

Technology Reports

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

LTE-Advancedの概要および標準化動向

現在3GPPでは、LTEの発展形無線インタフェースであるLTE-Advancedの標準化が進められている。LTE-Advancedは、LTEとのバックワードコンパチビリティを保ちつつ、LTEよりもさらに高いシステム性能の実現を目指し、また、ITU-Rにおいて標準化が進められているIMT-Advancedの最小要求条件を満足する必要がある。このため、LTEをベースとして、さらなる広帯域化、MIMO技術の高度化、リレー技術の導入などが検討されている。

1. まえがき

現在ドコモでは、無線ネットワークの高速化、高機能化、経済化を実現するため、3GPPにおいて2009年春に標準化が完了したLTE^{*1} Release 8（以下、LTE Rel.8）仕様[1][2]に基づく移動通信システムの商用開発に取り組んでいる。LTE Rel.8は、直交マルチアクセス、周波数領域スケジューリング、MIMO（Multiple Input Multiple Output）^{*2}などの高度な無線インタフェース技術を採用し、HSPA（High Speed Packet Access）^{*3}に比べてさらに高いシステム容量およびセル端ユーザスループットを実現するとともに、伝送遅延および接続遅延を大幅に低減する

など、システム性能を大きく改善している[3]。ドコモは、その基本コンセプト提案から仕様完成に至るまで、3GPPにおいてLTE標準化推進の中心的役割を担ってきた。また、ドコモでは、将来LTEを用いてユーザの需要に応じた多様なサービスを安価に導入できるよう、LTEのさらなる高機能化をLTE Rel.9の標準化で推進してきた。2010年春に完成したLTE Rel.9では、CSG（Closed Subscriber Group）機能の拡張、ネットワーク自己最適化機能の拡張、位置情報サービスや同報配信サービス（MBMS：Multimedia Broadcast and Multicast Service）などの新規機能が提供されている[4]。

そして、ドコモは、動画などの大

容量コンテンツサービスの普及により今後一層増大することが予想されるトラフィックの需要にタイムリーに応えるべく、無線アクセスネットワークのさらなるシステム性能の向上を目指して、LTE-Advanced（LTE Rel.10 and beyond）の標準化を推進している[5]。3GPPでは、2008年3月にドコモがレポートを務めたLTE-AdvancedのSI（Study Item）[6]が承認され、現在LTE Rel.10の詳細仕様の検討が進められている。

LTE-Advancedは、LTE Rel.8に対してさらに高いシステム性能を実現することに加え、LTE Rel.8からのスムーズなシステム展開を可能にするために、LTE Rel.8とのバックワードコンパチビリティを保つことが

無線アクセス開発部

なかむら たけひろ

中村 武宏

いわむら みきお

岩村 幹生

たんの もとひろ

丹野 元博

あべ た さだゆき

安部田 貞行

あべ てつし

阿部 哲士

*1 LTE：3GPPの第3世代移動通信方式の拡張規格。HSPA（*3参照）よりも高速かつ低遅延な通信を実現できる。

*2 MIMO：複数の送受信アンテナを用いて伝送容量を増大する無線通信技術。

*3 HSPA：W-CDMAのパケットデータ通信

を高速化した規格であり、基地局から移動端末への下り方向を高速化したHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）と移動端末から基地局への上り方向を高速化したHSUPA（High Speed Uplink Packet Access）の総称である。

重要な要求条件とされている[7]。一方、ITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication sector) では、IMT (International Mobile Telecommunications) -2000^{*4}の後継システムとしてIMT-Advancedの標準化が進められており、LTE-AdvancedはIMT-Advancedの無線インタフェースの候補でもある。このため、LTE-Advancedは、IMT-Advancedの最小要求条件をIMT-Advanced標準化のタイムプラン内に実現することが要求されている[7]。

本稿では、LTE-Advancedの標準化動向、主な無線インタフェース技術および3GPPにおけるシステム性能評価結果について概説する。無線インタフェース技術の詳細について

