

製品名 : FSQ, FSQ-K100, FSQ-K101, SMU200A, SMU-K55, SMU-K255, SMATE200A, SMATE-K55, SMATE-K255, SMJ100A, SMJ-K55, SMJ-K255, WinIQSIM2, AFQ100A, AFQ-K255, AMU200A, AMU-K55, AMU-K255

## UMTS Long Term Evolution(LTE) の技術紹介

### Application Note 1MA111

UMTSはHSDPA(3GPP Release-5)、HSUPA(3GPP Release-6)そして、HSPA(3GPP Release-7)と進化していきます。更に、その後も10年以降も絶えることなく進化を続けていきます。UMTSの競争力をより確実なものにするために、UMTS Long Term Evolution (LTE)が 3GPP Release-8で規定化されています。LTE(別称 Evolved UTRA/Evolved UTRAN)は新しいOFDM物理層とプロトコル構造によって、UMTSを更に進化させます。このアプリケーション・ノートでは、LTEの技術とテストに関して御紹介します。



## 目次

1	はじめに .....	3
2	UMTS Long Term Evolutionの要求諸元.....	4
3	LTEダウンリンク .....	6
	OFDMA .....	6
	OFDMAパラメータ .....	8
	ダウンリンクデータ伝送 .....	10
	ダウンリンクリファレンス信号構成とセルサーチ.....	10
	ダウンリンク物理層機能.....	12
4	LTEアップリンク .....	13
	SC-FDMA .....	13
	SC-FDMAパラメータ .....	14
	アップリンクデータ伝送.....	15
	アップリンクリファレンス信号構成 .....	15
	アップリンク物理層機能.....	16
5	LTEにおけるMIMOの概要 .....	18
	ダウンリンクMIMO .....	18
	アップリンクMIMO .....	21
6	LTEプロトコルアーキテクチャ .....	21
	システムアーキテクチャエボリューション .....	21
	E-UTRAN .....	22
	レイヤ2構造 .....	24
	トランスポートチャネル.....	25
	論理チャネル .....	26
7	LTE におけるMBMSのコンセプト.....	27
8	LTEに関するテスト項目 .....	27
	LTEのRFテスト .....	27
	LTEレイヤ1およびプロトコルに関するテスト .....	32
9	略語説明 .....	33
10	補足説明 .....	35
11	参考文献 .....	35
12	オーダリング・インフォメーション .....	36

このアプリケーションノートでは、R&S社の測定機器名を以下のように略しております。

ベクトルシグナルジェネレータ	R&S SMU200A	: SMU200A
ベクトルシグナルジェネレータ	R&S SMATE200A	: SMATE200A
ベクトルシグナルジェネレータ	R&S SMJ100A	: SMU100A
IQ変調信号発生器	R&S AFQ100A	: AFQ100A
ベースバンドシグナルジェネレータ	R&S AMU200A	: AMU200A
シグナルアナラザ	R&S FSQ	: FSQ

SMxと略している場合には、SMA200A,SMATE200A及びSMJ100Aを意味しております。

## 1 はじめに

世界中のUMTSネットワークは、ダウンリンクのデータレート(スループット)を飛躍的に向上させるためにHSDPA(High Speed DownLink Packet Access)にアップグレードされようとしています。更に次のステップでは、HSUPA(High Speed Uplink Packet Access)にアップグレードされ、上り下り共にUMTSネットワークのデータレート(スループット)が大幅に増強されます。

HSDPA/HSUPAは3GPP Release-5/6の重要な機能であり、運用事業者がHSDPA/HSUPAを併用する場合には、HSPAと略されることもあります。更に、HSPAは、HSPA+(3GPP Release-7)へと進化します。HSPAベースの無線ネットワークの拡張性能目標は、周波数利用効率の向上、ピークデータレートの向上、伝送遅延の低下により、WCDMAベースシステムの5MHz帯域幅を持つポテンシャルをフルに引き出すことにあります。HSPA+の重要な機能はダウンリンクのMIMO(Multiple Input Multiple Output)化、およびアップリンクの一次拡散変調に16/64QAMを用いたHigher Order Modulation(HOM と略する場合があります)の適用、レイヤ2の改良、ビデオストリーミングなどを考慮した低遅延バイオレーションでの連続パケット接続性の向上などにあります。

UMTSの今後10年以降の優位性を確保するために、UMTS Long Term Evolution(LTE)もまた検討されていますが、その目的は、更に高速なデータレート、低遅延かつIpに最適化された無線パケット伝送ネットワークを構築することにあります。このためE-UTRAN(Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network)として新しくスタディアアイテムが発足したLTE/EUTRAは3GPP release 8のコア規格となっています。

本アプリケーションノートでは、LTE/E-UTRAに注目します。

以降、LTEとE-UTRAと記述が変わる場合がありますが、同意の3GPP release 8システムを意味しております。

3GPPではまず最初に、LTEスタディアアイテムにおいて、LTEの仕様諸元を定義することからはじめました。データレート、システム容量、周波数利用効率、伝送遅延などの目標を先に明確化し、併せてインストールやネットワークオペレーションに要するコストまで考慮しています。これらの仕様諸元をベースにして、これを満足するように技術条件やエアインタフェース伝送構成、プロトコルなどを議論しています。

特にLTEは、これまでのWCDMAベースとは異なる新しいOFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)をダウンリンクに、SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access)をアップリンクに多重方式として使用し、加えてMIMOアンテナもシステムの基本構成として導入しますので、インストールに要するコスト議論は、技術的議論以上に非常に重要なアイテムです。より単純なプロトコル構造を適用するため、LTEは、既存の複雑なUMTSプロトコルを大幅に変更しなければなりません。この辺のSA(System Architecture)に関する議論に関して

も、3GPP System Architecture Evolution (SAE)において、平行して議論が進行しています。

本アプリケーションノートでは、続いて LTEに関して以下のような技術領域を御紹介致します。

第2章	LTE要求諸元の概要
第3章	LTEダウンリンク伝送
第4章	LTEアップリンク伝送
第5章	LTEにおけるMIMOのコンセプト
第6章	LTEプロトコルアーキテクチャ
第7章	LTEにおけるMBMSについて
第8章	LTEに関するテスト項目

9～11章では、付録と略語録、12章では、関連するR&S社の測定器群のオーダリング・インフォメーションに関して御紹介致します。

## 2 UMTS Long Term Evolutionの要求諸元

LTEは、これまでのUMTSネットワークが ATM回線交換型のネットワークに最適化されていたのとは異なり、PS(パケットスイッチ:パケット交換型)サービスをサポートするように最適化されています。主な LTEシステムの要求諸元は、3GPP TR 25.913[1]に記述されていますが、簡単にまとめると以下のような仕様となります。

### データレート:

20MHz帯域幅(占有帯域)において、基地局2アンテナ、移動端末1アンテナの条件下で 100 Mbps (ダウンリンク)と 50 Mbps(アップリンク) のピークデータレートを達成することを目標とする。

### スループット(ユーザースループット):

ダウンリンクの平均ユーザースループットは、Release-6比で1MHzあたり3-4倍とする。同じく、アップリンクの平均ユーザースループットはRelease-6比で1MHzあたり2-3倍とする。

### 周波数利用効率:

ダウンリンクは、Release-6比で3-4倍とする。同じくアップリンクは、Release-6比で2-3倍とする。

### 伝送遅延:

ダウン/アップリンクの片方向の、UE-RAN(Radio Access Network) IP層間の伝送遅延を5ms未満とする。C-plane(Control plane)は、100ms未満の時間で待機状態からActive 状態に遷移しなくてはならない。

**帯域幅:**

5,10,15,20MHzのスケラビリティをサポートし、5MHz以下(1.25/2.5MHz)の帯域幅もサポートしなくてはならない。

**相互接続性:**

既存のUTRAN/GERANシステムおよび、非3GPPシステムとの接続性を確立しなければならない。マルチモード端末は、GERAN/UTRAN間と同様なInter-RATハンドオーバをサポートすべきであり、ハンドオーバに要する時間は、リアルタイムサービスの場合 300ms未満、非リアルムサービスの場合500ms未満でなければならない。

**MBMS(Multimedia Broadcast Multicast Service):**

MBMSへの拡張は必須であり、E-MBMSとして実装しなくてはならない。

**コスト:**

CAPEXとバックホール運用コストを含むOPEXの削減を達成しなくてはならない。3GPP release-6の無線インタフェース/アーキテクチャから最小コストでマイグレーション可能でなければならない。コストと電力消費量から見たリーズナブルなシステムと端末を達成しなければならない。全てのインタフェース規定はマルチベンダー装置の相互接続性を考慮して、オープン仕様でなければならない。

**移動性:**

システムは0~15km/h程度の低速移動に最適化されるべきであるが、特別ケースとして高速列車環境(TGVや新幹線などの300km/h以上の環境)もサポートすべきである。

**スペクトル配置:**

ペアバンドスペクトラム配置(FDD)と非ペアバンドスペクトラム配置(TDD)が可能であること。

**Co-existence(システム共存):**

同一のジオメトリ環境(セル内)で、UTRAN/GERANシステムと共存しなければならない。また、隣接するバンドを使用する異なるオペレータ間の共存も必須である。

**Qos(Quality of Service):**

End-to-EndのQosをサポートしなければならない。VoIPは少なくとも、UMTS回線交換ネットワークを使用した音声伝送並の良好な無線品質とバックホールの回線交換を実現しなくてはならない。

**ネットワーク同期:**

異なるネットワークおよび局間の時間同期は必須ではない。これらは、非常に設計方針的な記述内容ですが、2章以降で説明する物理層仕様などは、この仕様に基づいて様々なパラメータなどが決定されています。

### 3 LTEダウンリンク

#### OFDMA

E-UTRA FDD とTDDモードのダウンリンク伝送では、一般的なOFDMを使用しています。OFDMシステムでは、スペクトラムを複数のキャリア(サブキャリア)に分けて使用します。これらサブキャリアは互いに直交関係にあり、理論的に相互干渉による隣接キャリア妨害は生じません。またサブキャリアはそれぞれ個々に低いデータレートで変調されていますので、もし復調誤りが生じた場合などもスループットやデータレートの低下を招くことを最小に留めることができますのが特徴です。これはマルチパスフェージングに対する強い耐性があることを意味します。このため、OFDMはWLAN、WiMAXやDVBなどの放送技術などでも用いられていますが、上記のようなOFDM自体が持っているマルチパスフェージングに対する耐性をパラメータを調整しながら最適に利用しています。

図1は、OFDM信号スペクトラムを周波数-時間の2次元で表しています[2]。この図では、信号は5MHz帯域幅で図化されていますが、その帯域内に個々にQPSK、16QAM、64QAMなどで変調された数百本のサブキャリアが局在しています。EUTRA-TDD/FDDでパラメータに違いがありますが、基本的にはこの図のような信号スペクトラムとなります。

時間領域では、OFDMシンボル(数百本のサブキャリアのひとかたまり)間の干渉を回避するために、ガードインターバルが設置されます。EUTRAでは、このガードインターバルのことを Cyclic prefixと呼び、それぞれのOFDMシンボル間に挿入されています。

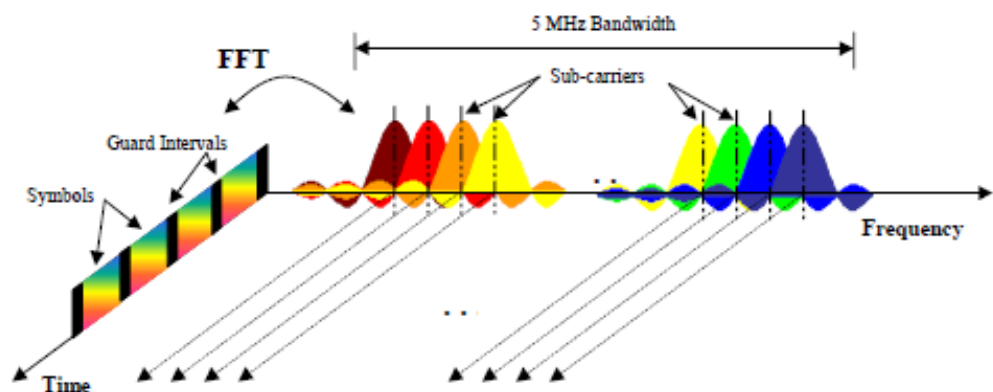


図1 OFDM信号スペクトラムの時間一周波数領域での表現

OFDM信号は、IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)を使用して生成されます。IFFTは、N個の複素データシンボルを周波数 bin (IFFTの周波数入力ポート) から入力し、周波数領域から時間領域に一括変換しますので、NポイントIFFTを使用する場合には 図2のようにNポイントの時間領域データが得られます。ここで、 $a(mN+n)$ のインデックスは、 $mTu \sim (m+1)Tu$ 間にある任意の  $t$ でのOFDMシンボル内のサブキャリア番号を意味しています。

