



# Long Term Evolution (LTE): LTEエアアーインターフェースの概要 テクニカル・ホワイトペーパー



要約 – パケットベースの無線ブロードキャストシステム、例えばWiMAX 802.16eなどの出現によって、Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)の仕様の総合的進展が競争力を保つ必要があることは明白です。その結果、UMTS Terrestrial Radio Access NetworkのLong Term Evolution (LTE)に関する研究が、2010年の商用展開を目指して始まっています。この進化型システムの目標には、システム容量とカバレッジの改良のサポート、ピーク時データ速度の高速化、低いレイテンシ、運用コストの削減、マルチアンテナのサポート、柔軟な帯域幅運用および既存のシステムとのシームレスなインテグレーションなどがあります。これらの目標を達成するために、エアインターフェースを新しく設計することが検討されています。本ペーパーでは、LTEのEvolved UTRA (E-UTRA)および、その設計目標の達成のために必要な主要テクノロジーに関して、エアインターフェースの今後の方向を予測します。初期のLTE E-UTRAシステムの性能評価では、参考とするRel-6 UMTS/HSxPAシステムと比較して[1, 2]、アップリンクとダウンリンクの両方で、2~3倍の向上を示しています。

## I. はじめに

現状のUniversal Mobile Telecommunications System (ユニバーサルモバイルテレコミュニケーションシステム: UMTS/HSxPA)仕様では、システムはダウンリンク(最大14Mbps)とアップリンク(最大5.76Mbps)の両方で高速パケットアクセスをサポートすることができます。HSxPAシステムは、前の世代のUMTS仕様との互換性要件で設計の制約を受けていた、これまでのUMTSシステムのパケットデータ伝送に対して大幅な改良を行いました。パケットベースのモバイルブロードバンドシステム、例えばWiMAX 802.16eの出現によって、UMTSの包括的なLong Term Evolution (LTE)が、長期的に競争力を保つ必要があることは明白です。これを受けて、LTE Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA)に関する研究が、2010年の商用展開を目指して開始されました。このシステムの長期的な目標には、ピーク時データ速度の高速化(ダウンリンクで100Mbps、アップリンクで50Mbps)、低いレイテンシ(往復の遅延が10ms)、システムの容量とカバレッジの拡大、運用コストの削減、マルチアンテナのサポート、パケットデータ伝送の効率的サポート、柔軟な帯域幅運用(最大20MHz)および既存システムとのシームレスなインテグレーションなどがあります。これらの目標を達成するために、エアインターフェースの新しい設計が検討されています。本ペーパーでは、LTE E-UTRAのエアインターフェースおよび現状のUMTS/HSxPAシステムとの比較結果について考察します。

UMTS標準のスケジュールを図1に示します。物理レイヤー仕様の最初のフェーズは、2006年5月に完了し、LTE E-UTRAの物理レイヤーの性能要件は実現可能であるという結論が出されました。完全な仕様は、2008年末までに作成される予定です。LTE E-UTRAシステムの試用版を2009年までに、そして2010年までの商用展開を予定しています。

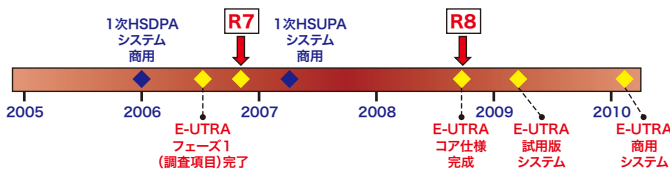


図1. LTE E-UTRA標準のスケジュール

本ペーパーの構成は次のとおりです。セクションIIではLTE E-UTRAの性能要件の概要を、セクションIIIでは新しい物理レイヤー技法について説明します。セクションIVでは、チャネルサポートの設計について、セクションVでは、LTE E-UTRAのシステムシミュレーション結果を説明します。

## II. LTE E-UTRAの性能要件

LTE E-UTRAの性能要件の主な目的は、参考文献[1]で示すように、高データ速度と低いレイテンシでの最適なパケットベースのアクセスシステムを開発することです。対象となるサービスの例としては、HDTV放送、ムービーオンデマンド、ボイスオーバー IP (VoIP)などがあります。物理レイヤーの性能要件を表1にまとめてあります。

