

LTE-Advanced 技術特集— IMT-Advanced に向けて進化し続ける LTE —

LTE-Advanced におけるリレー技術

次世代移動通信システムの無線アクセス方式として、さらなる高速・大容量通信を実現する LTE-Advanced の標準化が進められている。LTE-Advanced では、レイヤ 3 レベルで基地局と移動局との間の無線信号を再生中継する、リレー技術が検討されている。本リレー技術を適用することで、他セル干渉および雑音による受信特性劣化を改善し、より高いスループット改善効果を得られる。それにより、電波が届く範囲をより効率的に拡大でき、カバレッジの拡大や、セル端でのスループット改善の効果が期待できる。

無線アクセス開発部

いわむら みきお たかはし ひであき
岩村 幹生 高橋 秀明
ながた さとし
永田 聡

1. まえがき

国際標準仕様策定団体である 3GPP において、第 3 世代移動通信システムの発展規格である LTE からのさらなる高速・大容量通信を実現する LTE-Advanced の検討が進められている。LTE-Advanced は、高速・大容量通信の実現に加え、セル端ユーザのスループット向上を重要課題としており、その一手段として、基地局と端末との間の無線伝送を中継するリレー技術が検討されている。リレーを用いることで、有線バックホール回線^{*1}の確保が困難な場所などで、効率的にカバレッジを拡大できることが期待される。

本稿では、リレー技術を適用し得

る環境と現在 3GPP で検討されているリレー技術を実現する無線アクセス、無線制御技術およびアーキテクチャを解説する。

2. 無線中継技術概要

2.1 無線中継技術の種別

無線信号を中継する無線リレー局は、中継技術により複数の種別が存在する。各種無線中継技術およびその利点・欠点を図 1 に示す。レイヤ 1 リレーは、ブースタもしくはリピータ^{*2}とも呼ばれる中継技術であり、基地局からの下り受信 RF (Radio Frequency) 信号を電力増幅して移動局に送信する AF (Amplifier and Forward) 型中継技術である。移動局からの上り受信 RF 信号も、同様

に電力増幅して基地局に送信される。レイヤ 1 リレーは、装置機能がシンプルであるため、低コストで実現でき、かつ中継に伴う処理遅延が小さいことを特長としている。よって、レイヤ 1 リレーは、第 2 世代および第 3 世代移動通信システムにおいてもすでに広く普及しており、山岳部、過疎地、都市部および屋内のカバレッジ改善を目的に導入されている。LTE でもリピータに要求される RF 性能仕様が規定されており、同様の目的での導入が期待される。しかし、レイヤ 1 リレーは、受信された他セル干渉や雑音も希望波信号成分とともに増幅してしまうため、受信特性が劣化し、スループット改善効果が限定されるという欠点が

*1 有線バックホール回線：交換局および無線基地局などの移動通信システムを構成する装置間を有線で接続する通信回線。

*2 リピータ：基地局からの下り受信信号を電力増幅して移動局への送信を行う物理層の中継機器。

ある。

レイヤ2リレーは、基地局からの下り受信RF信号を復調・復号後、再度符号化・変調を行い、移動局に送信するDF (Decode and Forward) 型中継技術である。無線リレー局で1度復調・復号処理が行われるため、レイヤ1リレーの欠点であった他セル干渉および雑音増幅による受信特性劣化を克服することができ、レイヤ1リレーと比較してスループット改善効果が期待できるのが特長である。一方で、変復調および符号化・復号処理に伴う遅延を伴うことが欠点である。さらに、レイヤ2リレーでは、変復調および符号化・復号処理以外の無線機能（モビリティ制

御^{*3}、ARQ (Automatic Repeat request) による再送制御およびユーザデータ分割・結合処理などは、基地局と移動局との間で、無線リレー局に対し透過的に行われるため、本中継技術をサポートするための新たな無線制御が必要になる。

2.2 レイヤ3リレー技術

レイヤ3リレーは、基地局からの下り受信RF信号の復調・復号処理に加えて、ユーザデータを再生してから、再度無線でユーザデータ伝送を行うための処理（秘匿、ユーザデータ分割・結合処理など）を行い、符号化・変調後に移動局に送信する中継技術である。レイヤ2リレ

