用いるが、時間領域での参照信号間の間隔が狭いほど、より急峻な位相変動に追従可能となり、より大きなドップラー周波数シフトの補正が可能となる。なお、位相が反転する手前（±180度未満）が、元の位相に補正可能な位相回転量である。

LTEの場合、端末は下り信号を受信する際、基地局から常に送信されているCRS（Cell-specific Reference Signal）^{*4}を用い、基地局は上り信号を受信する際、端末から送信されるDM-RS（DeModulation Reference Signal）^{*5} [2] を用いてドップラー周波数シフトを推定している。

一方NRの場合、基地局からCRSが送信されないため、端末は周期的に基地局から送信されるTRS

（Tracking Reference Signal）^{*6} [2] を用いて、ドップラー周波数シフトの推定を行う。また基地局は上り信号を受信する際、LTEと同様にDM-RSを用いてドップラー周波数シフトを推定するが、DM-RS間の間隔やシンボル^{*7}、RE（Resource Element）^{*8}数という観点でLTEとの違いがあり、ドップラー周波数シフトの補償条件に差分がある。

加えてNRの場合は、LTEのサブキャリア^{*9}間隔である15kHzに加えて、30kHzや60kHzのように、より広いサブキャリア間隔が新たに定義されたことにより、サブキャリア間隔15kHzの場合に比較して、より大きなドップラー周波数シフトの補正が可能となっている。具体的には、サブキャリア間隔15kHzを想定すると、図1の通り、NRの下り通信では、TRS間の間隔が4シンボルであるため、LTEのCRSにおける3シンボルと比較すると、参照信号間隔が広いため、ドップラー周波数シフトの補正が可能な幅は小さくなる。

一方、サブキャリア間隔として30kHzを用いる場合は、TRS間の間隔が15kHz換算で2シンボル相当となるため、LTEと比較してドップラー周波数シフトの補正が可能な幅は大きくなる。さらにNR上り通信観点では、サブキャリア間隔の選択肢が広がった点に加えて、PUSCH（Physical Uplink Shared CHannel）^{*10}用DM-RSの密度および位置が柔軟に設定可能 [2] であるため、LTEと比較して短い間隔でのDM-RSの配置を選択することで、より大きなドップラー周波数シフトの補正が可能となる。

2.2 置局構成

高速移動環境下での通信品質保持を目的に、通常環境に加え、高速移動環境下に適した特別な置局構成が3GPP Rel-14で提案・議論された。Rel-16においても、当時の議論内容をベースに、NRの機能や特徴を踏まえた置局構成に関する議論が行われた。