表1. LTE E-UTRA用物理レイヤーの性能要件

要件	現リリース (Rel-6 HSxPA)	LTE E-UTRA
ピーク時データ速度	14 Mbps DL / 5.76 Mbps UL	100 Mbps DL / 50 Mbps UL
周波数帯効率	0.6 – 0.8 DL / 0.35 UL (bps/Hz/sector)	DL: 3~4倍向上 UL: 2~3倍向上
5%パケットコールスループット	64 Kbps DL / 5 Kbps UL	DL: 3~4倍向上 UL: 2~3倍向上
平均ユーザースループット	900 Kbps DL / 150 Kbps UL	DL: 3~4倍向上 UL: 2~3倍向上
ユーザープレーンのレイテンシ	50 ms	5 ms
コールセットアップ時間	2 sec	50 ms
ブロードキャストデータ速度	384 Kbps	6-8x improvement
モビリティ	最大250 km/時	最大350 km/時
マルチアンテナサポート	なし	あり
帯域幅	5 MHz	スケーラブル (最大20 MHz)

E-UTRAの他の目的には、TDDとFDDモード用の共通ベースバンドサポート、設備投資と運用コストの削減、システムと端末の適度の複雑さなどがあります。802.16のような既存の無線ブロードバンドアクセス技術と比較すると、E-UTRAは、同様の周波数領域のエアーインターフェースを採用して、最先端のマルチアンテナ機能をサポートする予定です。しかし、E-UTRAは、802.16よりもオプションが少なく設計されており、改良されたアップリンクを、電力増幅器のディレーティングを下げ、VoIPのサポートを向上し、レイテンシを短縮し、UMTSのようなレガシーシステムとシームレスに相互作用します。さらに、E-UTRAでは、モビリティを最大350 km/時までサポートし、マイクロスリプでモバイルステーションの電力消費を抑え、ユニキャストと拡張ブロードキャスト伝送をシームレスにインテグレーションする予定です。

### III. エアーインターフェースの主な技術

#### A. OFDMダウンリンク伝送

ダウンリンクでは、E-UTRAの性能要件を効率的に満たすために、OFDMが選定されています。OFDMに関して、マルチパスチャネルの周波数選択性を、複雑さの低いレシーバーと共に利用するのは当然です。これによって、周波数ダイバーシティ・スケジューリングに加えて周波数選択的スケジューリングおよび1セル周波数再利用が可能になります。さらに、OFDMは、その周波数領域の特徴のために、柔軟な帯域幅運用を低い複雑さで可能にします。スマートアンテナ技術は、OFDMでサポートする方が簡単です。というのは、それぞれのサブキャリアは、フラットフェードになり、各アンテナへの重み付けは、サブキャリア(または、サブキャリアのブロック)当たりのベースで最適化することができるからです。さらに、OFDMによって同期の取れた、適切な隣接クロック・プレフィックスを与えた単一周波数ネットワーク(SFN)上でのブロードバンドサービスが可能になります。これによって、様々なセルからのブロードキャスト信号は、Over the Airで結合することができ、受信した信号出力およびブロードキャストサービス用のサポート可能なデータ速度が大幅に向上します。

表2. E-UTRAのフレーム・パラメータ [2]

伝送帯域幅 (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
サブフレーム 持続時間	1.0 ms					
サブキャリア スペーシング	15 KHz					
サンプル頻度 (MHz)	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
FFT サイズ	128	256	512	1024	1536	2048
占有サブキャリアの数	72	180	300	600	900	1200
CPの長さ(μs)	正規	4.69 x 6, 5.21 x 1				
	拡張	16.6				

運用の柔軟性を向上するために、E-UTRAの物理レイヤーの仕様は、帯域幅に寛容で、最大20 MHzのシステム帯域幅まで対応するように設計されています。表2は、様々な周波数帯域の割当てに対するダウンリンクサブフレームに関するパラメータを示しています。2つのサイクリック・プレフィックス(CP)持続時間の1つを持つサブフレームは、時間領域で多重化されます。サイクリック・プレフィックスは、ユニキャスト伝送では、より短く設計され、大きなセルやブロードキャストSFN伝送の場合は、より長く設計されています。この有用なシンボル時間CPIは、すべての帯域幅で一定です。15 kHzサブキャリアスペーシングは、フェーズノイズやドップラー(2.6 GHzで250km/時)からの減衰を、64QAMモジュレーションで回避するのに十分な大きさがあります。[3]

チャンネル推定、CQI測定およびセルサーチ/取得のためのダウンリンクのリファレンス信号の構造を図2に示します。リファレンスシンボル(RS)は、すべてのサブフレームの一次OFDMシンボル(一次RS)および三次から最後のOFDMシンボル(二次RS)の中にあります。ここで、二次RSを使用せずにデコード可能なコントロールを持つことによってマイクロスリプが実現されます。FDDについては、二次RSを、少なくとも低から中までの速度で伝送しないことによって、オーバーヘッドを減らすことが可能になります。というのは、隣接したサブフレームを使用してチャンネル推定性能を改善することができるからです。このデュアルTDM(またはTDM)構造は、0.5msサブフレームで、分散構造と同様の性能を持ちます。そして、この複雑さの低いチャンネル推定(補間)の優位性は、MMSE-FIRやIFFTベースのチャンネルエスティメータのような他の高性能、低複雑性の技法と同様にサポートされています。直交性をRS信号に与えるため、FDMが同じセル内の複数マルチTXアンテナに使用され、他セルに対してはCDMが使用されます。