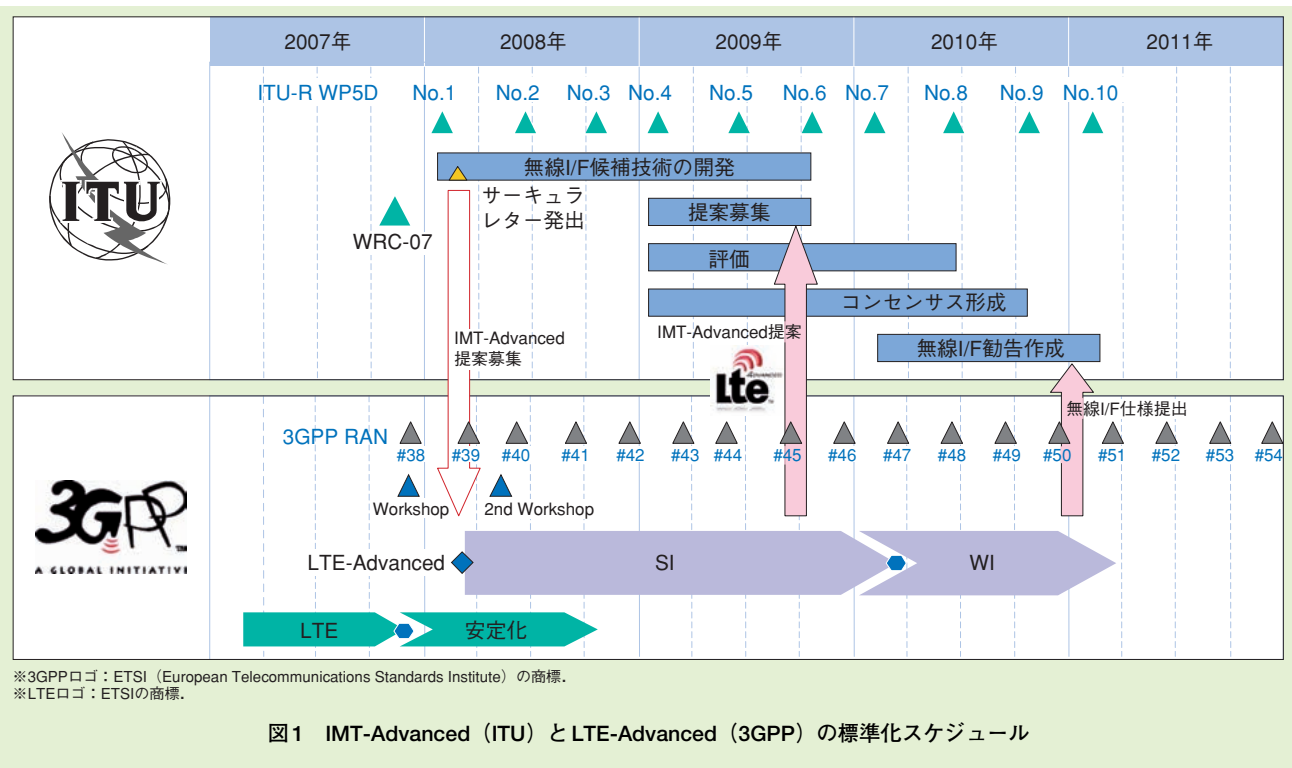
は、別稿を参照されたい[8]-[10]。

2. 標準化スケジュール

ITU-RのIMT-Advancedおよび3GPPのLTE-Advancedの標準化スケジュールを図1に示す。ITU-Rでは、2007年11月に開催されたWRC-07 (World Radiocommunication Conference 2007)^{*5}においてIMT用の新たな周波数帯が特定され、2008年3月にはIMT-Advancedの無線インタフェースの提案を募集するサーキュラレター^{*6}が発出された[11][12]。同年にIMT-Advancedの要求条件および評価条件が規定され[13][14]、2009年10月までの提案募集期間内に、LTE-AdvancedとIEEE 802.16m^{*7}の2つに基づく提案が受け付けられた。その後、ITU-Rに登録された評価ゲ