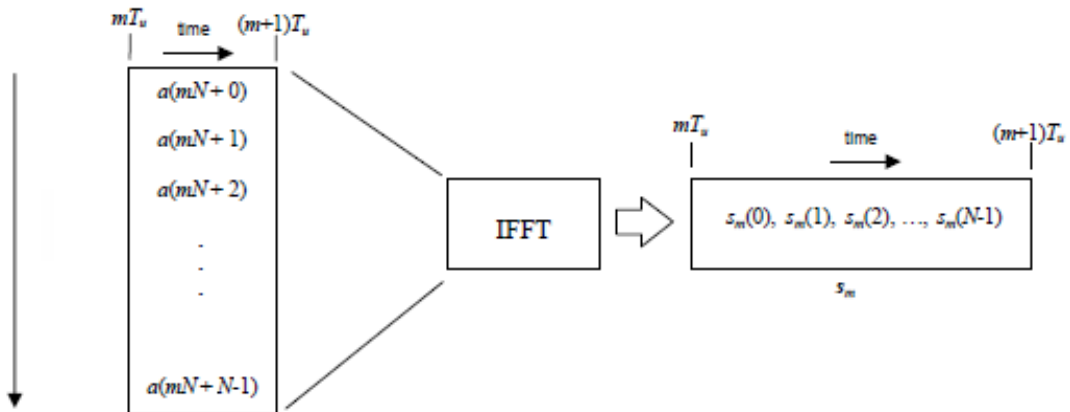


図2 IFFTを用いたOFDM有効シンボルの生成

図2において、IFFT出力となるベクトル  $sm$  はOFDM有効シンボルと呼ばれ、 $N$ 個の狭帯域なサブキャリアを時間領域で総和したものになります。このため、 $N$ 個の平行データストリームがそれぞれ独立して変調(QPSK,16QAM,64QAM)されたあと合成され、1つの波形として出力されます。それぞれ $N$ 個のサブキャリアは相互に直交関係にありますので、周波数領域では図.1のようにsinc関数スペクトラムとなるのが特徴です。それぞれのサブキャリアのノッチゼロ点がその他のサブキャリアのスペクトラムピークと必ず重なるため、相互の信号干渉を防ぐことができます。

図3は、OFDM有効シンボル生成のシグナルチェーンを表しています。シリアルデータストリームが、QAM変調されたあと、 $N$ 個の並列な周波数binに入力されIFFTされたあと、 $N$ サンプルの時間領域ベクトル  $sm$  が並一直列変換されて出力されます。図3は Cyclic prefixの挿入に関しては割愛しています。

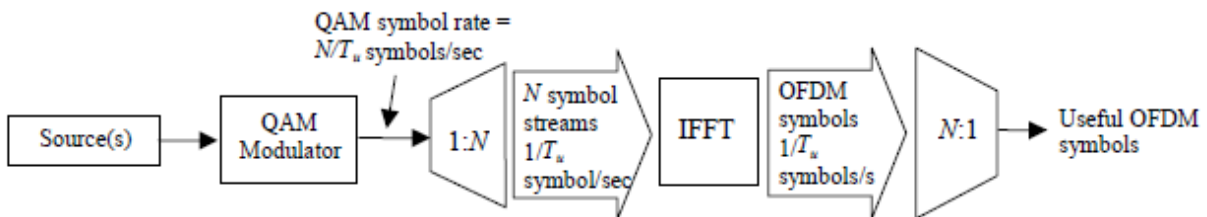


図3 OFDM有効シンボル生成のシグナルチェーン

ここまでは、OFDMの基礎に関して説明しましたが、OFDMAでは複数のユーザーがいくつかのサブキャリアの集合(周波数-時間のマスで構成されたリソース)を使用して、個別にアクセスします。E-UTRAでは、このリソース(データチャネル)のことを物理チャネルの一つである Shared Channelとして定義しています。この Shared Channelは、どのユーザーがどのリソースを使用するかを基地局側で 1msごとにスケジューリングして使用することになります。

## OFDMパラメータ

E-UTRA FDD/TDDの基本的なフレーム構造は1つですが、3GPP Release-8ではTDD専用のフレーム構造をAlternative frame structureとして定義しており、TDDでは2種のフレーム構造があります。

[3]で定義されている E-UTRAフレーム構造は、図4のように、10msの無線フレームを20個の均等に分割された 0.5msスロットの集合体として定義しています。また、連続した2個の 0.5msのスロットのことをサブフレームと呼び、1フレーム内に 10個のサブフレームが集積されることとなります。Tsはシステムサンプルレートを意味しており、どの帯域幅(1.25/2.5/5/10/15/20MHz)を選択した場合でも30.72MHzで固定となります。

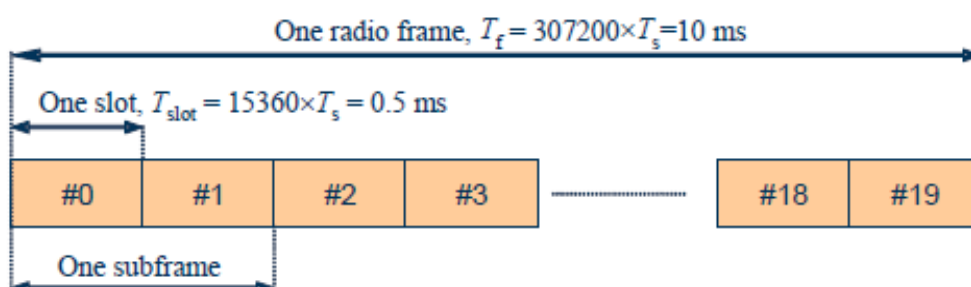


図4 E-UTRAダウンリンクのフレーム構造

図5は、ダウンリンクリソースの周波数対時間のリソースグリッド(マス)を表しています。1グリッドが1スロットに相当しています。ダウンリンク帯域幅は、 $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ の間隔のサブキャリアが $N_{\text{BW}}^{\text{DL}}$ 個集合したものに相当します。マルチセルMBSMS(第7章参照)アプリケーションでは、 $\Delta f = 7.5 \text{ kHz}$ のサブキャリア間隔が使用される場合もあります。 $N_{\text{BW}}^{\text{DL}}$ は最大20MHzの帯域幅までスケール可能です。当初レイヤ1に規定されていたLTEの $N_{\text{BW}}^{\text{DL}}$ は、3GPP RAN4において帯域外エミッションやエミッション規定などを満足するように議論された結果、当初とは異なる値に定義されました。



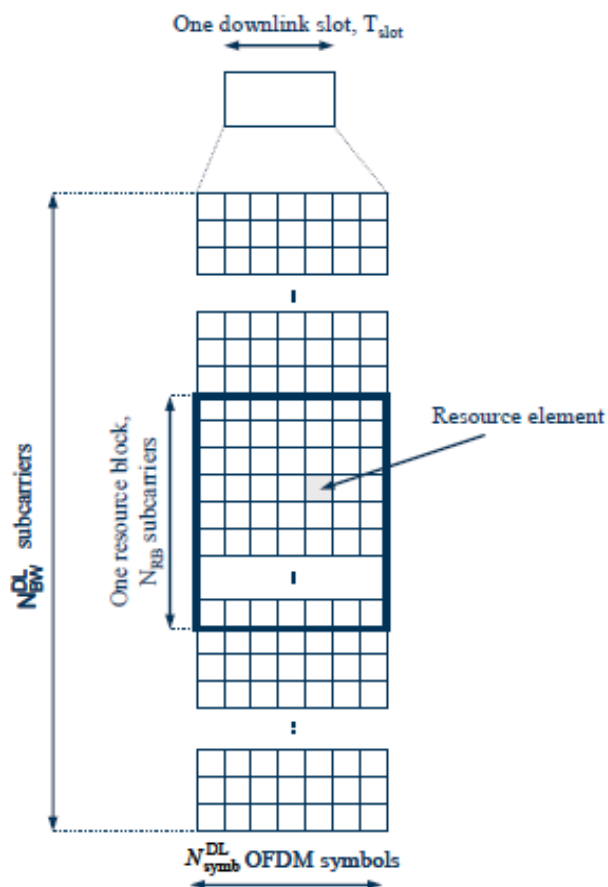


図5 ダウンリンクのリソースグリッド(周波数対時間)

1つのダウンリンクスロットは、 $N_{SYMB}^{DL}$ に相当します。それぞれのシンボルにはガードインターバルと同じように機能するCyclic Prefix(CP, 図1参照)相当がそれぞれ1つ適用されます。Nはyclic Prefixの長さを意味します。

このフレーム構成は、 $N_{SYMB}^{DL}=7$ のシンボル長で、最初のシンボルに  $T_{cp} \doteq 5.2\mu s$ 、後続の6シンボルに  $T_{cp} \doteq 5.7\mu s$ のcyclic prefixが付与されたNormal cyclic prefix長のもを表していますが、これに加えて大きなセルエリアでのMBMSアプリケーションでは大きな遅延スプレッドが発生するため、より長い  $T_{cp}$ を用いるExtended cyclic prefixフレームも定義されています。このExtended cyclic prefixフレームを使用した場合、 $T_{cp} \doteq 16.7\mu s$ のより長いCyclic Prefixが使用できることで、マルチパスフェージングへの耐性が高まりますが同時に  $N_{SYMB}^{DL}=6$  ( $\Delta f=15kHz$ )のシンボル長になってしまい結果的にデータレートが下がってしまいます。

更に  $\Delta f=7.5kHz$ のサブキャリア間隔の場合には、800MHz帯などで2GHz帯よりも遅延スプレッドが大きくなる場合を含めて殆どのケースの遅延スプレッドを吸収できる  $T_{cp-E} \doteq 33.3\mu s$ が使用でき、 $N_{SYMB}^{DL}=3$  ( $\Delta f=7.5kHz$ )のシンボル長となります。

表1にフレーム構成毎の異なるパラメータをまとめています。

Configuration	Number of symbols $N_{\text{ymb}}^{\text{DL}}$	Cyclic Prefix length in samples	Cyclic Prefix length in $\mu\text{s}$
Normal cyclic prefix $\Delta f=15\text{ kHz}$	7	160 for first symbol 144 for other symbols	5.2 $\mu\text{s}$ for first symbol 4.7 $\mu\text{s}$ for other symbols
Extended cyclic prefix $\Delta f=15\text{ kHz}$	6	512	16.7 $\mu\text{s}$
Extended cyclic prefix $\Delta f=7.5\text{ kHz}$	3	1024	33.3 $\mu\text{s}$

表1 ダウンリンクフレーム生成パラメータ

## ダウンリンクデータ伝送

UEへのダウンリンクデータ伝送に使用する基本単位を リソースブロック(RB)と呼びます。このリソースブロックは、周波数領域で12( $N_f=15\text{kHz}$ 時)もしくは24( $N_f=7.5\text{kHz}$ )個のサブキャリア集合で構成されます。時間領域では、連続する2つのOFDMシンボル(サブフレーム)が基本単位となりリソースブロック(RB)を図.5のように構成します。リソースブロック(RB)のサイズは、システム帯域幅によらず一定であり、使用できる物理リソースブロックの数は、システム帯域幅に依存しています。

各UE毎に異なる要求データ伝送レートにしたがって、LTE基地局(以降eNodeB)は、それぞれの UE毎に使用するリソースブロック数を1ms毎にスケジューリングして使用します。任意のユーザーデータはダウンリンク Physical Shared Channel(PDSCH)で伝送されます。ダウンリンクのシグナリング制御は、ダウンリンク Physical Control Channel(PDCCH)で個々のUE毎にスケジューリング決定情報を伝達するなどの用途で使用されます。PDCCHは、スロットの最初のOFDMシンボルに配置されます。

## ダウンリンクリファレンス信号構成とセルサーチ

ダウンリンクのリファレンス信号構成は、UEがセルサーチを行う場合、チャンネル推定、周辺セルのモニタリングなどにおいて、非常に重要な要素となります。図6は、シングルアンテナ、もしくは2/4のマルチ送信アンテナを使用する場合のダウンリンクリファレンス信号構成を示しています。あらかじめ周波数-時間領域で挿入位置が決定されているリソースエレメント(サブキャリア)でアンテナ毎に異なるリファレンス信号データを伝送します。それぞれ4アンテナ用に色の異なるリソースエレメントが表示されていますが、リファレンス信号データの配置ポイントと種類が異なることを意味しています。リファレンス信号シーケンスはセル識別データを伝送しており、 $r^{\text{OS}}$  (システムに3つ存在する)直交系列シンボルと $r^{\text{PRS}}$  (システムに170存在する)擬似雑音系列シンボルの論理積を使用し、510種類の異なるセル識別系列を構成します。LTEの特徴的機能の一つである周波数ホッピングは、ダウンリンクリファレンス信号にも適用され、そのホッピングパターンは1フレーム(10ms)周期となっています。