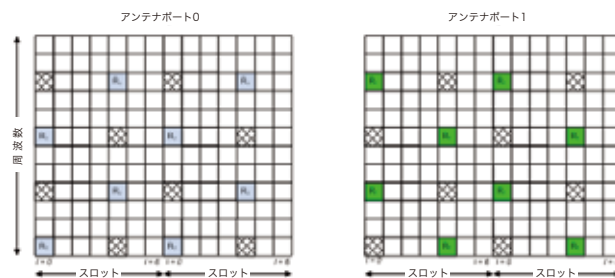


図2. ダウンリンクのリファレンス信号の構造：正規周期プレフィックス、2個の伝送アンテナ

#### B. SC-FDMAアップリンク伝送

アップリンク内では、Single-Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)が、E-UTRAの性能要件を効率的に満たすために使用されます。SC-FDMAには、OFDMと多くの類似点があります。その中で、アップリンクに関する主なものは、周波数領域の直交性がセル内のユーザー間で維持され、セル内干渉の量が管理されることです。SC-FDMAはまた、低電力増幅器チレーティング(キュービックメトリック / PAPR)の要求条件を持ち、これによって、バッテリー寿命を保つか、または範囲を拡張します。

ベースラインSC-FDMA信号は、図3に示すように、DFT-Spread OFDM (DFT-SOFDM) [2]です。OFDMとの唯一の違いは、MポイントFFT (DFT)を追加することで、それによりサブキャリアマッピングのシンボルで選択されたMサブキャリア上にMシンボルを「拡散」します。選択するサブキャリアもまた、隣接しているか、または低いPA電力減衰を維持するために均一に配置されていなければなりません。この信号は、最初のM-point FFTと大きなN-point IFFTが互いをキャンセルするため、単一キャリアとみなすことができ、その結果、時間領域での単一キャリア信号になります。レシーバーは簡単な周波数領域のイコライザーを使用することができます。

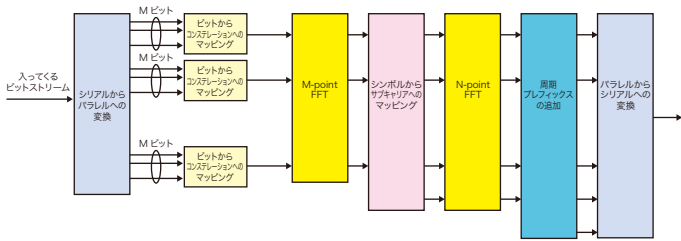


図3. DFT-SOFDMのブロック図

SC-FDMA技法としてのDFT-SOFDMの優位性として、IFFTが信号のパルスシェイピングを行うことで優れた周波数帯域占有性をもっており、フレームパラメータはOFDMダウンリンクと一致しています。OFDMのフレーム構造は、送信パワーの無いDCサブキャリアを有しており、これによりレシーバアーキテクチャの簡略化を可能にしています。つまり、空のサブキャリアを、DFT-SOFDMの低PAディレーティング特性に影響を与えることなく、DFT-SOFDMと共に使用することはできません。表2はまた、様々な周波数帯域割当てのためのアップリンクサブフレームパラメータを示します。

2つのタイプのリファレンス信号(RS)がアップリンク上でサポートされています。1つはアップリンクデータおよび/または制御信号の伝送に関連するデモジュレーションリファレンス信号、もう1つはチャンネル選択的スケジューリングが使用される場合のチャンネル品質決定に主として使用される、アップリンクデータ伝送に関係しないサウンディングリファレンス信号です。リファレンス信号の直交性は、サブキャリアの周波数領域上の多重化によって保証されます。RSシーケンスの長さは、リソースブロック中のサブキャリアの数と等しくなります。3個以上のリソースブロックのアロケーションサイズについては、デモジュレーションRSシーケンスは、ZC (Zadoff-Chu) シーケンスのトランケーションによって生成されます。さらに小さいサイズのアロケーションの場合は、コンピュータが生成したシーケンスが使用されます。

### C. フレーム構造

E-UTRAのフレーム構造を図4に示します。ここで、1つの10ms無線フレームは、10個の1msサブフレームで構成されます。FDDの場合、アップリンクとダウンリンクの伝送は、周波数領域で分離されます。TDDの場合、サブフレームは、ダウンリンクかアップリンクの伝送のどちらかに割当てられます。TDDの場合、サブフレーム0とサブフレーム5は、常にダウンリンク伝送に割り当てられることに注意してください。もう一つ別のフレーム構造がE-UTRAの中に定義されており、LCR-TDDとの互換性を実現します。しかし、図4に示すフレーム構造だけを、本ペーパーでは検討します。基本時間単位は、 $T_s = 1/(15000 \times 2048)$ 秒で計算されることに注意してください。