ループによる外部評価が行われ、IMT-Advancedに関する最終合意が得られた後、2011年の初めまでに無線インタフェース仕様勧告が完成する予定である。

3GPPでは、ITU-Rからのサーキュラレターの発出を契機として、2008年3月にLTE-Advancedの無線インタフェースの基本検討 (SI) が開始され[6]、LTE-Advancedの要求条件および評価条件が規定された[7][15]。その後、LTE-Advancedの無線インタフェース技術の検討が進められ、2009年10月にはITU-Rに対してLTE-Advancedの提案が行われた[16]。この際、後述のとおり、3GPPの自己評価結果においてIMT-Advancedのすべての要求条件を満足していることが示されている。



*4 IMT-2000：第3世代移動通信システムおよびその高度化システム、ITU-R勧告にまとめられており、現状W-CDMAなどの6つの方式がある。
 *5 WRC-07：2007年に開催された世界無線通信会議。周波数の有効利用を図るため

に、各周波数帯の利用方法、無線局の運用方法や、技術基準、衛星軌道の利用方法など国際的な電波秩序を規律する無線通信規則 (RR：Radio Regulation) の改正を行うための会議で、通常3～4年ごとに開催される。

*6 サーキュラレター：加盟している国の主管庁や企業、団体などのメンパに対する連絡事項を記した文書。
 *7 IEEE 802.16m：IEEEのIMT-Advanced候補無線インタフェース。

2009年12月からは、LTE-Advancedの無線インタフェースの詳細仕様の検討作業（WI：Work Item）が開始され、IMT-Advancedの標準化スケジュールに合わせて2010年12月までに仕様が完成する予定である。

3. LTE-Advancedの主な無線インタフェース技術

LTE-Advancedでは、要求条件を満たすために、LTE Rel.8をベースとして、次に示すような無線インタフェース技術のさらなる高度化が検討されている。

LTE Rel.8では最大20MHzまでの帯域幅がサポートされているが、LTE-Advancedでは、下りリンクで1Gbit/s、上りリンクで500Mbit/sというピークデータレートの実現を目指しており、さらなる広帯域化が必要である。一方でLTE-Advancedは、LTE Rel.8とのバックワードコンパチビリティも確保する必要がある。そこで、LTE Rel.8がサポートする帯域幅のCC（Component Carrier）と呼ばれる周波数ブロックを複数組み合わせることにより、広帯域化を実現する。これをCA（Carrier Aggregation）と呼ぶ[8]。

LTE Rel.8では、下りリンクで最大4レイヤまでのMIMO多重がサポートされており、上りリンクではMIMO多重はサポートされていない。一方、LTE-Advancedでは、下りリンクで30bit/s/Hz、上りリンクで15bit/s/Hzのピーク周波数利用効率^{*8}（Peak Spectral Efficiency）の要

求条件を満たすため、下りリンク最大8レイヤ、上りリンク最大4レイヤのシングルユーザMIMO^{*9}多重をサポートする。また、システム容量を向上させるため、マルチユーザMIMO^{*10}が高度化される。さらに、とくにセル端ユーザスループットを改善するため、複数のセル間で協調して送受信を行うセル間協調送受信（CoMP：Coordinated Multi-point transmission/reception）の導入に向けた検討が行われている[9]。

LTE-Advancedでは、無線アクセスネットワークの低コスト化も重要な要求条件の1つであり、特に有線伝送路が高価な環境において低コストにカパレッジを拡大する方法として、バックホールを無線で構成するリレー伝送が導入される[10]。

4. ITU-R 要求条件に対するシステム性能評価結果

ITU-Rでは、IMT-Advancedの最小要求条件として8つの項目が規定されている。

- ①ピーク周波数利用効率
- ②セル周波数利用効率（Cell Spectral Efficiency）
- ③セル端ユーザ周波数利用効率

（Cell Edge User Spectral Efficiency）

- ④周波数帯域幅（Bandwidth）
- ⑤遅延（Latency）
- ⑥移動性（Mobility）
- ⑦ハンドオーバー時の中断時間（Handover Interruption Time）
- ⑧VoIPユーザ収容数（VoIP Capacity）