このため、何らセルサーチの簡易化を規格化しないままでは、ハンドセット(UE)ではセルサーチ区間、シンボル、無線フレームタイミング、周波数、セル認証系列、システム帯域幅、アンテナ構成、Cyclic Prefixの全ての違いを考慮してリファレンス信号系列の組み合わせで待ち受け受信する必要があります。また、リファレンス信号とは別に、セルサーチ間、同期信号の補足も必要になります。この現実的に不可能なセルサーチを簡易化するために E-UTRAでは、WCDMAと同じように同期検出とセルグループ認証を用い、SCH信号から得られる階層セルサーチ構造を採用しています。このため、WCDMAと同じように、Primary Synchronization Channel(P-SCH)とSecondary Synchronization Channel(S-SCH) がダウンリンクフレーム上に実装されます。これは帯域中心(ベースバンドの DC サブキャリア)周辺の 72サブキャリアを使用して、図7に示すように 1フレーム(10ms)毎に、2回あらかじめ規定された別スロットにマッピングされます。

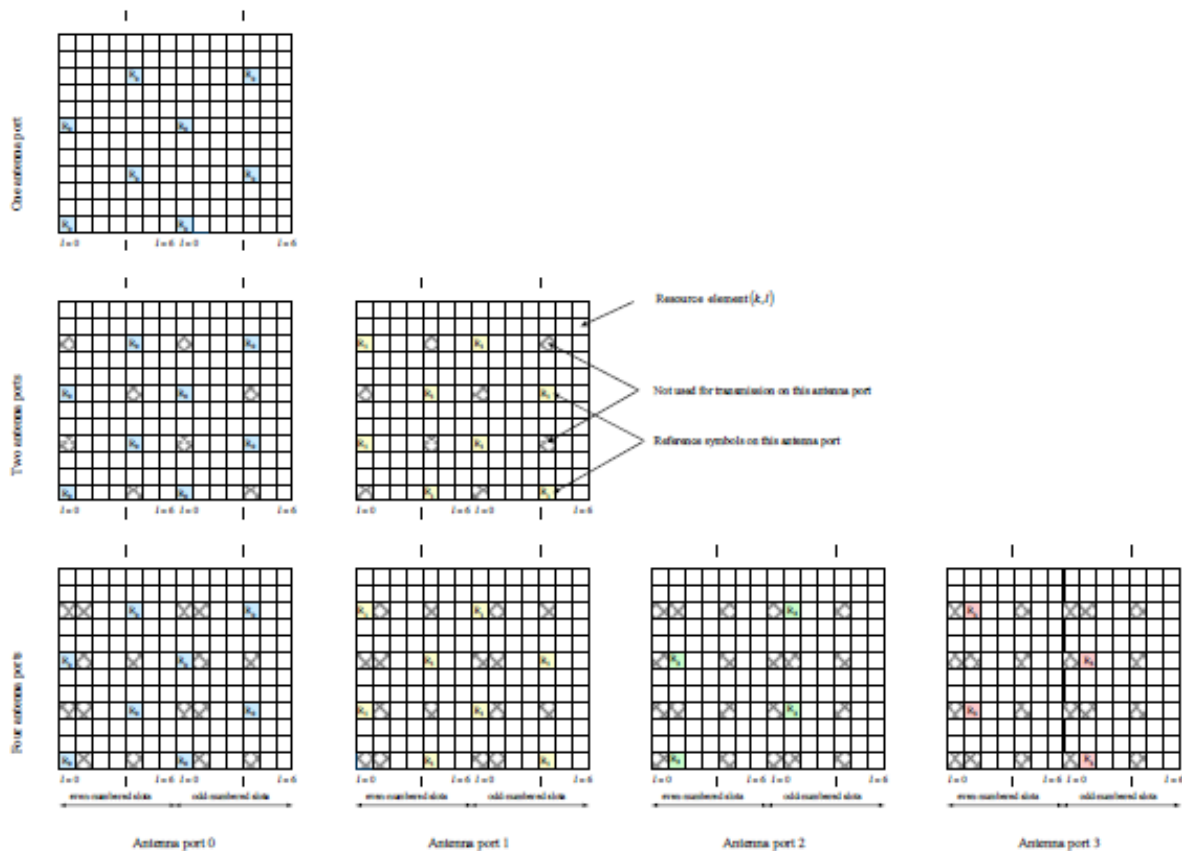


図6 ダウンリンクのリファレンス信号系列の構成

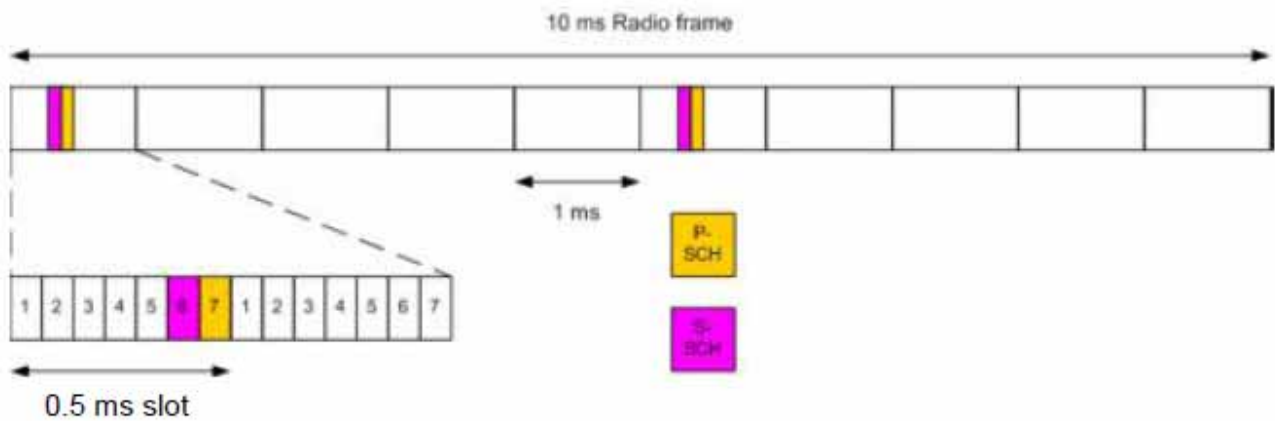


図7 P-SCH、S-SCHの構成

セルサーチ区間で、もう一つ UEの助けになるのが、BCH種別情報を伝送しているCommon Control Physical Channel(CCPCH)です。これも、帯域中心のDCサブキャリア周辺の 72サブキャリアにマッピングされており、決められた時間に送信されます。これらのセルサーチ手法をUEがサポートするためには、最低でも Ueの最低受信帯域幅を20MHzにしなければなりません、これは 3GPPにおいて最低要求とすることが認証されました。

### ダウンリンク物理層機能

E-UTRAでは、ダウンリンクではセルサーチと網同期、スケジューリング、リンクアダプテーション、ハイブリッドARQなどの機能が特に重要なアイテムとなります。それぞれについて説明します。

#### セルサーチと同期

上記のダウンリンクリファレンスデータとセルサーチで述べたとおりです。

#### スケジューリング

スケジューリングは、eNodeBで実行されます。ダウンリンク PDCCHでは、それぞれのユーザーデータがどの周波数-時間リソースにマッピングされているか、どのような変調フォーマット(変調方式、符号化率)を使用しているかなどのスケジューリング結果を報知します。このスケジューリングを行うスケジューラでは、UEからのいくつかのメジャーメントレポートでダウンリンク伝送路環境(伝送路のSNRや移動速度により発生するドップラー周波数など)を認識し、Ueの能力、要求されるQoS、データバッファの状態を総合評価・判断して最適なスケジューリング値を決定します。

#### リンクアダプテーション

リンクアダプテーション機能は、既にHSDPAでも適応変調、符号化として使用されていますが、LTEでは、Shared Channelに適用されます。HSDPAと同様に UEが Channel Quality Indication(CQI)情報をeNodeBにレポートすることによって、スケジューラが都度その無線リンクに最適な変調方式を決定します。

## ハイブリッド ARQ

ハイブリッドARQも、既にHSDPAでも使用されている機能です。同様に Ueが復調不能となったパケットの再送を要求することにより、eNodeBでは前回送信した復調パケット欠損部のみを補うように、かつ次回正常に Ueで復調できるようにリンクバジェットマージンを増やした変調パラメータを使用して再スケジューリングします。これを再送信することで、再送によるダウンリンクスループットの減少を最小にしたARQシステムが実現します。UEでは、バッファに一時保存している前回の欠損データと併せて、欠損パケットを再生します。

## 4 LTEアップリンク

### SC-FDMA

LTEが以前 3GPPでのスタディアアイテムであった時期には、最適なアップリンクを模索するために、様々な伝送方式が議論されていました。ダウンリンクにおいてはOFDMAがLTE仕様諸元を全て満足するための最適な伝送方式であり、現在も変更されていませんが、アップリンクにとってOFDMAは適しているとは言いにくいいくつかの特徴があります。まず、OFDMA信号は、PAPR(Peak to Average Ratio)が非常に大きいという特徴があります。このためOFDMAをアップリンクに適用した場合には、UEのパワーアンプなどに多大なストレスを与えるため十分な送信電力が確保できなくなります。結果的にアップリンクのカバレッジ(実効セル範囲)に影響を与えることとなります。

このため、LTEアップリンク伝送方式は、FDD,TDD共にSC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access)をCyclic Prefix付で採用することとなりました。SC-FDMA信号は、OFDMA信号と比較した場合、PAPRが小さいという特徴があり、UEのパワーアンプに与えるストレスが比較的小さくコスト圧縮が可能になります。これが LTEアップリンクアクセス方式として採用された一つの理由です。SC-FDMAの信号処理は、変復調にIFFT/FFTを使用するなど、OFDMAの信号処理と非常に似ている部分が多く、ダウンリンクとアップリンクのパラメータの整合を行う場合に好都合であるという特徴もあります。

基本的に異なる部分としては、図.8のように、SC-FDMAの信号生成時にDFTspread OFDM(DFT-s-OFDM)を使用することです。MポイントDFTを使用することにより、MシンボルのQPSK,16QAM変調された時間領域シンボル入力が、一時的に周波数領域に展開され、後続の  $N(>M)$ ポイントIFFTのサブキャリアデータとして使用されます。NポイントIFFT入力の任意のMポイントにマッピングされたデータは、再度IFFTによりNポイントの時間領域サンプルに変換されます。結果的に、この信号処理プロセスは、M:Nのオーバーサンプリング処理が行われたことと等価になります。

更に、最後にNポイントの時間サンプルにCyclic Prefixが付け加えられ、並一直列変換のあと出力されます。このため、OFDMAがサブキャリアに1シンボルの時間領域シンボルが含まれるのとは異なり、SC-FDMAのサブキャリアには多重化対象となるMシンボルのQPSKもしくは、16QAM変調された時間領域シンボルがDFT変換により周波数領域に拡散されているため、これらMシンボルの時間領域シンボルの情報の全てが含まれることとなります。

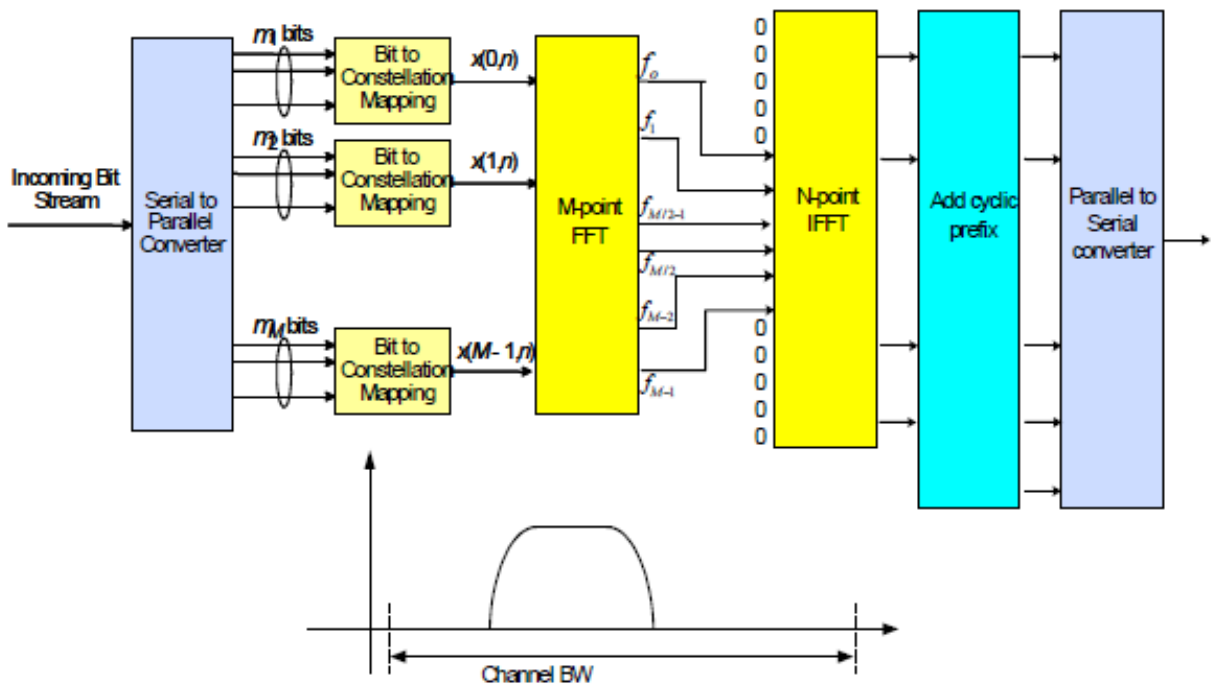


図8 DFT-s-OFDM のブロックダイアグラム  
(Localized transmissionモード)