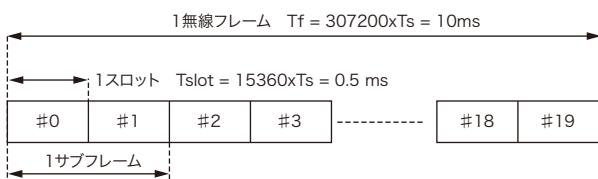


図4. E-UTRAのフレーム構造

各スロットで送信された信号は、サブキャリアと使用可能なOFDMシンボルのリソースグリッドになります。リソースグリッド内の各元素は、リソース元素と呼ばれ、各リソース元素は、1つの複合値モジュレーションシンボルに対応します。サブフレーム当たりのOFDMシンボルの数は、正規周期プレフィックスの場合は7、拡張周期プレフィックスの場合は6です。

ダウンリンクとアップリンクの両方で、基本スケジューリング単位は、リソースブロックと表示されます。リソースブロックは、時間領域では周期プレフィックスに応じて7個または6個の連続OFDMシンボル、周波数領域では12個の連続サブキャリア(180 kHz)として定義されます。

### D. 既存のRel-6 UMTS技法の拡張

いくつかの最先端パケット伝送技法が、現在のUMTSで標準化されています。つまり、短いフレーム時間での高速リンクアダプテーション(ハイブリッドARQによるアダプティブなモジュレーションとコーディング)です。表3に、既存のRel-6の技法と、E-UTRAへの可能な拡張について詳しく説明しています。

E-UTRAのダウンリンクとアップリンクで、周波数帯域(または選択的)スケジューリング(FDS)は、時間領域スケジューリング(TDS)に比べて大幅に(例えば、20~30% [4] [5])システム容量を拡大できます。E-UTRAでは、周波数選択スケジューリングと周波数ダイバーシティスケジューリングがどちらもサポートされます。周波数ダイバーシティスケジューリングは、高速、セルエッジ運用、低オーバーヘッドサービスおよび制御チャンネル用に使用することができます。

機能	Rel-6 HSxPA	LTE E-UTRA
TTIのサイズ	2 msec	1.0 msec
モジュレーション	DL: QPS, K16-QAM UL: QPSK, 2-QPSK	DL: QPSK, 16-QAM, 64-QAM UL: QPSK, 16-QAM
HARQ + Nチャンネルストップアンドウェイト	DL: N=6, UL: N=8 L: Async, UL: Sync IRはデフォルト	Synchronous UL / Asynchronous DL IR is default
コーディング	Conv & Turbo コード	低ベースレートの最先端コーディング
ファーストスケジューリング	TDS	TDSとFDS

表3. E-UTRAの物理レイヤー技法 (FDD)

### F. マルチアンテナサブシステム(MAS)とMIMO

E-UTRAのピーク時データ速度の要件を達成するためには、単一モバイルステーションに対する、複数データストリームの空間分割多重化がサポートされなければなりません。最低2個、最大4個までの伝送アンテナが考えられます(FDD)。シングルユーザー MIMOの他に、同一のリソース領域内部で、空間分割多重アクセス(SDMA)経由で、複数のデータストリームを複数ユーザーに伝送することによって、マルチユーザー MIMOがサポートされます。制御チャンネルの場合、サイクリック・シフト・ダイバーシティまたはスペースタイムブロックコードのようなオープンループ・送信ダイバーシティが対象となります。共有データチャンネルでクロズドループMIMO運用をサポートするためには、チャンネル情報またはプリコーディング情報のフィードバックが必要となります。

### G. 干渉軽減

周波数利用効率を最大化するために、周波数再使用ファクターを1にすることがダウンリンクとアップリンクの両方で提案されています。セクタ/セル間の干渉は、セルのエッジまたはカバレッジの悪い場所の端末に対して、特に厳しくなることがあります。アップリンク上の、低速電力制御が、干渉の調整・回避または平均化のように、干渉を軽減します。基地局のビームフォーミングアンテナソリューションもまた、アップリンクのセル間干渉軽減の手段と見ることができます。

## IV. 制御チャンネル

### A. ダウンリンク制御チャンネル

各ダウンリンクサブフレームの中で、ダウンリンク制御信号は、最初のn個のOFDMシンボル ( $n \leq 3$ ) 内に置かれます。OFDMシンボル内に制御信号と共有データの混在はありません。ダウンリンク制御信号は、このサブフレーム内で制御用に使用されるOFDMシンボルの数を示すフォーマットインジケータ、スケジューリング制御情報(ダウンリンク割当てとアップリンクスケジューリンググラント)およびアップリンクデータ伝送に関連するダウンリンクACK/NACKで構成されます。ダウンリンク制御信号がサブフレームにマッピングされる方法の例を図5に示します。