次に、3GPPで行った自己評価結果の一部を示す。

下りおよび上りリンクのピーク周波数利用効率の評価結果を表1に示す。オーバーヘッドなどの仮定に関する詳細は[17]を参照されたい。下りリンクでは、LTE Rel.8シングルユーザMIMOで実現できる4レイヤMIMO多重を、上りリンクでは、LTE-AdvancedシングルユーザMIMOで実現できる2レイヤMIMO多重を用いることで、ITU-Rの要求条件を満たすことが分かる。加えて、LTE-AdvancedシングルユーザMIMOで実現できる下り最大8レイヤ多重と上り最大4レイヤ多重により、3GPPで規定するLTE-Advancedの要求条件（下り30bit/s/Hz、上り15bit/s/Hz）を満たすことが分かる。ITU-Rが規定するテスト環境[14]

表1 ピーク周波数利用効率

ITU-R要求条件 (bit/s/Hz)	下りリンク		上りリンク	
	4レイヤ	8レイヤ	2レイヤ	4レイヤ
ITU-R要求条件 (bit/s/Hz)	15		6.75	
MIMO多重数	4レイヤ	8レイヤ	2レイヤ	4レイヤ
ピーク周波数利用効率 (bit/s/Hz)	16.3	30.6	8.4	16.8

*8 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。

*9 シングルユーザMIMO：同一時間周波数において、単一ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

*10 マルチユーザMIMO：同一時間周波数において、複数ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

と、IMT-Advancedのセル周波数利用効率，セル端ユーザ周波数利用効率の要求条件[13]を表2に示す。IMT-Advancedでは，屋内環境 (Indoor)，マイクロセル^{*11}環境 (Microcellular)，マクロセル^{*12}環境 (Base coverage urban)，高速移動環境 (High speed) と呼ばれる4つのテスト環境が規定されている。屋内環境以外の3環境では，19サイト (サイト当り3セル) のラップアラウンド^{*13}を用いるマルチセル構成であり，環境によって，セルサイズ，移動速度，チャンネルモデルなどが異なる。その他，詳細な特性評価条件は[17]を参照されたい。

ITUテスト環境における下りリンクと上りリンクそれぞれにおけるセル周波数利用効率，セル端ユーザ周波数利用効率を図2，3に示す。下りリンクにおいては，LTE Rel.8として，4送信アンテナ，2受信アンテナ (4×2) を用いるシングルユーザMIMOを，LTE-Advancedとして，4送信アンテナ，2受信アンテナ (4×2) を用いるマルチユーザMIMOの特性を評価している。上りリンクにおいては，LTE Rel.8として，1送信アンテナ，4受信アンテナ (1×4) を用いる単一アンテナ送信を，LTE-Advancedの特性として，2送信アンテナ，4受信アンテナ (2×4) を用いるシングルユーザMIMOの特性を評価している。

図2より，下りリンクにおいて，屋内環境および高速移動環境では，LTE Rel.8シングルユーザMIMOで要求条件を満たしているが，マイク

表2 ITUテスト環境および要求条件

(a) ITUテスト環境

テスト環境	屋内	マイクロセル	マクロセル	高速移動
キャリア周波数 (GHz)	3.4	2.5	2.0	0.8
セルレイアウト	長方形型 (2セルモデル)	六角形型，19セルサイト，3セル/サイト		
サイト間距離 (m)	60	200	500	1,732
移動速度 (km/h)	3	3	30	120
トラフィックモデル	フルバッファモデル	フルバッファモデル	フルバッファモデル	フルバッファモデル
システム帯域幅 (MHz)	20	10	10	10
ユーザ数 (セル当り)	10	10	10	10

(b) ITUにおける要求条件

セル周波数利用効率 (bit/s/Hz/cell)	下りリンク	3.0	2.6	2.2	1.1
	上りリンク	2.25	1.8	1.4	0.7
セル端ユーザ周波数利用効率 (bit/s/Hz/cell/user)	下りリンク	0.1	0.075	0.06	0.04
	上りリンク	0.07	0.05	0.03	0.015