ーと同様に、他セル干渉および雑音を除去できることによるスループット改善効果に加え、基地局と同じ機能を搭載することから、無線中継技術固有の標準仕様策定および実装上の影響が少ないことが特長として挙げられる。一方で、変復調および符号化・復号処理遅延に加え、ユーザデータ処理に伴う遅延が追加で加わることが、欠点として挙げられる。

現在3GPPにおいては、雑音除去による受信特性の向上および標準仕様検討および実装上の容易性の観点から、レイヤ3リレー技術を実現する仕様をLTE Release 10で策定することに合意し、標準化が進められている。

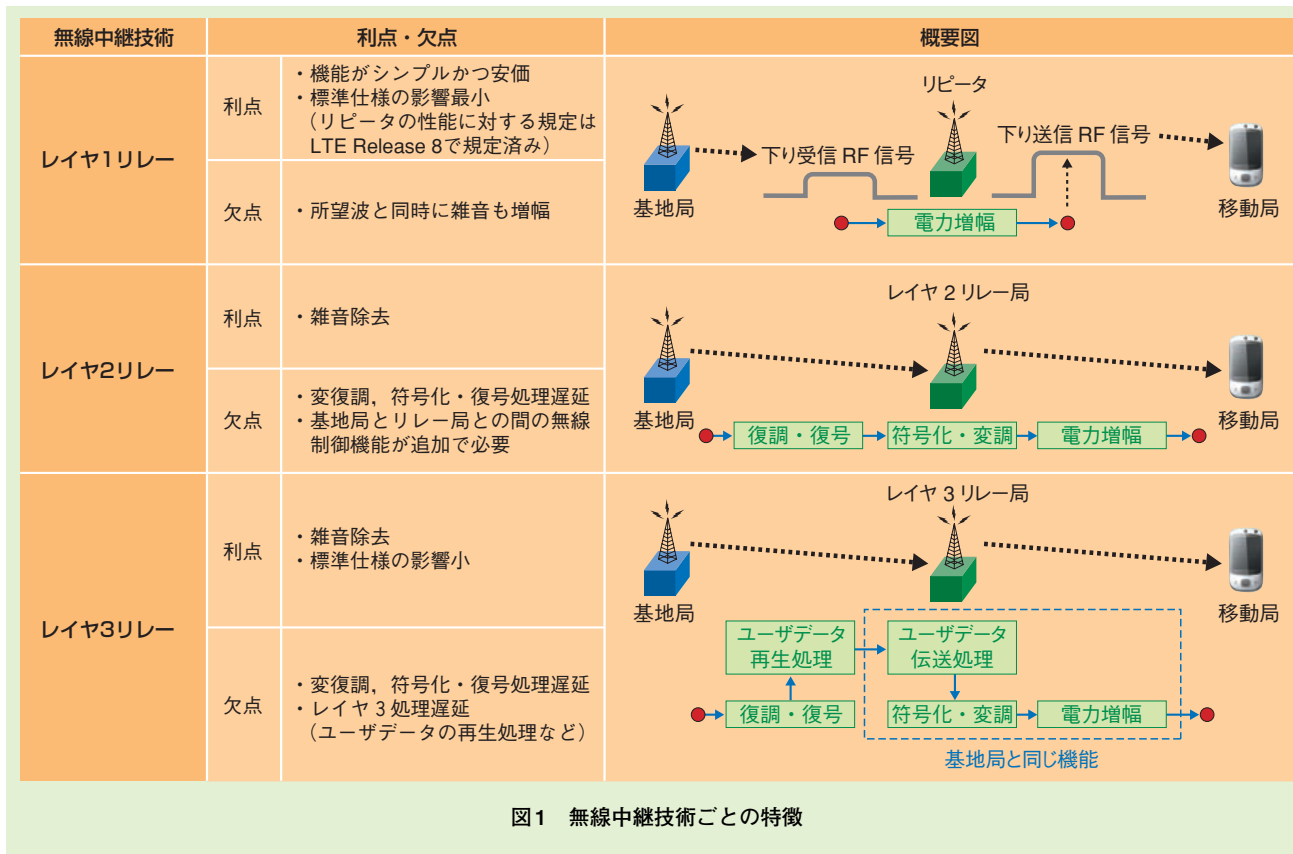


図1 無線中継技術ごとの特徴

*3 モビリティ制御：端末が移動しても、発着信および通信を継続して提供可能とする制御。

レイヤ3リレーによる無線中継技術の概要を図2に示す。前述の無線リレー局におけるユーザーデータ再生処理、変復調および符号化・復号処理に加え、レイヤ3リレー局は、基地局と異なる物理層固有のセルID (PCI: Physical Cell ID) をもつことを特徴とする。これにより移動局は、リレー局が提供するセルを、基地局が提供するセルとは異なるセルとして認識する。また、CQI (Channel Quality Indicator)^{*4}、HARQ (Hybrid ARQ)^{*5}などの物理層の制御信号は、リレー局で終端されるため、リレー局は移動局からみて、基地局として認識される。したがって、LTEの機能のみを有する移動局(例えば、Release 8のLTE仕様に準拠した移動局)もリレー局に接続することができる。また、基地局とリレー局との間の無線バックホール回線(Un)およびリレー局と移動局との間の無線アクセス回線(Uu)は、異なる周波数もしくは同一周波数で運用することが考えられる。後者の場合、リレー局で送受信処理を同時に行うと、送受信回路内で十分なisolation^{*6}が確保できない限り、送信信号がリレー局の受信機に回り込み^{*7}、干渉を引き起こす。よって、同一周波数で運用する場合は、無線バックホール回線および無線アクセス回線の無線リソースを時分割多重(TDM: Time Division Multiplexing)^{*8}し、リレー局において送受信が同時に行われないよう制御する必要がある。