### SC-FDMAパラメータ

E-UTRAアップリンク構成は、ダウンリンクとほぼ同じです。アップリンク無線フレームもまた20個の0.5msスロットの集合であり、図9のように1サブフレームは連続する二つのスロットで構成されています。それぞれのスロットは、 $N_{\text{SYMB}}^{\text{UL}}$  個のSC-FDMAシンボルで構成されておりNormal Cyclic Prefixフレームの場合、 $N_{\text{SYMB}}^{\text{UL}} = 7$ 、Extended Cyclic Prefixフレームの場合、 $N_{\text{SYMB}}^{\text{UL}} = 6$ となります。SC-FDMAでは、ダウンリンクに使用するOFDMAのようにサブキャリアにチャネル推定を行うためのリファレンス信号をマッピングできませんので、3スロットの4シンボル目にリファレンス信号を集中的にマッピングします。

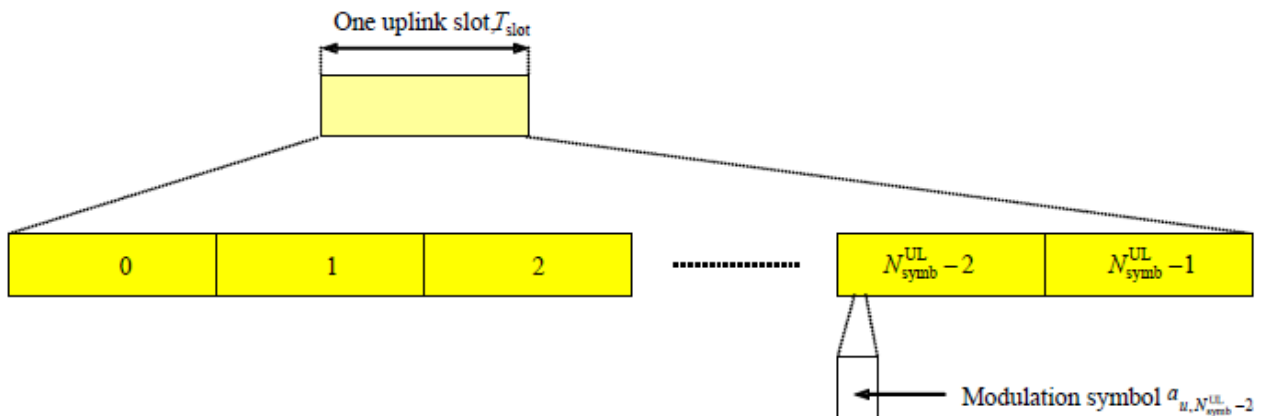


図9 アップリンクスロット構成

E-UTRAアップリンクでは、ダウンリンクとは異なり、表2のような唯一のサブキャリア帯域パラメータを使用します。

Configuration	Number of symbols $N_{\text{symb}}^{\text{UL}}$	Cyclic Prefix length in samples	Cyclic Prefix length in $\mu\text{s}$
Normal cyclic prefix $\Delta f=15\text{ kHz}$	7	160 for first symbol 144 for other symbols	5.2 $\mu\text{s}$ for first symbol 4.7 $\mu\text{s}$ for other symbols
Extended cyclic prefix $\Delta f=15\text{ kHz}$	6	512	16.7 $\mu\text{s}$

表2 アップリンクフレーム生成パラメータ

## アップリンクデータ伝送

アップリンクではダウンリンクと同じように、12個のサブキャリアの集合であるリソースブロックを所要の数だけ使用して、UE(ユーザー)が多重アクセスします。しかしながら、選択できるリソースブロックにはある制限がかけられます。移動機、基地局のベースバンドモデムでのDFTインプリメントの簡略化を考慮して、選択可能なリソースブロック数は、2,3,5の素数の乗算の範囲内と制限が与えられています。つまり、一例としてリソースブロック数=7は選択できないということになります。

アップリンクのTTI(Transmit Time Interval:送信間隔)はダウンリンクと同じく1ms(サブフレーム)となっています。ユーザーデータは、Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)で伝送され、その占有帯域は、使用するリソースブロックの集合である伝送帯域  $N_{\text{tx}}$ と周波数ホッピングパターン  $K_0$ で決定されます。Physical Uplink Control Channel (PUCCH)は、HSDPAでいうところのHSDCCH相当の役割を持っており、CQIやACK/NACKなどのダウンリンク受信状態情報をアップリンク制御情報として伝送します。

PUCCHは、アップリンクの周波数領域に設けられているリザーブ帯域で送信されることになっています。

## アップリンクリファレンス信号構成

アップリンクリファレンス信号は、3つの異なる目的で使用されます。1つ目の目的はeNodeBでのチャネル推定基準です。eNodeBでは、このチャネル推定値を用いてデータ、制御チャネルを復調前に信号等価(イコライズ)することができます。LTEでは、通常のSC(Single Carrier)信号方式では難しい高度なチャネル推定と信号等価性能をSC-FDMAを用いることにより、OFDMA並に高めていることとなります。2つ目の目的は、eNodeBがアップリンクのスケジューリングに必要なするチャネル品質情報の測定基準です。HSUPAのアップリンクスケジューリングと同じく、チャネル品質をこのリファレンス信号から得ることにより、HSUPA以上に無線アップリンクのスケジューリング性能を向上させることができます。3つ目の目的は、eNodeBがUEの位置を補足するためです。UE毎の伝播遅延が異なるアップリンクでは、ダウンリンク以上にUE-eNodeB間の厳密な周波数-時間の同期が必要になります。一定周期でUEがリファレンス信号を送信することによって(Soundingといいます。)、eNodeBは正確にUEの位置やアップリンクフレームとの時間同期を確

認でき、かつ大幅なズレが生じている場合にはダウンリンクの制御チャネルを用いて、UEの送信タイミングを制御することができます。これら3つの機能を持ち、かつ生成される信号が低い PAPRを実現できるように、リファレンス信号系列には、WIMAXなどでも使用されている CAZAC (Constant Amplitude Zero Auto-Correlation) 系列が使用されています。

## アップリンク物理層機能

E-UTRAでは、以下の物理層機能が特に重要になります。

### -非同期ランダムアクセス ( Non-synchronized random access: NSRA)

ランダムアクセスは、アイドル状態から接続状態に移行する際や、ハンドオーバーの際、アップリンク再同期が必要な場合に、図10のようなタイミングで発生します。図中の緑色のマスが、非同期ランダムアクセスチャネル(NSRA)です。系列には、リファレンス信号系列と同じくCAZAC系列が使用されますが、特殊なZadoff-Chu CAZACという系列が使用されます。

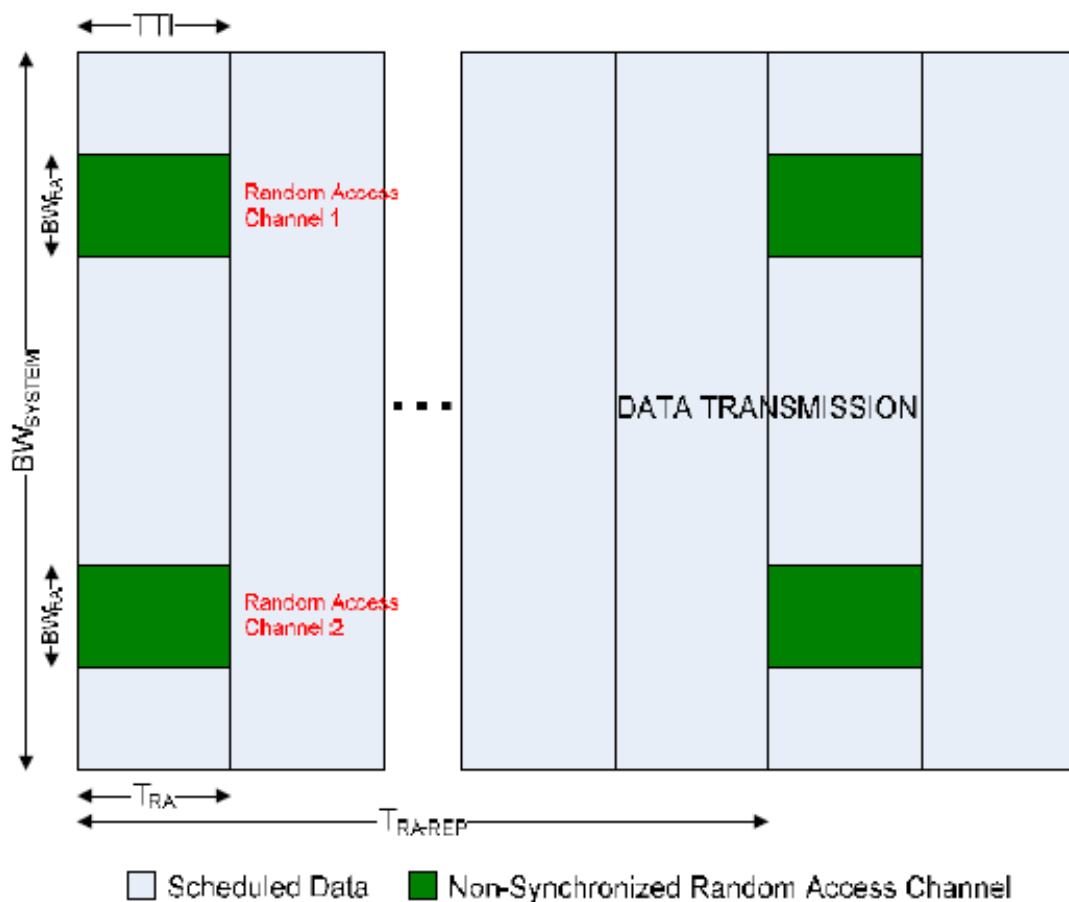


図10 非同期ランダムアクセスチャネル(NSRA)の構成

NSRAの多重は、周波数分割多重、及びCAZACコードの位相を変更することによ



り符号化多重で実現されます。(※CAZACコード多重が始めに使用されます。)  
 NSRAは、図11のように、 $T_{RA}$ の時間フレーム時間で構成されており、Physical Uplink Shared Channel(PUSCH)のサブフレームと同期しています。このため、NSRAのフレームの前後には、0.1msのCyclic Prefixと0.1msのGT(ガードタイム)が設けられており、Physical Uplink Shared Channel(PUSCH)とのシンボル間干渉を避けるように設計されています。GT区間は無送信状態になりますので、NSRAは、0.9ms(CyclicPrefixと $T_{PRE}=0.8ms$ の間)でバースト波となります。このバースト波部分は、NSRA preambleと呼ばれます。NSRA preambleの帯域幅は、72サブキャリアで構成される1.08MHzです。通常は、この帯域内に64種類の位相の違うCAZAC系列が多重されます。それぞれ使用可能な位相は、UEに対して上位の制御層より報知され、UE毎の初期アクセス認証に使用されます。