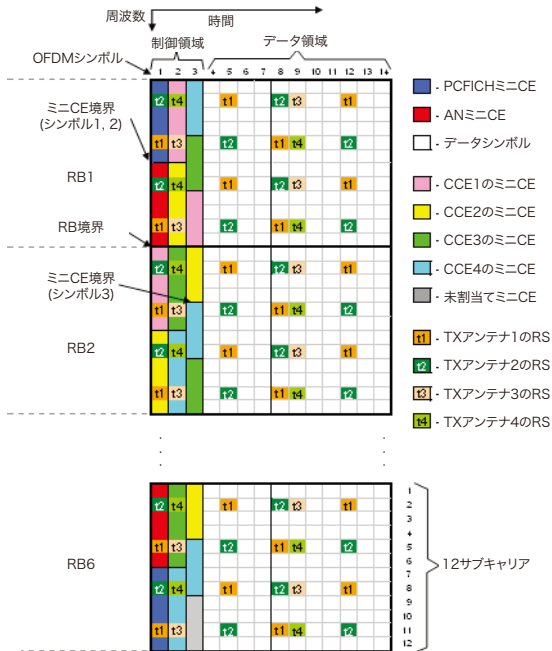


図5. ダウンリンク制御信号マッピングの例

スケジューリンググラント内の情報フィールドは、次のように明確な3つのカテゴリーに分類されます。リソースブロックや割当て持続時間のようなリソース表示に関する情報を含む制御フィールド、マルチアンテナ情報、モジュレーションスキーム、ペイロードサイズのようなトランスポートフォーマットに関する情報を含む制御フィールド、およびプロセス番号、冗長性バージョン、新データインジケータのようなH-ARQサポートに関する情報を含む制御フィールドがそれぞれです。DL/UL割当ての場合、ユーザーごとの制御チャンネルが、各サブフレーム内の複数制御チャンネルと共に使用されます。各制御チャンネルは、1つのMAC IDに、ダウンリンクまたはアップリンクのスケジューリング情報を送ります。このIDは、暗示的にCRCに暗号化されています。

制御チャンネルの性能をよくなるためには、様々なコーディングスキームが必要です。その結果、各スケジューリンググラントは、様々なコーディング速度を実現するために事前設定された方法で結合される固定サイズの制御チャンネルエレメント(CCE)に基づいて定義されます。QPSKモジュレーションだけを使って、定義に必要なコーディングフォーマットの数を少なくします。複数の制御チャンネルエレメントを結合してコーディングの実効速度を効率的に落とすことができるため、ユーザー制御チャンネル割当ては、報告されたチャンネル品質情報に基づいて行われます。そして、ユーザーは上位レイヤー信号によって設定される可能性のある複数の制御チャンネルの候補をモニターします。この「ブラインド・デコーディング」の試行回数を最少にするために、1、2、4、8個のCCEがアグリゲートされ、その結果、コード速度は、約2/3、1/3、1/6、1/12になります。

ダウンリンクの肯定応答は、アップリンクデータ伝送とともに送られる1ビットの制御情報です。肯定応答チャンネルに使用されるチャンネルは、半固定で設定され、グラントチャンネルとは無関係に定義されます。情報ビットは1つだけ送信されるため、肯定応答の間ではCDM多重化が提案されています。CDMは、異なるユーザーの肯定応答間の電力制御を可能にし、干渉の平均化を行います。しかし、直交性は、広帯域伝送の周波数選択チャンネルでは維持されません。その結果、ハイブリッドCDM/FDMスキーム(すなわち、異なる周波数領域での繰り返しを行う局所化されたCDM)が採用されました。

表4に、ダウンリンク制御信号で必要な品質目標を示します。

イベント	品質目標
DLスケジューリング情報の検知ミス	(1e-2)
ULスケジューリンググラントの検知ミス	(1e-2)
NACKからACKへのエラー	(1e-4)
ACKからNACKへのエラー	(1e-4)

表4. ダウンリンク制御信号の品質目標

### B. アップリンク制御チャンネル

E-UTRAでは、アップリンク制御信号には、ACK/NACK、CQI、スケジューリング要求インジケータ、およびMIMOコードワードフィードバックがあります。ユーザーがアップリンクデータと制御を同時に伝送する場合、制御信号は、DFTの前にデータで多重化され、アップリンク伝送内での単一キャリア特性を保持します。アップリンクデータ伝送がない場合、この制御信号は、図6に示すように、帯域のエッジに保持された周波数領域内で伝送されます。追加の制御領域が、必要に応じて定義されることがあることに注意してください。