3. リレー技術適用環境

3GPPにおいて、リレー技術の導入が有効な適用シナリオの検討も行われている。検討されている適用シナリオを表1に示す。山岳部、過疎地などのエリア化(Rural area, Wireless backhaul)は、オペレータにとって重要な課題の1つである。リレー技術は、有線バックホール回線を敷設することなく、これらのエリアを経済的に拡大できることが期待されている。その他、地震などの災害時やイベントなどで臨時にエリ

アを形成する際(Emergency or temporary coverage)にも、専用の有線バックホール回線を敷設するのは困難であるため、リレー技術の適用は有用である。また、Urban hot spot, Dead spot, Indoor hot spotなどの都市部での適用は、代替手段として、小型基地局やフェムトセル^{*9}の適用も考えられるが、電柱や建物内への有線ケーブル敷設が困難な国や地域も存在するため、これら都市部でのリレー技術の適用も考慮されている。さらに、電車やバスの車内にリレー局を設置し、共に移動する移動

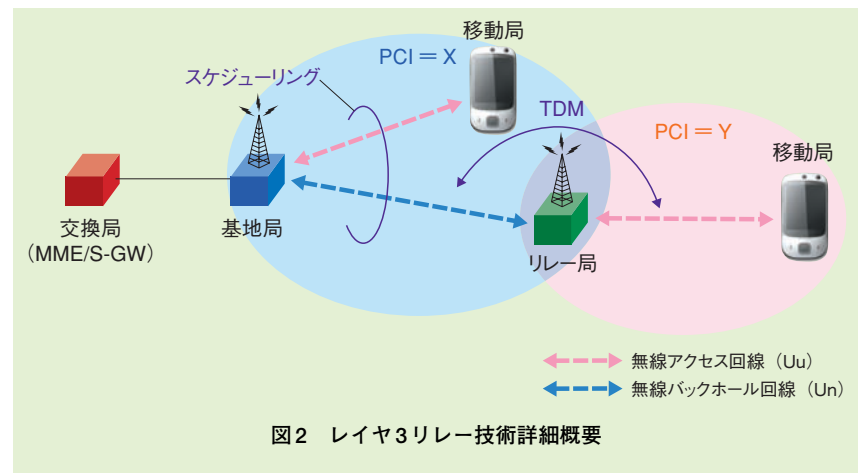


図2 レイヤ3リレー技術詳細概要

表1 リレー技術適用シナリオ

シナリオ	用途	ホップ数
Rural area	山岳部、過疎地のエリア化	1ホップ
Wireless backhaul	山岳部、過疎地、離島のエリア化	1ホップ、複数ホップ
Emergency or temporary coverage	災害時、イベント時の臨時エリア提供	1ホップ、複数ホップ
Urban hot spot	都市部のトラフィック密集域でのエリア拡大、スループット向上	1ホップ
Dead spot	カバレッジホールの補填	1ホップ、複数ホップ
Indoor hot spot	屋内のエリア化、スループット向上	1ホップ
Group mobility	公共車両にリレー局を設置し、ハンドオーバ、位置登録制御信号を軽減	1ホップ