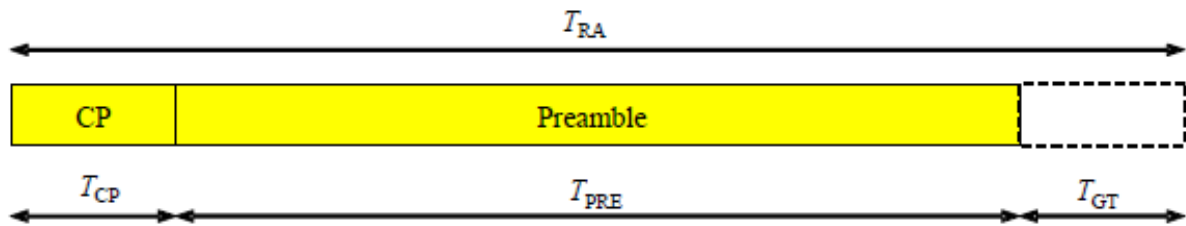


図11 NSRA preambleの構成

NSRA preambleプロシージャは、2つの重要な行程に分かれます。

1つ目は、WCDMAと同じパワーランピングを用いたオープンループパワーコントロール行程です。NSRA preambleを送信した後、UEはランダムアクセス応答メッセージが eNodeBから送信されることを一定時間待ち受け、応答がない場合には、送信電力を増加させて再送信します。応答があった場合(オープンループパワーの決定)には、その送信電力に一定の電力オフセットを設けて、次の状態に移りません。送信電力を規定量増加させても、応答が連続して確認できなかった場合には、CAZACコードの位相を変更し、再度 NSRA preambleをランピング送信します。

2つ目は、TA(Timing Alignment)行程です。UE-eNodeBとの初期時間同期のために、NSRA preambleを用いて UE-eNodeBのフレームタイミングずれを測定・制御する行程です。測定された誤差量はTA量として、ダウンリンクの制御情報で対象UEに報知され、UEが送信タイミングをTA量に従って制御することで、UE-eNodeBとの初期時間同期が確立します。

#### -アップリンク リンクアダプテーション

ダウンリンクと同じく、アップリンクのリンクアダプテーションも、UEの送信電力制御、適応変調(変調方式、符号化率)を変化させて行われます。

#### -アップリンク 送信タイミング制御

前述のとおり、初期時間同期に関してはNSRA preambleで行われその後の追従補正は PUSCHにマッピングされるリファレンス信号とSoundingを計測することで行われます。それぞれ計測されたタイミング制御量は、eNodeBがダウンリンクを使用してタイミング制御コマンドとして、各UEに対して送信します。

### -ハイブリッド ARQ

アップリンクのハイブリッドARQも、既にHSUPAでも使用されている機能です。ダウンリンクと同様に eNodeBが復調不能となったパケットの再送を要求することにより、UEでは前回送信した復調パケット欠損部のみを補うように、かつ次回正常に eNodeBで復調できるようにリンクバジェットマージンを増やした変調パラメータを使用して再送信することで、再送によるアップリンクスループットの減少を最小にした ARQシステムが実現します。eNodeBでは、バッファに一時保存している前回の欠損データと併せて、欠損パケットを再生します。

## 5 LTEにおけるMIMOの概要

MIMO(Multiple Input Multiple Output )アンテナシステムは、3GPP TR 25.913[1] に記述されている LTEのスループットと主周波数利用効率の性能目標を実現するための最も基礎的な機能の一つです。MIMOとは、送信機と受信機の複数アンテナを使用して、スループットや周波数利用効率を向上させる技術のことを総称しています。

### ダウンリンクMIMO

LTEダウンリンクでは、2(基地局送信機アンテナ数) $\times$ 2(UE受信機アンテナ数)構成でのMIMOが基準構成として仮定されています。加えて4アンテナオプションも検討されています。

### -ダウンリンク MIMOモード

大きく2つの MIMOモードが検討されていますが、二つの MIMOモードは、空間多重と送信ダイバシティ能力で差異があり、無線リンクの伝送チャネル状態に依存してどちらのモードを使用するかが決定されます。

### -空間多重モード

空間多重モードは、異なるデータストリームをダウンリンクの同じリソースブロックで送信することを意味しています。これらのデータストリームは、シングルユーザー(1ユーザー)のためのSU(Single User)-MIMOの場合と、マルチユーザー(複数ユーザー)のためのMU(Multi User)-MIMOに用途に分かれます。SU-MIMOが適用される場合には、任意の1ユーザーのみのデータレートが増加し、MU-MIMOが適用される場合には、複数ユーザー全てのデータレートが増加します。

図12は、空間多重モードの概念を表していますが、空間多重モードが無線チャネルの状態に依存しており、異なる通信路を形成するのが分離可能なマルチパスに依存すること意味しています。

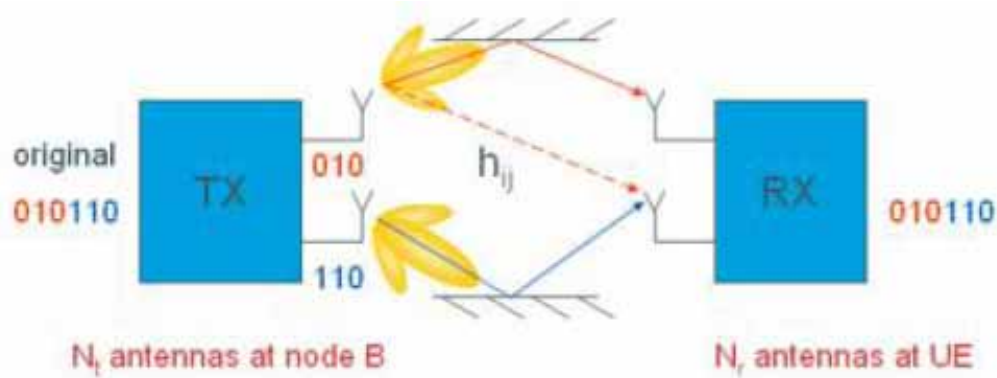


図12 空間多重の概念

図12では、異なる送信アンテナから異なる送信データストリームが送信されていますが、それぞれの受信アンテナには、2つの送信アンテナからの送信信号(データ)が混信しています。しかし、それぞれの受信アンテナの伝送チャネルはそれぞれ特有のマルチパス伝送路により構成されているため、以下のような行列Hでチャネル伝送特性が記述できます。

$$H = \begin{matrix} & \xrightarrow{N_t} & & \\ \begin{matrix} \uparrow \\ \downarrow \\ \vdots \\ \uparrow \\ \downarrow \end{matrix} & \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_r} \\ h_{21} & h_{22} & & h_{2N_r} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ h_{N_t1} & h_{N_t2} & \dots & h_{N_tN_r} \end{bmatrix} & \begin{matrix} \downarrow \\ \uparrow \end{matrix} & N_r \end{matrix}$$

$N_t$ は送信アンテナ数を意味し、 $N_r$ は受信アンテナ数を意味します。LTEでは、 $2 \times 2$ の行列が得られることとなります。各行列要素の  $h_{ij}$ は、送信アンテナ $j$ 、受信アンテナ $i$ 間のチャネル係数を意味しています。よって、 $h_{ij}$ は全ての送受信アンテナ間の伝送パスを含むこととなります。並列送信可能なデータストリームの本数は、 $\min\{N_t, N_r\}$ で表現される(送信、受信のどちらか少ないほうのアンテナ数)に制限されます。すなわち $2 \times 2$ アンテナのLTEの場合は、最大でも2つの異なるデータストリームまでしか多重できません。つまり、MIMOを使用した最大のスループット向上率は2倍が限界となります。

また行列Hの状態(ランク)にも依存し、行列Hの固有値(特異値)がそれほど大きくない場合には、MIMOチャネルの品質が著しく劣化し、2個のデータストリームの復調誤りを発生させます。その結果スループットが劣化してしまうこととなります。このようなケースは、例えば、2アンテナの送受信性能が悪い場合、高速の移動環境において2アンテナ間のチャネル環境が変動している場合、2アンテナの物理的な距離が非常に小さく相関性が高い場合などに発生します。

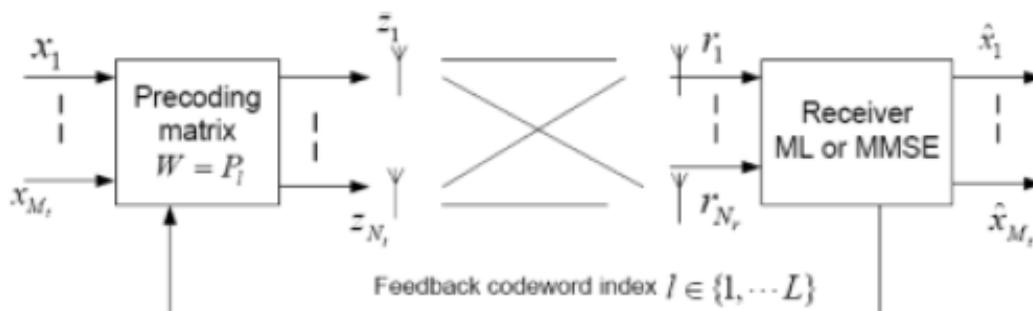


図13 プリコーディングの概念

LTEでは、異なる2つの MIMOコードワードを異なる物理層にマッピングでき、この物理層の数が行列Hのランク(固有値の数)に等しくなります。MIMOコードワードと物理層の関係は常に固定です。この MIMOコードワードは、図13のように変調器側では空間多重用のプリコーディングに使用されます。

プリコーディング行列Wはデータ送信前に確定しておかなくてはならないため、eNodeBとUE間で、あらかじめ数種設定されているコードブックを使用して最適なプリコーディング行列 Wを決定します。

プリコーディング行列Wと受信側で使用される $W_H$ は $WHW = I$ (Iはユニタリ行列)の関係になるように選択使用されます。任意の通信チャネル環境における最適なプリコーディング行列は一つしかなく、UEはアップリンク制御チャネルを使用して、使用すべきプリコーディング行列(特別な場合、プリコーディングベクトル)をeNodeBにフィードバック制御します。

理想的には、リソースブロック毎にプリコーディング行列Wを変更するのがよいのですが、アップリンク制御チャネルにストレスが発生します。このため、いくつかのリソースブロック間で最適となるプリコーディング行列を選択し、いくつかのリソースブロックの集合であるグループごとに変更して使用することになります。図14は、上記で説明した LTEダウンリンクのMIMO送信におけるベースバンド信号生成に関して概要図としてまとめたものです。

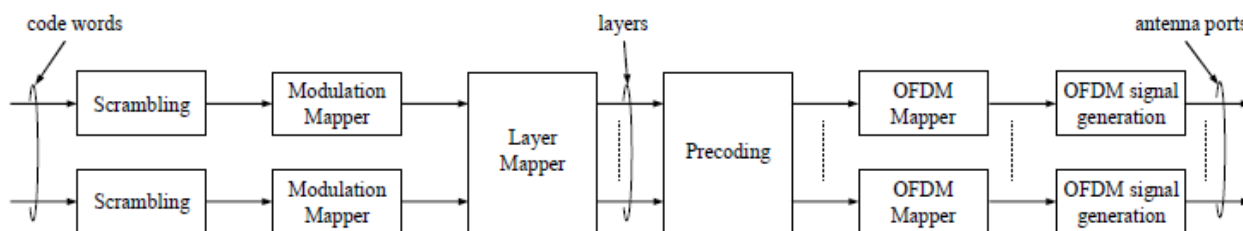


図14 LTEダウンリンクのMIMO送信におけるベースバンド信号生成

### - 送信ダイバーシティモード

データレート(SU-MIMO)やデータ容量(MU-MIMO)を増加させる代わりに、MIMOはアンテナ選択性の向上によるバジェットマージンの改善にも利用できます。送信ダイバーシティ構成は、WCDMA release 99でもよく知られている機能であり、LTEでも1つのMIMOモードとして規定されています。伝送チャネル状態が空間多重を実現できないほど悪化している環境では、送信ダイバーシティモードが使用されず。よって、チャネル環境に依存して、空間多重モード、送信ダイバーシティモードは切り替えが可能です。その切り替え指標は、ランクが1(固有値が1であり、実現できる伝送路が1しかない場合)の場合、とそれ以外で大別されます。

前者の場合は、送信ダイバーシティモードが使用され、それ以外では空間多重モードが使用されます。

### アップリンクMIMO

LTEのアップリンクMIMO構成は、UEのインプリメントの複雑さを回避するためにダウンリンクとは異なります。アップリンクMIMOでは、MU-MIMOが使用されます。複数のUEが同じリソースブロックを共用し送信するSDMA(Spatial Diversity Multiple access)を使用します。PHSなどでもおなじみのSDMAですが、UEの送信アンテナを1本にできるという意味で大きな利点があります。

UEは、同一リソースブロックを相直交パイロットパターンを使用して共用します。2本以上のマルチアンテナをUEが搭載できる場合、送信信号処理チェーン(パワーアンプまで含む)が1個でも、実際に送信するアンテナをスイッチングすることで送信アンテナダイバーシティ効果が得られます。スイッチとアンテナのみのコスト増加に留められるために効果的なMIMOオプションとして検討されています。このアンテナスイッチの選択は、eNodeBが最適な伝送チャネルを得られるようにクローズドループ制御できるようになっています。