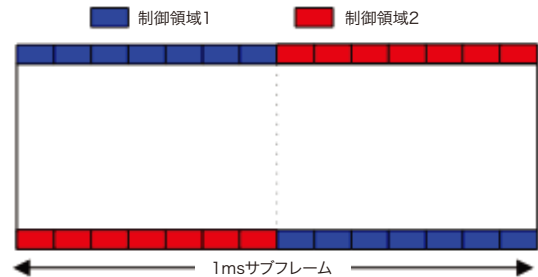


図6. アップリンクの制御領域

小さい占有帯域幅を持つ制御チャンネルをキャリア帯域エッジリソースブロックに割り当てることで、内部帯域リソースブロック上のデータリソース割当てで生じた帯域外輻射が減少し、アップリンク波形の単一キャリア性を保持しながら、周波数軸上に分散したチャンネル割当ての周波数ダイバーシティ・メリットが最大になります。このように制御リソースをキャリア帯域エッジへFDM割当てることによって、最大電力レベルを増大し、また割当て可能なアップリンクデータ速度を最大化します。連続サブキャリアを持つ制御領域をキャリア帯域の中心部に挿入され、制御領域のどちらの時間と周波数のリソースも異なるUEに割当てられるからです。

表5に、アップリンク制御信号の品質目標の要件を示します。

イベント	品質目標
ACKの検知ミス	(1e-2)
DTXからACKへのエラー	(1e-2)
NACKからACKへのエラー	(1e-4)
CQIブロックエラーレート	FFS (1e-2~1e-1)

表5. アップリンク制御信号の品質目標

アップリンク伝送の単一キャリアのプロパティを保持するために、L1/L2 制御信号は、データと制御を同一サブフレーム内で伝送する必要がある場合、DFTの前に、データと多重化されなければなりません。これは、図7で示すように実行されます。ここで、アップリンクデータが速度調整されて、制御信号用の帯域を提供します。この速度調整は、1ステージで実行され、サーキュラーバッファ RMが制御信号の多重を考慮します。ノードBは、アップリンク制御信号伝送を事前に知っているため、制御信号とデータの packets を簡単に多重化することができます。さらに、制御信号がない場合と同様のデータパケット性能を確保するため、データがバンクチャリングされる場合にパワーブーストされます。これは、アップリンクでの同期H-ARQではデータMCSを変更できないため、再送の場合には特に重要となります。適切なパワーブースティングファクタ(約0.5~1.5dB)は、バンクチャリングに起因するコーディング速度の短縮に基づいて計算されます。

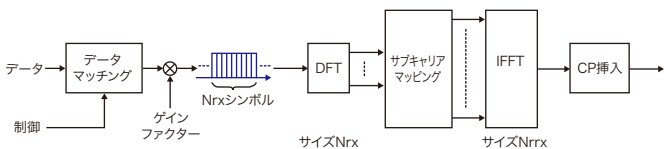


図7. データとの制御信号の多重化

各制御フィールドは個別にコーディングされ、別々にデータと多重化されます。これにより、制御フィールドの性能が個別に制御できるため、様々なコーディング速度を使用して伝送エネルギーの個別の調整を可能にします。制御信号用に使用されるコーディング速度がデータMCSにリンクされ、その関係は一つの表で表現されることに注意してください。

## V. シミュレーション結果

E-UTRAの性能要件を評価するためのリンクとシステムシミュレーションのパラメータが、[2]で定義されています。表6に、主なシステムシミュレーションパラメータをまとめています。

表6. システムシミュレーションパラメータ

パラメータ	仮定	
セルラーレイアウト	六角グリッド、19セルサイト、サイト当たり3セクタ	
サイト間距離(ISD)	500m、1732m	
距離に依存しないパスの損失	$L=l + 37.6 \log_{10}(.R)$ 、 Rの単位はkm $l=128.1 \sim 2\text{GHz}$	
対数正規のシャドウイング	UMTS 30.03、B 1.41.4と同様	
シャドウイング標準の偏差	8 dB	
シャドウイングの相関距離	50 m	
シャドウイング 相関	セル間	0.5
	セクタ間	1.0
ペネトレーション損失	10、20 dB	
キャリア周波数	2.0 GHz	
チャンネルモデル	Typical Urban(TU)	
所定のUE速度	3および30 km/時	
合計BS TX電力	43 dBm	
UE電力クラス	24 dBm	
セル間干渉モデル	UL：明示的モデリング (すべてのセルをUEが占有)	
UEとセル間の最小距離	35m以上	

表7に、フルバッファのトラフィックのシステムシミュレーションの参考例をまとめています。紹介している結果は、5MHz帯域幅がRel-6 UMTSに使用され、10MHz帯域幅がE-UTRAに使用されるので、結果はビット/秒/Hzに正規化されています。