Rel-16で議論された置局構成の概念図を図2に示

*2 位相回転：信号が無線チャネルを経由した際に発生する位相のずれ。

*3 n77：NR向けに定義されたTDDの周波数帯域（3,300～4,200MHz）。

*4 CRS：下りリンクの受信品質測定などに用いられる各セル固有の参照信号。

*5 DM-RS：下り・上りリンクの送受信データを復調する際に用いられるチャネル推定用の参照信号。

*6 TRS：下りリンクにおける時間および周波数の変動をトラッキングする際に用いられる参照信号。

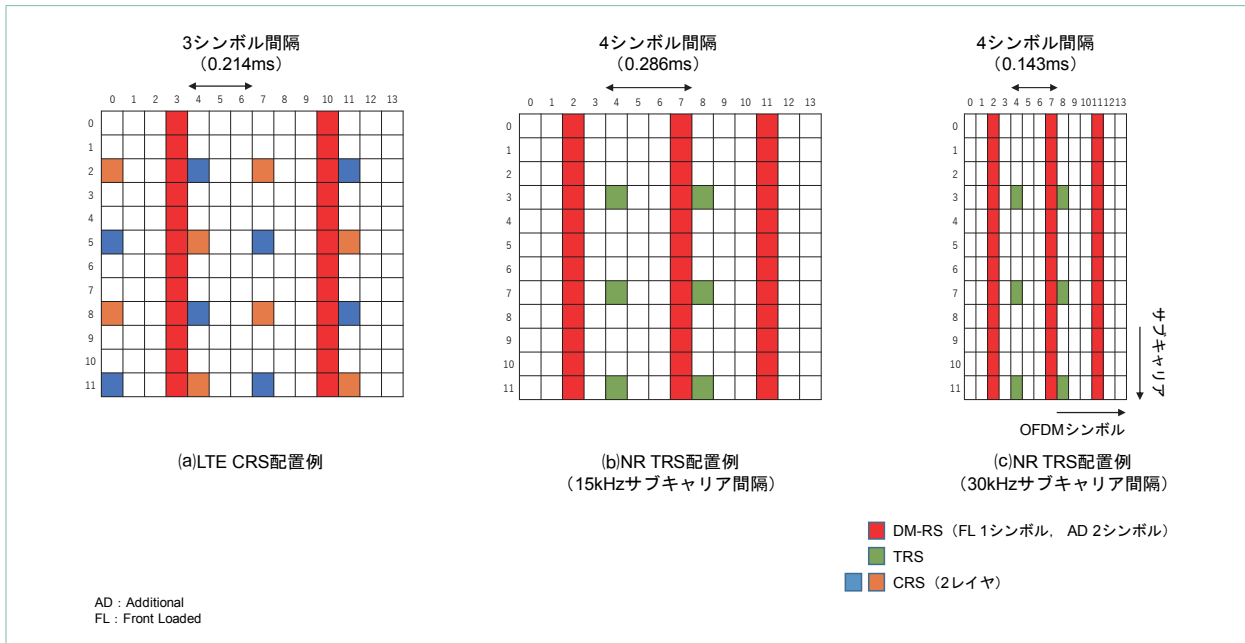


図1 LTEとNRの下り参照信号間隔の比較

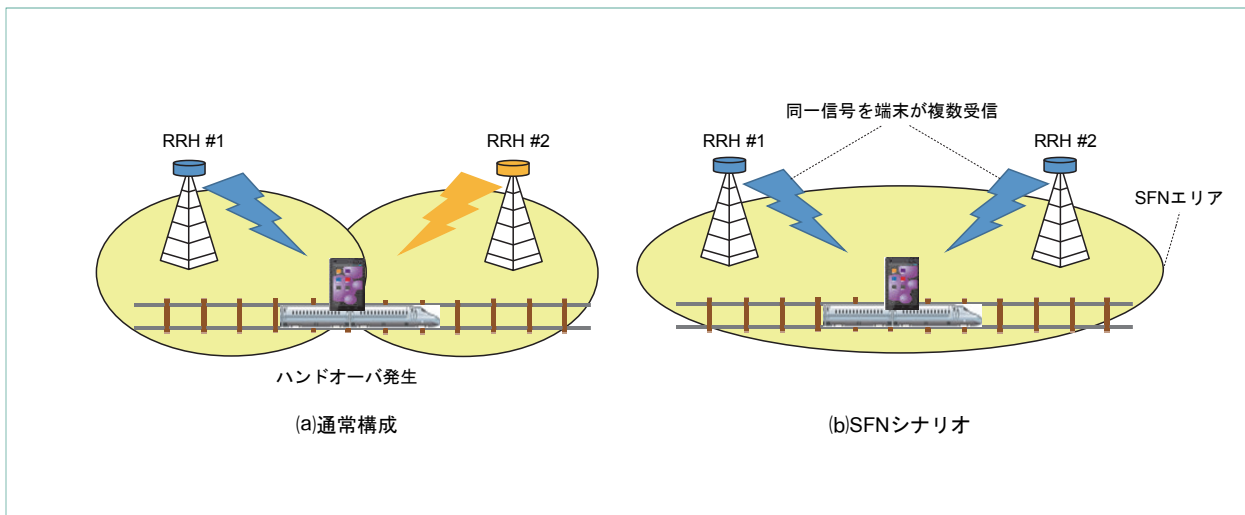


図2 高速移動環境向け局構成

す。SFN (Single Frequency Network)^{*11}シナリオはRel-14でも議論された局構成であり [1], 連続して置局されているRRH (Remote Radio Head)^{*12}より, 同一の周波数で, かつ同一の信号を送受信することで, 複数のRRHで覆われているエリアを1つ