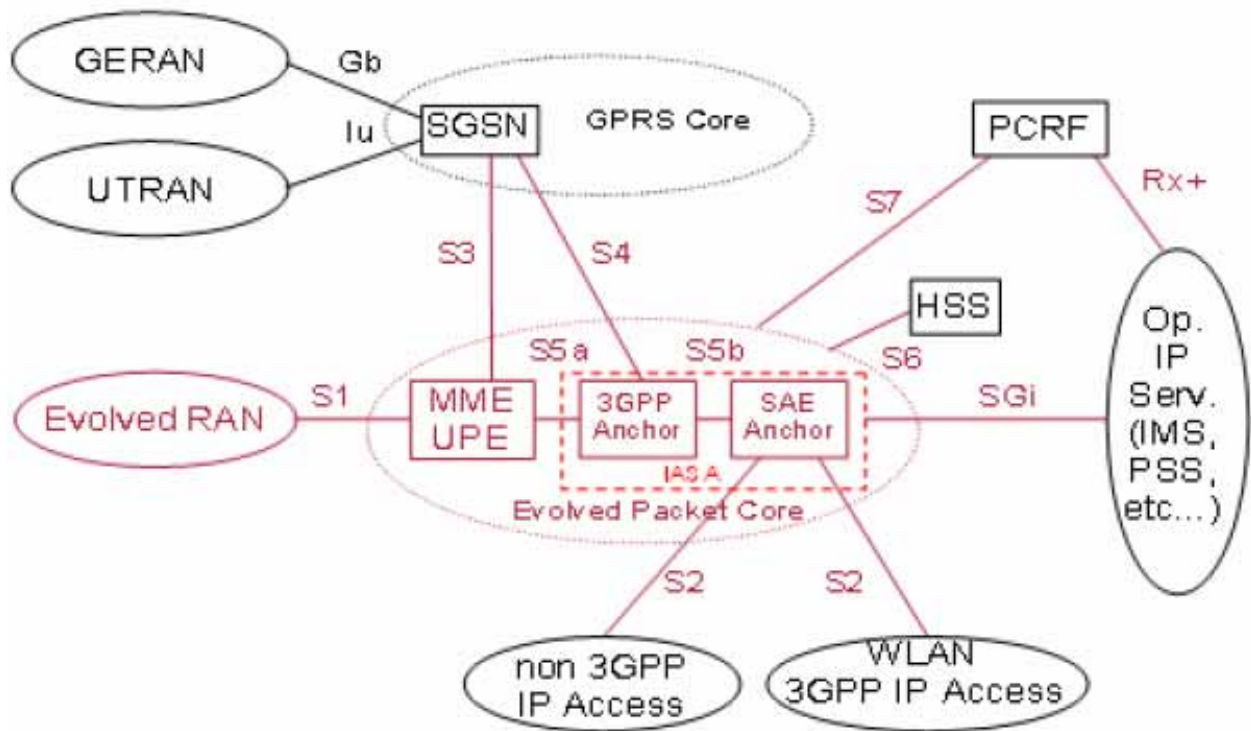
## 6 LTEプロトコルアーキテクチャ

### システムアーキテクチャ エボリューション(SAE)

SAEは3GPPのスタディアイテムの1つであり、システムアーキテクチャ全体の進化に関して検討しています。その目的は、

- ・3GPPシステムを高速データレート伝送に対応させるためのマイグレーション及びエボリューション計画を開発すること
- ・低IP伝送遅延を実現すること
- ・様々な無線アクセス技術に対応し、パケット交換型システムに最適化させること

にあります。注目される作業は、パケット交換型ネットワークで如何に音声サービスを実現するかです。この作業には、NGNを考慮したAll IP network[5]への展望も含まれています。明確な仕様諸元は、異なるアクセスネットワーク間でのモビリティ(移動性)とサービス連続性(ハンドオーバー)です。図15にはシステムアーキテクチャエボリューションの概要をまとめています。



\* Color coding: red indicates new functional element / interface

図15 システム アーキテクチャ エボリューション  
(※赤色の部分が新しい機能要素とインタフェースです。)

## E-UTRAN

E-UTRANは、E-UTRAN stage 2[4]にあるようにE-UTRANが複数のeNodeBを中心に構成され、対応するUEのE-UTRAユーザープレーン(PDPC/RLC/MAC/PHY)とコントロールプレーン(RRC)のプロトコル終端を行うようになっています。複数のeNodeBは、X2インタフェースで相互接続され、S1インタフェースでEPC(Evolved Packet Core)と接続されます。特に、NASプロトコルで終端されるMME(Mobility Management Entity)とSAEゲートウェイの追加配置が特徴的になります。図16では、eNodeBとEPC毎の機能的な配置分担をまとめています。

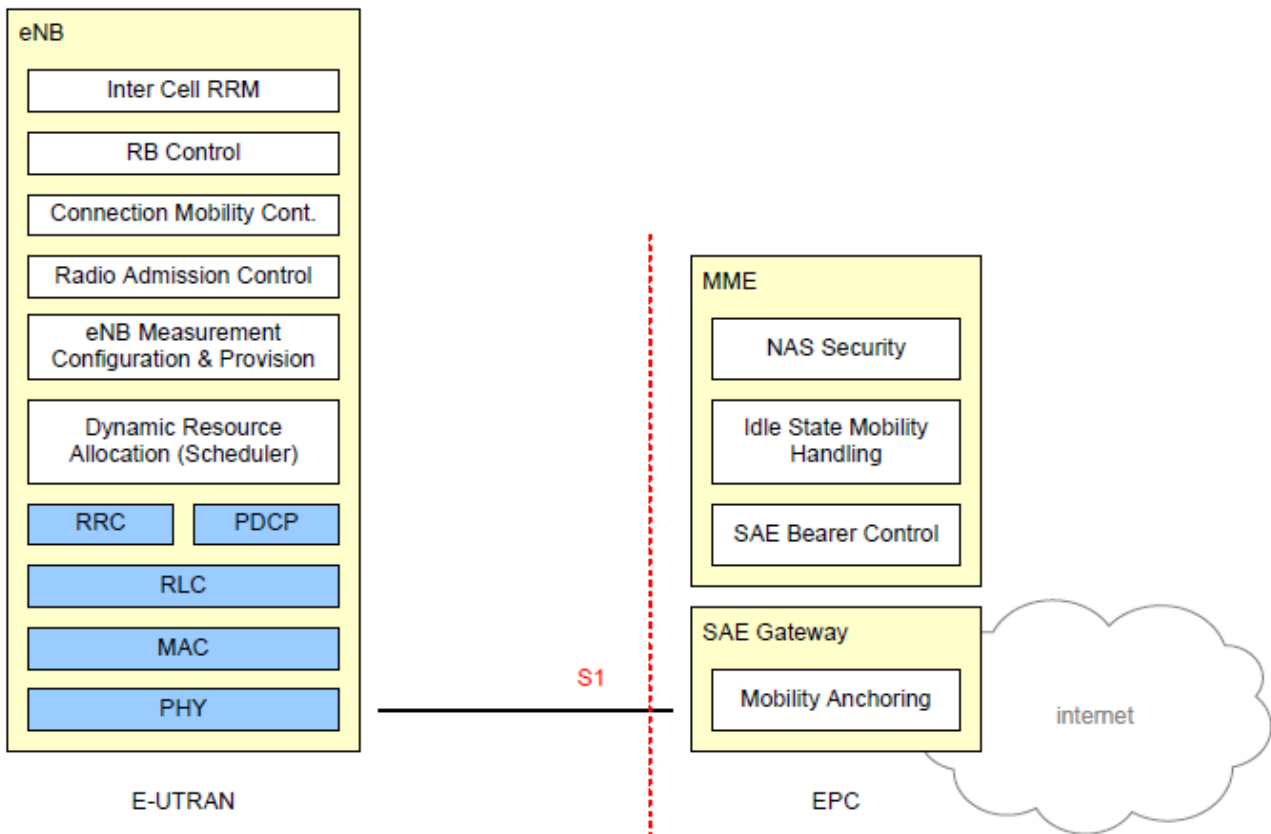


図16 eNB(eNodeB)とEvolved Packet Coreの機能的な分割配置

E-UTRANは、基地局の機能が WCDMA Release 99と比較して飛躍的に増加しています。基地局がホストとなる機能として、無線ベアラ制御、認証制御、移動性制御などが増えています。ユーザープレーンのプロトコルスタックを 図17にまとめています。

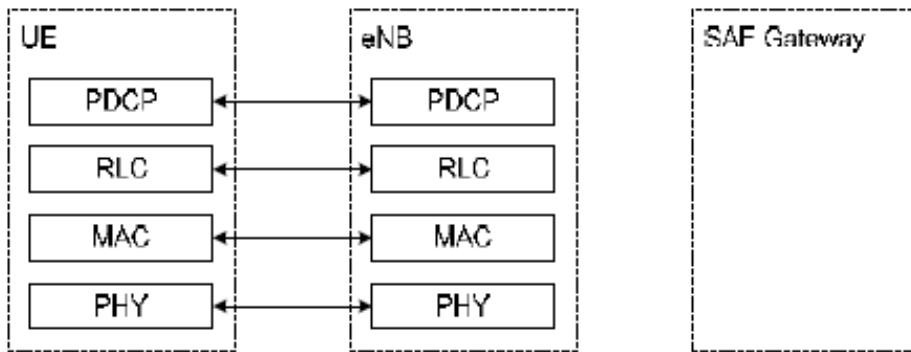


図17 ユーザープレーンのプロトコルスタック

コントロールプレーンのプロトコルスタックを図18にまとめています。

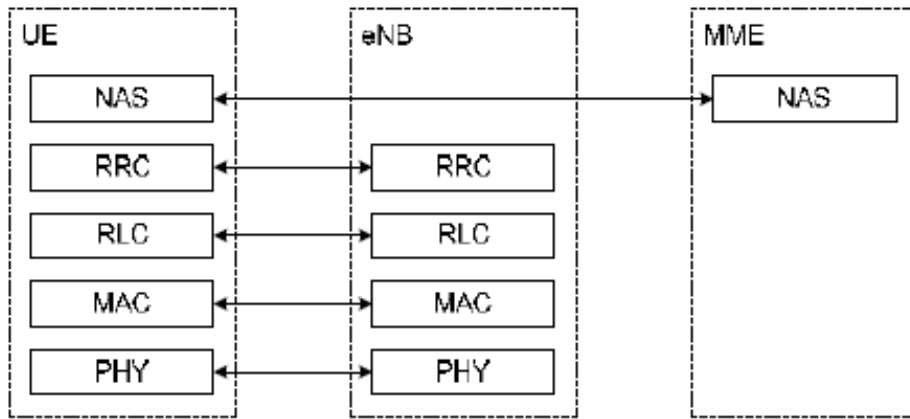


図18 コントロールプレーンのプロトコルスタック

### レイヤ2構成

図19及び図20では、ダウンリンクとアップリンクのレイヤ2構成をまとめています。物理層とMACサブレイヤ間のサービスアクセスポイント(SAP)はトランスポートチャンネルであり、同じくMACサブレイヤとRLCサブレイヤのSAPは、ロジカルチャンネルとなります。無線ベアラはPDCP層で定義され、トランスポートチャンネルへの複数論理チャンネルの多重が可能となっています。MIMOでなければ、ダウンリンクとアップリンクどちらも、TTI(Transmission Time Interval)区間で生成されるトランスポートブロックは1つとなります。E-UTRANはARQとHARQ機能を提供しますが、ARQ機能はレイヤ2での再送認証モードによるエラー訂正機能として提供され、再送はRLCステータス報告とHARQ/ARQの相互作用をベースにして動作します。、HARQ機能はレイヤ1で提供されダウンリンクでは非同期、アップリンクでは同期のN個のチャンネルの stop-and-wait プロトコルとなります。