表7. システムシミュレーション例

シミュレーション	ISD	PLoss	速度	トラフィック タイプ
ケース	(m)	(dB)	(km/h)	使用量
1	500	20	3	フルバッファ
2	500	10	30	フルバッファ
3	1732	20	3	フルバッファ

## A. ダウンリンクの性能

E-UTRAのダウンリンク性能は、高速ダウンリンクパケットアクセス(HSDPA)と比較して評価されます。ダウンリンクの結果において、現実的チャンネル推定、現実的CQIフィードバック、セクタ当たり10モバイルの周波数選択スケジューリングが仮定されています。MIMOの場合、明示的な周波数/空間マルチセル干渉がモデル化されています。制御チャンネルもまた明示的にモデル化(n=3)されています。リソースブロックは、OFDMシンボル7個に、12個のサブキャリア(180 kHz)です。表8と表9に、SIMOのHSDPA上のE-UTRAからのゲインを示します。E-UTRAの周波数利用効率と平均ユーザースループットにおけるHSDPAタイプレシーバーに対する性能ゲインは約2.1倍で、5パーセントタイルのユーザースループットの場合は約1.7倍です。

表8. セクタスループット:周波数帯効率(SIMO)

シミュレーション ケース	HSDPA (bps/Hz)	E-UTRA			
		1x2 IRC (RR使用)	ゲイン	1x2 IRC (PF使用)	ゲイン
1	0.658	1.31	2.0 x	1.38	2.1 x
3	0.683	1.12	1.6 x	1.32	1.9 x

表9. 5パーセントタイルのセルエッジユーザースループット(SIMO)

シミュレーション ケース	HSDPA (bps/Hz)	E-UTRA			
		1x2 IRC (RR使用)	ゲイン	1x2 IRC (PF使用)	ゲイン
1	0.024	0.052	2.1 x	0.042	1.7 x
3	0.023	0.030	1.3 x	0.035	1.5 x

表10と表11に、MIMOの場合のHSDPA上のE-UTRAからのゲインを示します。周波数利用効率と平均ユーザースループットに対する性能目標との3~4倍のギャップは、MIMO技法を使用して対処することができます。

表10. セクタスループット:周波数帯効率(MIMO)

シミュレーション ケース	HSDPA (bps/Hz)	E-UTRA			
		2x2	ゲイン	4x2	ゲイン
1	0.658	1.81	2.7 x	2.09	3.2 x
3	0.683	1.70	2.5 x	1.96	2.9 x

表11. 5パーセントタイルのセルエッジユーザースループット(MIMO)

シミュレーション ケース	HSDPA (bps/Hz)	E-UTRA			
		2x2	ゲイン	4x2	ゲイン
1	0.024	0.045	1.9 x	0.045	1.9 x
3	0.023	0.036	1.6 x	0.036	1.6 x

## B. アップリンクの性能

E-UTRAのアップリンク性能は、高速アップリンクパケットアクセス(HSUPA)と比較して評価されます。アップリンクの結果において、現実的チャンネルの推定が仮定され、明示的にモデル化されます。局所化されたFDMが使用され、アップリンクサウンディングは仮定されていません。従って、長期的平均チャンネル品質および受信干渉レベルだけが基地局で認識されます。リソースブロックは周波数領域で多重化されますが、周波数選択的スケジューリングは、シミュレーションでは使用されません。[7]で紹介されている静的干渉調整手法だけが使用されます。

表12. アップリンクの比較(SIMO)

シミュレーション ケース	HSUPA		E-UTRA			
	セクタ (bps/Hz)	5パーセント タイル (bps/Hz)	セクタ		5パーセントタイル	
			bps/Hz	ゲイン	bps/Hz	ゲイン
1	0.312	0.0087	0.624	2.0 x	0.0276	3.2 x
2	0.307	0.0087	0.655	2.1 x	0.0285	3.3 x
3	0.261	0.0008	0.634	2.4 x	0.0021	2.6 x

表12に、SIMOのHSUPA上のE-UTRAからのゲインを示します。この表では、5パーセントタイルと平均ユーザースループット、およびベースライン技術を使用し、チャンネル品質を意識したスケジューリングの使用なしでのHSUPA上の周波数帯域効率の場合にE-UTRA性能が2~3倍向上したことを示しています。表13には、1x4 SDMAでの性能向上を示します。この場合、HSUPAに比べて、3倍以上のセクタスループット、5倍以上のエッジユーザースループットが実現されます。

表13. アップリンク比較(1x4 SDMA)