*4 CQI: 移動局で測定された下りリンクの伝搬状況を表す受信品質指標。
 *5 HARQ: 受信機側での誤り訂正復号後の受信誤り検出に基づいて、誤りの生じたデータの再送を行う伝送技術。
 *6 isolation: トランザクション処理が他の

トランザクションと完全に分離していること。
 *7 回り込み: 無線装置において、自身の送信アンテナから送信された電波が自身の受信アンテナに受信されること。
 *8 時分割多重(TDM): 同一の無線システム

領域内において、複数の信号系列を送信する際に、互いに異なる時間を用いて多重すること。
 *9 フェムトセル: 家庭内や小規模店舗をカバーする半径数十メートル程度の極めて小さいエリア。

局からの制御信号を軽減するシナリオ（Group mobility）も検討されている。

3GPPでは、LTE Release 10においてカバレッジの拡大を実現するリレー技術を仕様化することについて合意している。具体的に、リレー局の位置が固定で、かつ基地局と移動局との間の無線アクセス回線をリレー局1局で中継する1ホップリレー技術をサポートする標準仕様策定を進めている。

4. 無線アクセス

無線バックホール回線および無線アクセス回線を異なる周波数で運用する場合は、無線インタフェースの変更なしにサポートすることが可能である。一方、同一周波数で運用する場合は、前述のとおり無線バックホール回線および無線アクセス回線をTDMする必要がある。また、レイヤ3リレーは、Release 8のLTE仕様に準拠した移動局も接続できるこ

とが要求条件として合意されているため、Release 8のLTE仕様とのバックワードコンパチビリティを考慮した無線インタフェース仕様の検討を行うことが必須となる。そこで、無線バックホール回線および無線アクセス回線でTDMを行うために、次の無線アクセス技術が必要になる。

4.1 リレー伝送時の無線フレーム構成

一般に、リレー局による中継を行う場合には、下りリンクにおいて、基地局からの信号を受信している間も、リファレンス信号^{*10}や報知チャンネル^{*11}、同期信号^{*12}、上りリンク制御用のレイヤ1/レイヤ2制御チャンネルなどは、リレー局が送信していることが望ましい。一方で、前述のとおり、リレー局において送受信が同時に行われないうように制御を行い、送受信回路内で十分なisolationを確保する必要がある。このため、

リレー局が基地局からの信号を受信するサブフレームでは、リファレンス信号とレイヤ1/レイヤ2制御チャンネルがサブフレーム先頭の最大2シンボル^{*13}だけに配置されるMBSFN（Multicast/Broadcast Single Frequency Network）^{*14}用のサブフレーム構成を用いる方法が検討されている[1]（図3）。本方法により、移動局は、リレー局が基地局からの信号を受信するサブフレームでは、リレー局から移動局への送信データが存在しないことを認識することが可能となり、同時に、先頭の最大2シンボルのリファレンス信号を用いてリレー局からの受信RF信号の品質を測定することができる。

5. 無線制御技術

レイヤ3リレーは、リレー局においてユーザデータを再生する処理を行うため、LTE基地局が有する無線制御機能と同じ機能をリレー局が有することが合意されている[1]。具体