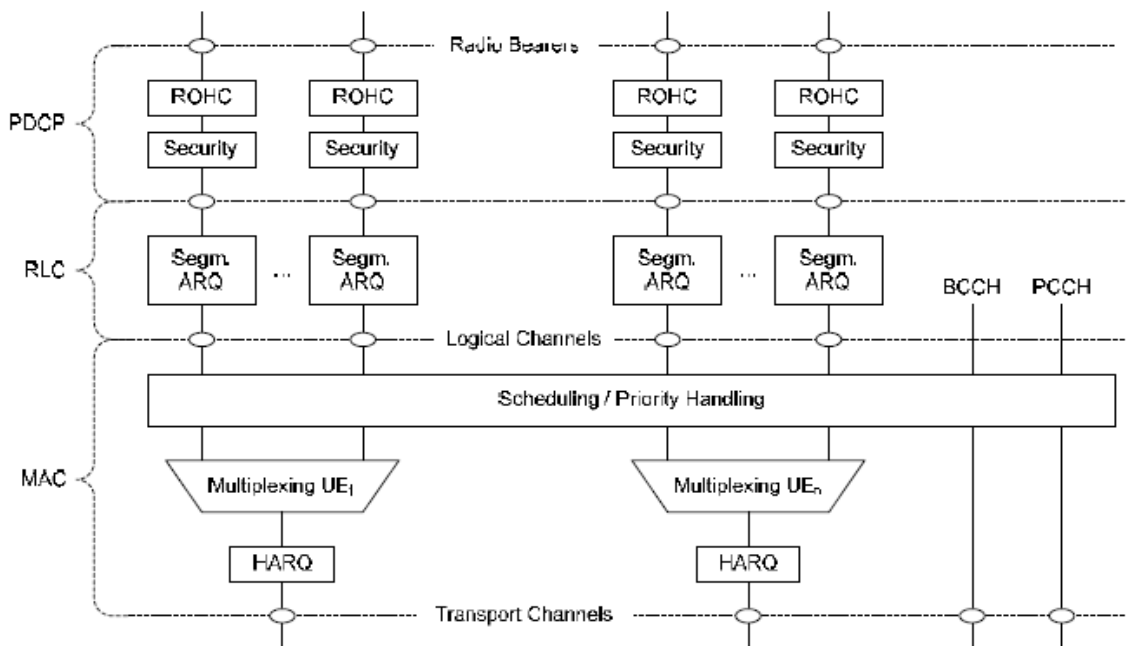


図19 ダウンリンクレイヤ2構成



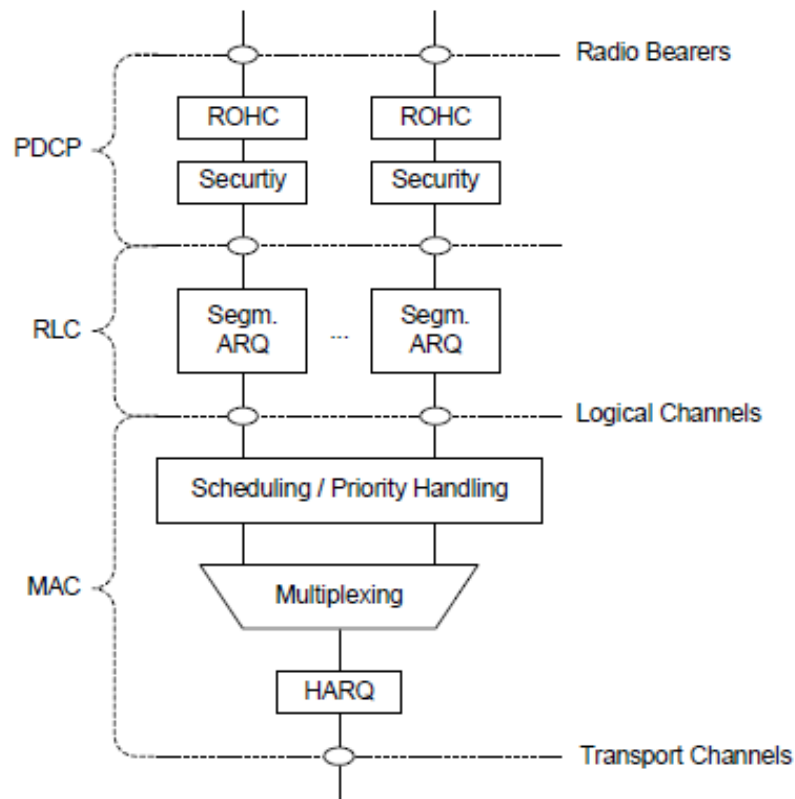


図20 アップリンクレイヤ2構成

## トランスポートチャンネル

LTEプロトコルアーキテクチャを簡易化するために、WCDMAと比較するとトランスポートチャンネルの種別が減らされています。これは、Shared Channelを使用するオペレーションを主に行うことを意味しており、WCDMAチャンネルで言うところの個別物理チャンネル(DPCH など)は定義されていません。

ダウンリンクトランスポートチャンネルは、

- Broadcast Channel (BCH)
- Downlink Shared Channel (DL-SCH)
- Paging Channel (PCH)
- Multicast Channel (MCH)

の4種類の物理チャンネルしかなく、アップリンクトランスポートチャンネルは、

- Uplink Shared Channel (UL-SCH)
- Random Access Channel (RACH)

の2種類の物理チャンネルしかありません。

## 論理チャンネル

論理チャンネルは制御とトラフィック(データ)チャンネルに大別されます。  
制御チャンネルは、

Broadcast Control Channel (BCCH)  
Paging Control Channel (PCCH)  
Common Control Channel (CCCH)  
Multicast Control Channel (MCCH)  
Dedicated Control Channel (DCCH)

の5種類の論理チャンネルがあり、トラフィック(データ)チャンネルは、

Dedicated Traffic Channel (DTCH)  
Multicast Traffic Channel (MTCH)

の2種類の論理チャンネルがあります。

ダウンリンクとアップリンクの論理チャンネルとトランスポート(物理)チャンネルのマッピングを図21にまとめました。

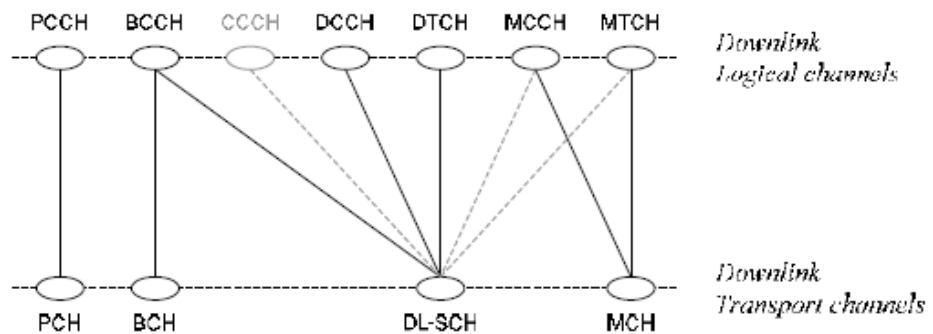


図21 ダウンリンク論理チャンネルとトランスポートチャンネルのマッピング

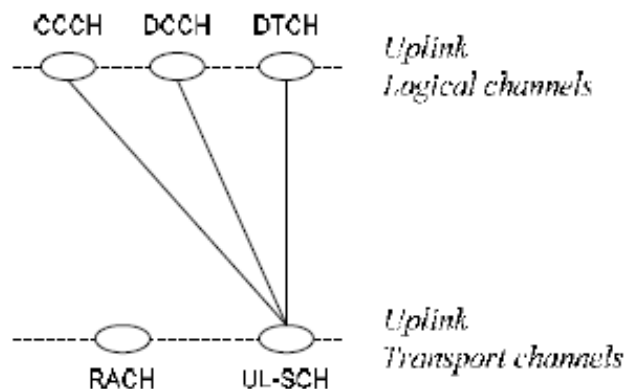


図22 アップリンク論理チャンネルとトランスポートチャンネルのマッピング

## 7 LTEにおけるMBMSの概要

MBMS(Multimedia Broadcast Multicast Services)はLTEの基本的な仕様諸元の一つです[1]。

LTEでMBMSをサービスする場合、特に E-MBMSと記述する場合があります。

LTEでは、MBMS伝送は単一セルもしくはマルチセルで運用されますが、マルチセル伝送においては、UE端末でのソフトコンバイニングのために、伝送コンテンツとそのセル送信タイミングが同期する必要があります。元々非同期なセルをベースとするWCDMAとは異なるため、マイグレーション上の一つの課題とされています。UEで受信される信号は、各セルからの送信信号の合成となり、UEにはマルチパスに見えます。このため、このマルチパスが Cyclic Prefix内に収まるように送信タイミングのずれを十分小さくする必要があります。これは、DVB-Tなどの Single Frequency Network(SFN)と同じであり、よく知られています。E-UTRANでは更に、どのセルでMBMSサービスをSFNのどのセルで伝送するかを計画できます。サブフレームが MBMS SFNデータを伝送する場合には、特別なリファレンス信号を使用でき、マルチパス耐性が強くなるExtended Cyclic Prefixも適用できるため、Normal Cyclic Prefixよりも大きなセルゾーンでサービスができます。

MBMSトラフィックデータは、同一キャリアのユニキャストトラフィックと帯域をシェアできます。また、異なるキャリア間で分割伝送することもできます。MBMSデータは、論理チャンネルとしてMBMS traffic channel (MTCH)を使用します。

## 8 LTE に関するテスト項目

### LTEのRFテスト

本章では、LTEの基地局と端末の送信機、受信機パーツ、LTEのRFコンポーネントに関するテストに関してご説明いたします。

まず、LTE信号特性に関してご説明いたします。LTEダウンリンクの開発においては、RF開発者はWiMAXやWLANなどの既存技術からOFDMAに関する専門技術を吸収できますが、LTEアップリンクの開発においては、SC-FDMAは他の規格でも採用されていないため、それほど簡単なことではないようです。このため、アップリンクの信号特性について注意深く調査しておく必要があります。

### 一般的な設定

LTE信号を特徴づける主なパラメータは以下のとおりです。

- ・ 周波数
- ・ 帯域幅/LTE信号のリソースブロック数
- ・ アンテナ構成
- ・ リファレンス信号構成
- ・ ダウンリンク同期チャンネル構成
- ・ Cyclic Prefix長
- ・ ユーザーデータの配置場所(リソースブロック)と変調方式
- ・ L1/L2制御チャンネル構成

## LTEの信号生成

LTE信号発生器としては、R&Sの製品では、SMU200A、SMJ100A、SMATE200Aが既にこれに対応しています。これらの信号発生器製品群に、ソフトウェアオプションSMx-K55(Digital Standard LTE/EUTRA)をインストールすることにより、これらの信号発生器のユーザーインターフェースで簡単に操作できるLTEの信号生成機能を提供いたします。

また、ソフトウェアWinIQSIM2をPCにインストールし、これを使用してデジタル変調信号を生成したあと、上記の信号発生器製品群にアップロードして信号を出力することも可能です。※ソフトウェアオプション Smx-K255が必要です。

WinIQSIM2は、IQ変調信号発生器AFQ100AIにも対応しております。フェーディングシミュレータ機能を搭載したベースバンド信号発生器AMU200Aでは、ソフトウェアオプションAMU-K55またはAMUK255をインストールすることにより、LTEに対応することが可能になります。

図23は、OFDMAタイムプランを示しています。LTEダウンリンク信号フレーム内のリソースブロックアロケーションは、設定が変更可能となっております。図23は、5MHzのLTEダウンリンク信号の任意の0.5msスロットを表しています。X軸は、OFDMシンボル番号、y軸はリソースブロック番号を示しており、全てのリソースブロックにユーザーデータを適用可能となっております。リファレンス信号シンボルは、1,5番目のOFDMシンボルに、L1/L2制御チャンネルは先頭の2シンボルに自動的に挿入されるようになっております。これらの設定は、LTE信号ごとに独立して設定が可能です。

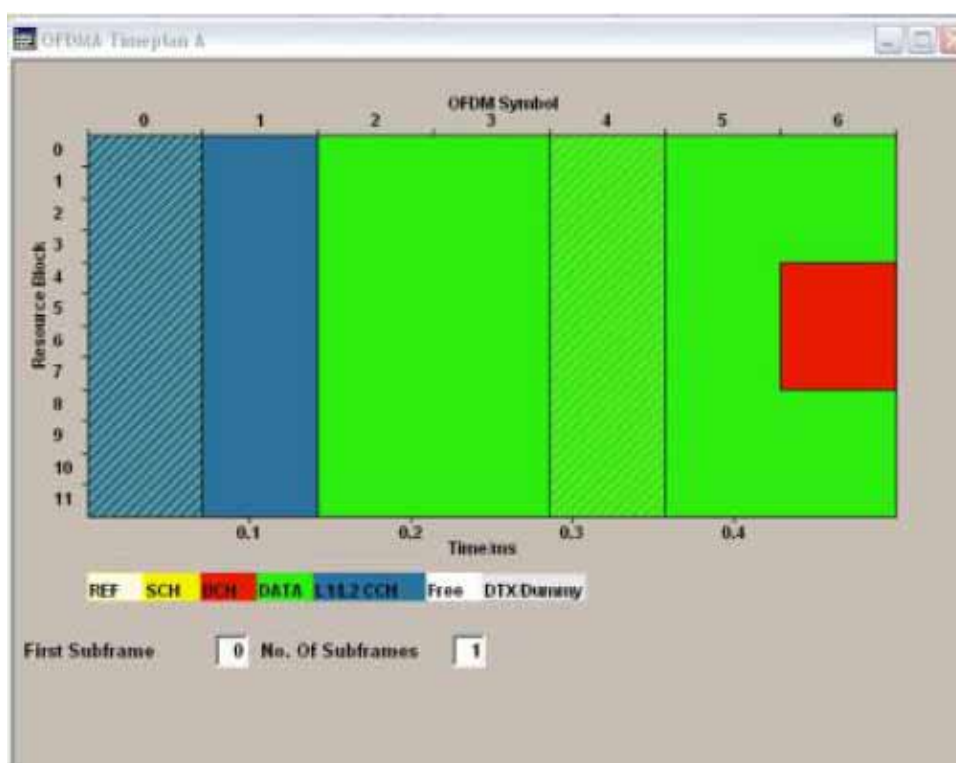


図23 LTE信号生成のOFDMAタイムプラン (1slot)