シミュレーション ケース	HSUPA		E-UTRA			
	セクタ (bps/Hz)	5パーセント タイル (bps/Hz)	セクタ		5パーセントタイル	
			bps/Hz	ゲイン	bps/Hz	ゲイン
1	0.312	0.0087	0.996	3.2 x	0.0460	5.3 x
2	0.307	0.0087	1.027	3.3 x	0.0480	5.5 x
3	0.261	0.0008	0.888	3.4 x	0.0047	5.9 x

## C. VoIPの性能

VoIPの性能は、2ステートのマルコフモデルを使用して、フルレートのAMR (12.2 kbps)、50% VAFに対して評価されます。ダウンリンクの場合、2つの異なる制御チャネルオーバーヘッドシナリオに対する結果が示されています。そのシナリオは、n=2のシナリオを各DLサブフレーム内の2つのシンボルがL1/L2制御信号用に予約されると仮定するものと、n=3シナリオを3つのシンボルが予約されると仮定するものです。NB 送信アンテナの数を2個よりも増やすことによって、またMU-MIMOを使用することによっても、容量の増加が期待されることに注意してください。

表14. ダウンリンクVoIP容量

展開シナリオ	DL VoIP容量 (n=2)	DL VoIP容量 (n=3)
ケース1	320	285
ケース3	260	220

アップリンクでは、2つのVoIPスケジューリングアプローチ、グループスケジューリング(GRP)と半固定スケジューリング(SMP)が検討されました。VoIP容量の結果を表15に示します。予想されたように、これらのシナリオに対するLTE VoIPの性能は、アップリンクに限定されます。容量の増加は、4個のNB 受信アンテナを使用した場合、またMU-MIMOを採用した場合にも期待されることに注意してください。

表15. アップリンクVoIP容量

展開シナリオ	UL VoIP容量 (GRP, 10%ブロッキング)	UL VoIP容量 (GRP, 20%ブロッキング)	UL VoIP容量 (SMP, 10%ブロッキング) UL VoIP
ケース1	223	-	181
ケース3	111	174	-

## VI. 結論

本ペーパーでは、LTE E-UTRAエアインターフェースの概要を、システムパフォーマンス結果と共に説明しました。LTE E-UTRAシステムでは受信ダイバーシティの使用により、HSDPAやHSUPAの3~4倍の性能向上を実現できます。HSUPAに対するLTE E-UTRAアップリンクの性能向上は、MIMO、干渉抑制、あるいはより大きなTTIを使用せずに実現されました。これは、カバレッジが制約された状況では、主として直行性のある狭周波数帯伝送を使用することによるものです。ダウンリンクでは、周波数利用効率と平均ユーザースループット3~4倍という目標性能は、MIMO技法を使用することによって実現できます。

モトローラは、OFDM技術(wi4 WiMAX)、高速バックホールソリューション(Orthogon)、IMSエコシステム、破綻したIPアーキテクチャ、標準の開発と実装、業界最先端のLTEソリューションを提供する総合的サービスなど、モバイルブロードバンドのイノベーションに関する幅広い専門知識を活用しています。

LTEに関するさらに詳細な情報については、モトローラの担当者にご連絡ください。

## 参考文献

- [1] 3GPP 25.913, Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN), v.7.3.0, March 2006.
- [2] 3GPP TR 25.814, Physical Layer Aspects for Evolved UTRA, v.2.0.0, June 2006.
- [3] R1-050583, "E-UTRA DL Numerology and Design," Motorola, RAN1 LTE Adhoc, Sophia-Antipolis, June 2005.
- [4] B. Classon et al., "Multi-dimensional adaptation and multi-user scheduling techniques for wireless OFDM systems," IEEE International Conference on Communications, 2003, 11-15 May 2003, pp. 2251 - 2255.
- [5] Y. Sun et al., "Multi-user Scheduling for OFDM Downlink with Limited Feedback for Evolved UTRA," IEEE VTC, Fall 2006.
- [6] R1-061163, "Downlink Control Channel Coding," Motorola, RAN1#45, Shanghai, May 2006.
- [7] R1-060401, "Interference Mitigation via Power Control and FDM Resource Allocation and UE Alignment for E-UTRA and TP," Motorola, RAN1#44, Denver, February 2006.

(注)3GPPのドキュメントは、<ftp://ftp.3gpp.org> からダウンロードすることができます。



**MOTOROLA**

モトローラ株式会社

<http://www.motorola.com/jp>

本書に記載した情報はその正確さに万全を期しておりますが、明示・暗示を問わず、製品の機能、性能、適合性に関する保障をするものではありません。

モトローラ、MOTOROLA、モトローラのロゴマークおよび®表示が付された商標は、米国およびその他の国におけるMotorola, Inc.の登録商標です。文中に記載されている他社の製品名やサービス名等は、各社の商標または登録商標です。  
©Motorola, Inc. 2008. All rights reserved.