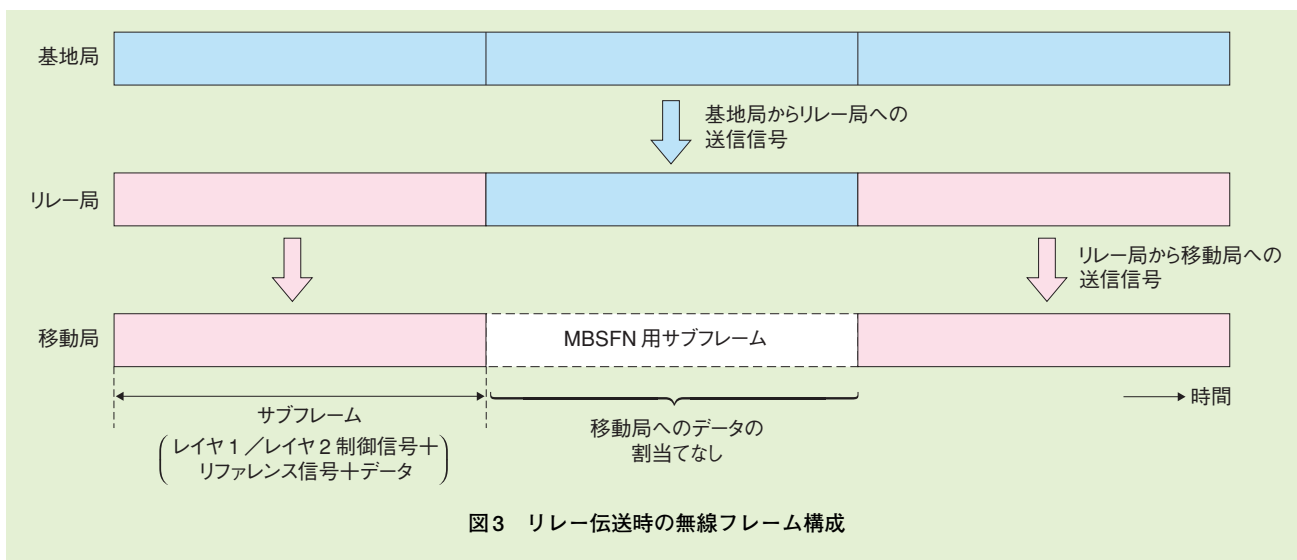


図3 リレー伝送時の無線フレーム構成

*10 リファレンス信号：あらかじめ送受信間で定められたパターンの信号で、受信側ではその受信信号からチャンネル（減衰量および位相回転量）の推定などを行う。

*11 報知チャンネル：システムの運用情報を報知するための共通チャンネル。移動端末は電源投入時などに、このチャンネルを読み取ることで、通信事業者コード、共通チャンネル構造や周辺セル情報などの通信開始に必要な情報を取得する。

*12 同期信号：移動局が電源投入時などに、通信の開始に必要なセルの周波数と受信タイミングおよびセルIDの検出を行うための物理信号。

的には、ユーザデータの秘匿およびヘッダ圧縮などを行うPDCP (Packet Data Convergence Protocol)^{*15} サブレイヤ[2], ARQによる再送制御およびSDU (Service Data Unit)^{*16} 分割, 結合および順序制御などを行うRLC (Radio Link Control)^{*17} サブレイヤ[3], HARQおよびユーザデータスケジューリングなどを行うMAC (Medium Access Control)^{*18} サブレイヤ[4], モビリティ, QoS, セキュリティ制御を行うRRC (Radio Resource Control)^{*19} サブレイヤを有する[5]. また, 前述のとおり無線バックホール回線および無線アクセス回線を同一周波数で運用する場合, 両回線間をTDMする必要があり, それに付随する無線制御が必要になる.

一例として, 無線バックホール回線のリソース割当て法がある.

3GPPでは, 無線バックホール回線のリソースを割り当てる方法が議論されている. 具体的には, OAM (Operation Administration and Maintenance) システムによりリレー局設置時に, 無線バックホール回線のリソースを割り当てる方法と, リレー局の数およびトラフィック量に応じて無線バックホール回線のリソースを効率的に利用するため, RRCサブレイヤで規定される処理を用いて, 動的に無線リソースを割り当てる方法が検討されている.

そのほか3GPPでは, 無線バックホール回線においてユーザデータ伝送を行う際に, IPヘッダなどの上位層のプロトコルヘッダを圧縮する方

法などが議論されている.

6. アーキテクチャ

リレー局は, 基地局相当の機能を有するため, 基地局とリレー局との間のインタフェースおよびMME (Mobility Management Entity), S-GW (Serving Gateway) などの交換局とリレー局との間のインタフェースで必要な, 制御機能およびユーザデータ伝送方法を新たに検討する必要がある. 3GPPでは, アーキテクチャを検討するにあたり, 次の要求条件に合意している.

- ・ 交換局 (MME, S-GW) への機能追加を最小限にすること.
- ・ 交換局とリレー局との間で規定されるインタフェースは, LTEで規定された交換局と基地局との間のインタフェースと同等の機能 (ノード状態監視, セキュリティなど) を提供すること.