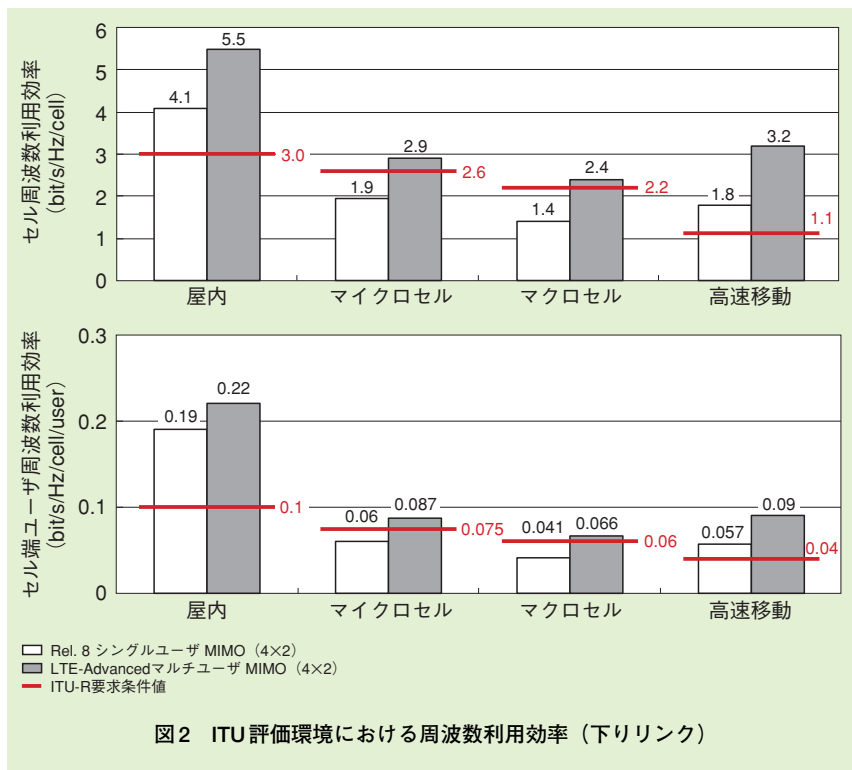


図2 ITU評価環境における周波数利用効率 (下りリンク)

ロセルおよびマクロセル環境においては，LTE Rel.8シングルユーザ

MIMOでは要求条件を満たすことができず，LTE-Advanced マルチユー

*11 **マイクロセル**：1つの基地局がカバーする半径数十メートルから数百メートルの通信可能エリア。
 *12 **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。

*13 **ラップアラウンド**：有限なセル数を用いたシステムレベルシミュレーションにおいて，各セルが全セルの中心に置かれた場合に受けるセル外干渉を模擬するために，巡回的にセルを配置する方法。

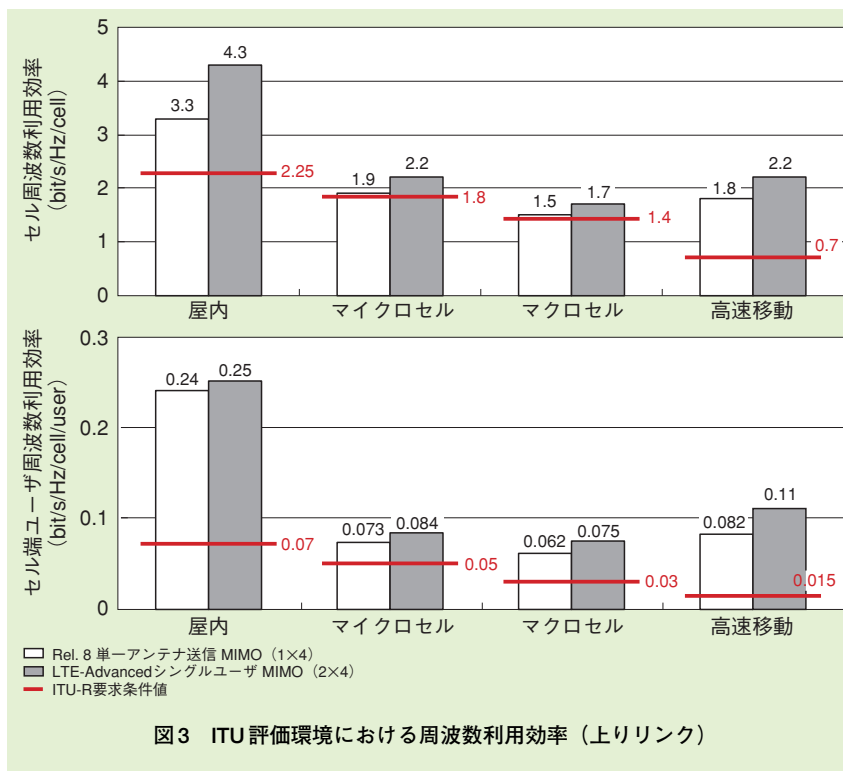


図3 ITU 評価環境における周波数利用効率 (上りリンク)