の制御エリアとみなせるようにしているため, 接続するRRHが切り替わる際にハンドオーバー^{*13}が生じないという観点から高速移動環境下向けの局として優れている。一方で本置局構成では, 同じタイミングで到来する正と負のドップラー周波数シフト

*7 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。各サブ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。

*8 RE: 下りリンクのリソースの構成要素であり, 1サブキャリア, 1 OFDMシンボルで構成。

*9 サブキャリア: OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波のことを言い, 副搬送波とも呼ばれる。

*10 PUSCH: 上りリンクにおける送信データのこと。

*11 SFN: 電波の周波数を同一にして構成したネットワーク。

をもつ受信信号に対して、同時に追従することが求められる。

3. 導入された規定と効果

Rel-15以前やRel-16において、LTEおよびNRで導入された受信性能規定と試験条件を表1に示す。前述の課題を踏まえ、Rel-16 NRでは、最大時速500kmの高速環境下でのチャンネル推定^{*14}を確実にを行うため、合計3シンボル配置のDM-RSを前提とした試験条件が定義された。また、通常の置局構成に加えて、上記で示したSFNシナリオが定義され、構成ごと

に下り通信向けのTRS、および上り通信向けのDM-RSで補正可能な最大ドップラー周波数シフトを想定した受信規定が導入された。本規定の導入により、最大時速500kmの高速環境における通信品質の確保が可能となり、新幹線をはじめとする高速鉄道車内でのLTEおよびNRのエリア化・品質改善が期待できる。

4. あとがき

本稿では、3GPP Rel-16にて仕様化された高速移動環境下における通信品質向上に向けた新たな標準

表1 高速鉄道向けに導入された受信性能規定と試験条件

Release	通信方向	置局構成	LTE			NR		
			移動速度	耐えるドップラー周波数シフト	周波数 ^{*1}	移動速度	耐えるドップラー周波数シフト	周波数 ^{*1}
Rel-15 以前	下り (端末受信)	通常構成	時速 300km	750Hz	2.7GHz	時速 300km	750Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	2.7GHz
		SFNシナリオ	時速 350km	875Hz	2.7GHz		1,000Hz (30kHzサブ キャリア間隔)	3.6GHz
	上り ^{*2} (基地局受信)	通常構成 SFNシナリオ	時速 350km	1,340Hz	2.06GHz	規定なし		
Rel-16	下り (端末受信)	通常構成	時速 500km	972Hz	2.1GHz	時速 500km	972Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	2.1GHz
							1,667Hz (30kHzサブ キャリア間隔)	3.6GHz
		SFNシナリオ	時速 500km	972Hz	2.1GHz		870Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	1.88GHz
							1,667Hz (30kHzサブ キャリア間隔)	3.6GHz
	上り ^{*2} (基地局受信)	通常構成 SFNシナリオ	時速 500km	1,944Hz	2.1GHz	時速 500km	1,740Hz (15kHzサブ キャリア間隔)	1.88GHz
							3,334Hz (30kHzサブ キャリア間隔)	3.6GHz

※1 移動速度と耐えるドップラー周波数シフトより換算した値

※2 上りの場合、ドップラー周波数シフトが加わった下り信号に対して同期するため、より大きなドップラー周波数シフトの考慮が必要

*12 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。

*13 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。

*14 チャンネル推定：信号が無線チャンネルを経由した際に受けた減衰

量および位相回転量などを推定すること。

規定やその特徴について解説した。これらの機能によって、新幹線などの高速移動環境下における通信品質の担保、向上が実現される。今後も、ドコモは実環境における課題や要望を考慮した、適切な標準仕様の検討を推進していく。

文 献

- [1] 高田, ほか: “LTE-Advanced Release 14における高速移動環境下の特性向上技術,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.60-65, Oct. 2017.
- [2] 武田, ほか: “5GにおけるNR物理レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.59-73, Nov. 2018.