前述の要求条件を満たすため, リレー局は, LTEにおいて基地局と制御用交換局 (MME) との間で必要な機能を規定したプロトコルである, S1AP (S1 Application Protocol)^{*20} [6] を搭載し, 制御用交換局 (MME) との間で終端することが合意されている[7]. S1APが有する機能は, 移動局向けユーザデータを伝送する通信回線 (ベアラ^{*21}) の確立, 変更, 解放, ハンドオーバー制御および待受け中の移動局への着信制御などがある. レイヤ3リレー技術を実現する無線ネットワークアーキテクチャを図4に示す. 図4(a) に示すように,

S1APは, SCTP (Stream Control Transmission Protocol)^{*22} [8]およびIPを用いてリレー局とMMEとの間で伝送される. また, S1APは, リレー局が接続する基地局において一度終端している. S1APが基地局で終端することにより, MMEはリレー局の接続数によらず, S1APを伝送するための通信回線を基地局とのみ確立すればよく, 都市部などで多くのリレー局を基地局配下に設置するような適用シナリオを実現することができる.

また図4(b) に示すように, ユーザデータを伝送するためのU-Plane (User Plane)^{*23} アーキテクチャもC-Plane (Control Plane)^{*24} アーキテクチャと同様に, GTP-U (GPRS Tunneling Protocol User plane) [9]を用いて, ユーザデータをユーザデータ伝送用交換局 (S-GW) からリレー局まで転送することで, LTEのS-GWと基地局との間のユーザデータ転送方法を再利用することができる. また, 基地局とリレー局の間では, QoSごとに無線ベアラが確立され, 複数移動局の同じQoSを要求するサービスのユーザデータは, QoSごとに確立された無線ベアラ上で多重して伝送される.

7. あとがき

本稿では, LTE-Advancedで検討されているリレー技術の概要および適用シナリオについて解説した. ドコモは, これまで第3世代移動通信システムでは, リピータを用いて山岳部, 過疎地, 離島などのエリア化

*13 シンボル: 伝送するデータの単位であり, 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 (Quadrature Phase Shift Keying) なら2bit) がマ

ッピングされる.

*14 MBSFN: 複数セルから同一の信号を時間同期させて送信するマルチキャスト・ブロードキャスト単一周波数ネットワーク.

*15 PDCP: レイヤ2におけるサブレイヤの1つで, 秘匿, 正当性確認, 順序整列, ヘ

ッダ圧縮などを行うプロトコル.

*16 SDU: OSI参照モデルにおいて, 任意のプロトコル層が, 上位層より提供される情報要素単位.

*17 RLC: レイヤ2のサブレイヤの1つで, 再送制御などを行うプロトコル.