ザMIMOを用いることで、要求条件を満たしていることが分かる。また、LTE-AdvancedマルチユーザMIMO技術による、LTE Rel.8シングルユーザMIMOに対する大きな利得が示されている。よって、ユーザ当りの多重数を増大させてピークレートを増大するシングルユーザMIMOに加えて、同時接続ユーザ数を増大させてネットワークのキャパシティを増大させるマルチユーザMIMOをLTE-Advancedにおける主要技術の1つとして、3GPPでの仕様が進められている。

図3より、上りリンクでは、すべての環境において、LTE Rel.8単一アンテナ送信により、要求条件を満たしていることが分かる。加えて、LTE-Advancedシングルユーザ

MIMOにより、さらなる特性改善が得られることが分かる。

また、これらの結果に加えて3GPPでは、ITU-R要求条件評価として、CoMP技術の評価も行っており、CoMPの適用により、さらなる性能改善効果が得られることが示されている[17]。

周波数利用効率の評価に加えて、周波数帯域幅、遅延、移動性、ハンドオーバー時の中断時間、VoIPユーザ収容数の項目においても、LTE Rel.8またはLTE-Advancedの技術によりIMT-Advancedの要求条件を満たすことが、3GPPの評価により示されている[17]。

5. あとがき

本稿では、3GPPにおいて標準化が進められているLTE-Advancedの標準化動向、主要な無線インタフェース技術およびシステム性能評価結果について概説した。LTE-Advancedの標準化作業は引き続き進められており、2010年末までにLTE Rel.10として無線インタフェースの標準仕様が完成する予定である。

文献

- [1] 3GPP TS36.300 V8.11.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2," 2009.
- [2] 中村, ほか: "3GPP LTE/SAE標準仕様完成における活動と貢献," 本誌, Vol.17, No.2, pp.36-45, Jul. 2009.
- [3] 3GPP TR25.912 V8.0.0: "Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)," 2008.
- [4] 岩村, ほか: "LTEのさらなる発展—LTE Release 9—," 本誌, Vol.18, No.1, pp.48-55, Apr. 2010.
- [5] 安部田, ほか: "進化し続けるLTEの標準化動向," 本誌, Vol.18, No.1, pp.45-47, Apr. 2010.
- [6] 3GPP TD RP-080137: "Proposed SID on LTE-Advanced," 2008.
- [7] 3GPP TR36.913 V8.0.1: "Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced)," 2009.
- [8] 三木, ほか: "LTE-Advancedにおける広帯域化を実現するCarrier Aggregation," 本誌, Vol.18, No.2, pp.12-21, Jul. 2010.

- [9] 田岡, ほか: “LTE-AdvancedにおけるMIMOおよびセル間協調送受信技術,” 本誌, Vol.18, No.2, pp.22-30, Jul. 2010.
- [10] 岩村, ほか: “LTE-Advancedにおけるリレー技術,” 本誌, Vol.18, No.2, pp.31-36, Jul. 2010.
- [11] ITU-R Conference Publications: “Final Acts WRC-07, Geneva,” 2007.
- [12] ITU-R Document IMT-ADV/1: “Background on IMT-Advanced,” 2008.
- [13] ITU-R Report M.2134: “Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s),” 2008.
- [14] ITU-R Report M.2135: “Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced,” 2008.
- [15] 3GPP TR36.814 V1.0.0: “Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects,” 2009.
- [16] ITU-R Document 5D/564: “Complete submission of 3GPP LTE Release 10 and beyond (LTE-Advanced) under Step 3 of the IMT-Advanced process,” 2009.
- [17] 3GPP TR36.912 V.9.0.0: “Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced),” 2009.