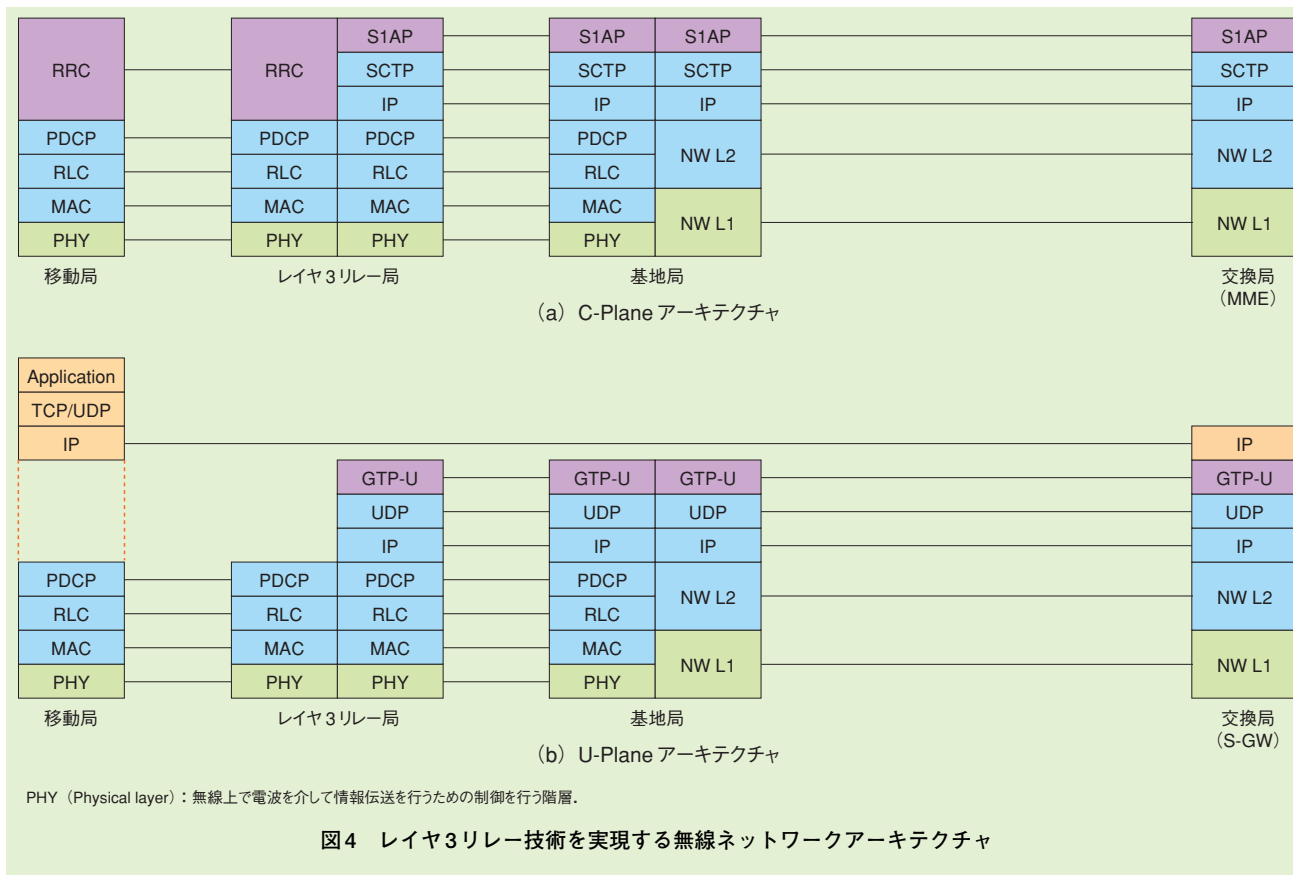


図4 レイヤ3リレー技術を実現する無線ネットワークアーキテクチャ

を行ってきたが、LTEでは、リピータの代わりにレイヤ3リレー技術を適用することで、他セル干渉および雑音による受信特性劣化を改善し、より高いスループット改善効果を得られる可能性がある。LTEのサービスエリアをより効率的かつ早期に拡大できるよう、有効なりレー技術をLTE Release 10で仕様策定すべく、今後も標準化活動を進めていく。

文 献

[1] 3GPP TS36.912 V9.1.0 : “Feasibility

study for Further Advancement for E-UTRA (LTE-Advanced),” 2010.

[2] 3GPP TS36.323 V9.0.0 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification,” 2009.
 [3] 3GPP TS36.322 V9.1.0 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) protocol specification,” 2010.
 [4] 3GPP TS36.321 V9.2.0 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification,” 2010.
 [5] 3GPP TS36.331 V9.2.0 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-

UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification,” 2010.

[6] 3GPP TS36.413 V9.2.1 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); S1 Application Protocol (S1AP),” 2010.
 [7] 3GPP TR36.806 V9.0.0 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Relay architectures for E-UTRA (LTE-Advanced),” 2010.
 [8] IETF RFC4960 : “Stream Control Transmission Protocol,” 2007.
 [9] 3GPP TS29.281 V9.2.0 : “General Packet Radio System (GPRS) Tunnelling Protocol User Plane (GTPv1-U),” 2010.

* 18 MAC : 論理チャンネルとトランスポート・チャンネルとの間のマッピングを行うプロトコル。
 * 19 RRC : 無線回線を制御するレイヤ3プロトコル
 * 20 S1AP : 移動局向けユーザデータを伝送

する通信回線およびハンドオーバーなどの制御に必要な交換制御装置と無線基地局との間の機能を規定したプロトコル。
 * 21 ベアラ : 情報を伝達する通信回線。
 * 22 SCTP : 電話網のプロトコルをIP上で転送する用途で作られたトランスポート層

のプロトコル。
 * 23 U-Plane : ユーザデータを転送するためのプロトコル。
 * 24 C-Plane : 制御信号を転送するためのプロトコル。