図24は、10スロット分のOFDMAタイムプランを示しています。図中の黄色にハイライトされている部分はSCH、赤部分はBCHの受信インターバルを示しています。ユーザーデータは、このタイムプランの全域にマッピングできますので、eNodeBのスケジューリングシナリオをシミュレーションすることが可能です。

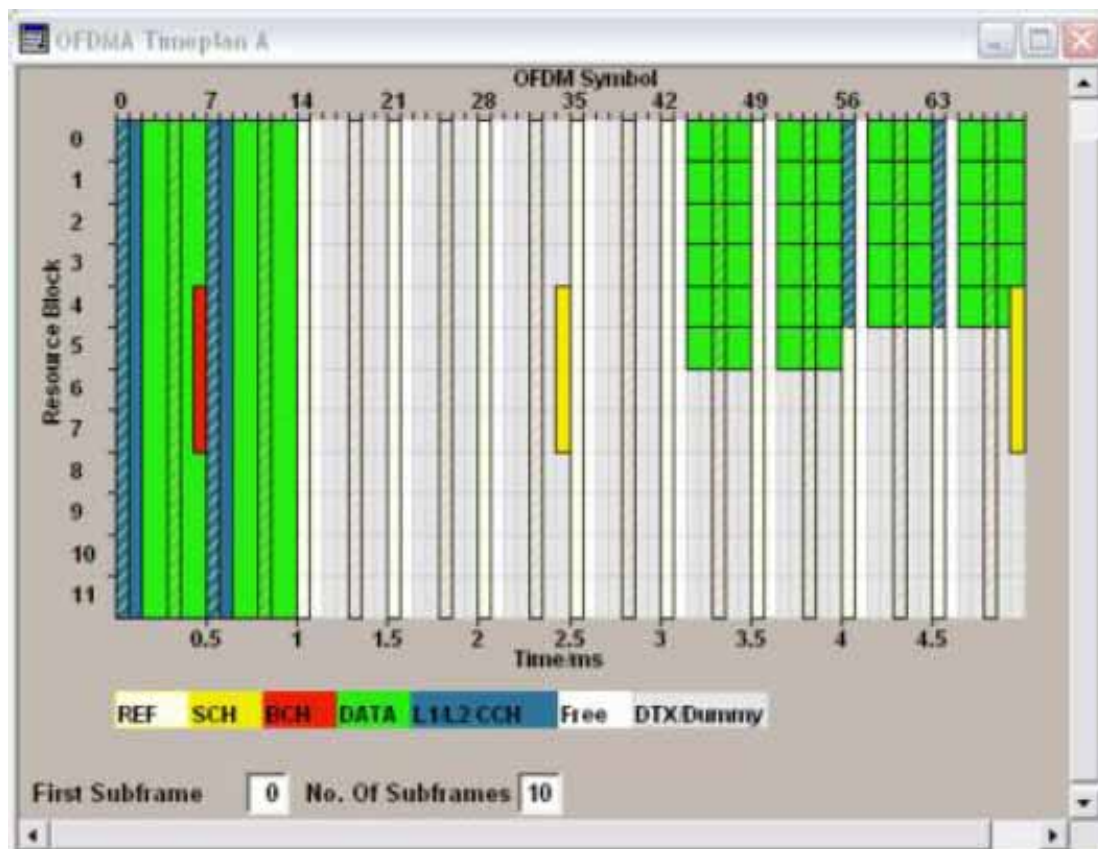


図24 LTE信号生成のOFDMAタイムプラン (1slot)

## LTEの信号解析

LTE信号のRF特性を解析する場合、R&Sの製品では、シグナルアナライザFSQが対応しています。ソフトウェアオプション FSQ-K100(*Application firmware 3GPP LTE/EUTRA down link*)とFSQ-K101(*Application firmware 3GPP LTE/EUTRA up link*)をインストールすることにより、下記の測定が可能となります。

- ・ EVM(Error Vector Magnitude),
- ・ コンスタレーションダイアグラム
- ・ スペクトラム測定
- ・ CCDF測定
- ・ 周波数誤差解析

図25の下のグラフは、LTEダウンリンク信号のサブキャリア毎のEVMを測定している例となります。OFDMシンボル毎のEVMを測定することも可能です。図25の上のグラフは、10msの信号キャプチャバッファ内のレベルを示しています。EVM測定は、LTEにおいて最も重要な測定項目の一つです。64QAMまでの変調方式に対応させるために送信機側ではスループット低下を避けるための非常に厳しいEVM要求仕様となっています。



図25 サブキャリア毎のEVM測定

CCDFとクレストファクタ測定も、パワーアンプの設計開発では、非常に重要な機能となります。図26はLTEダウンリンク信号のCCDF測定例となります。

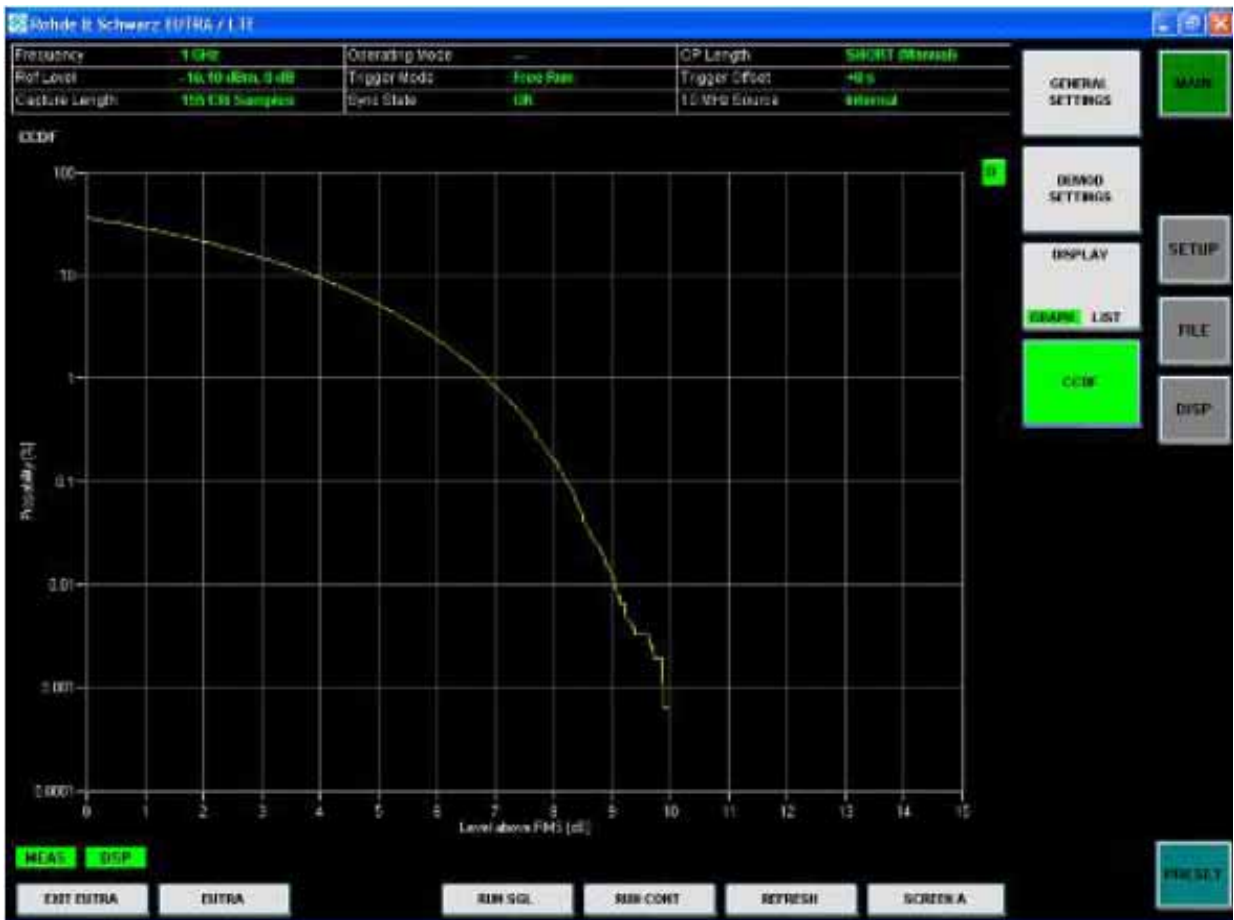


図26 CCDF測定

図27はLTEダウンリンク信号スペクトラムの帯域フラットネスの測定例です。

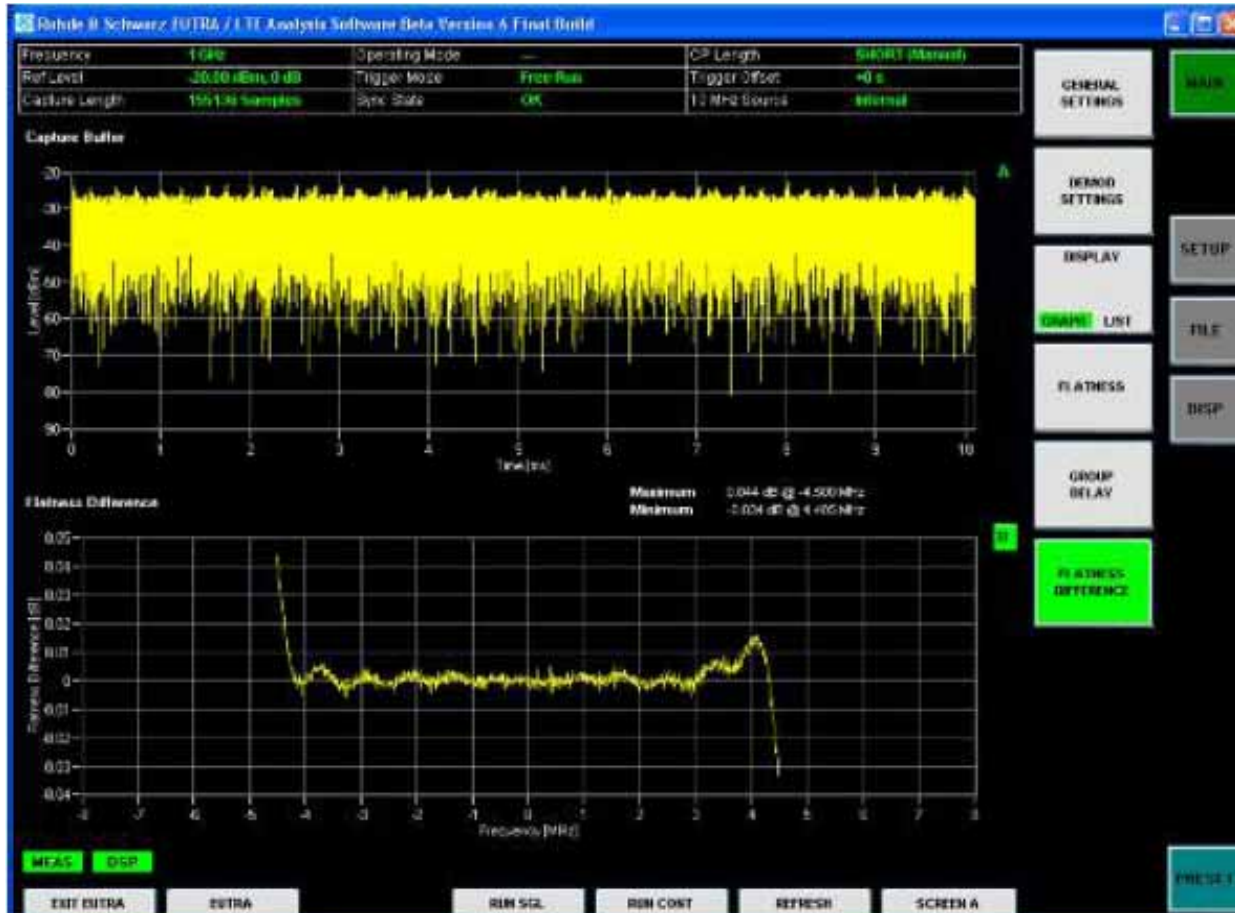


図27 帯域フラットネス測定

## LTE レイヤ1 および プロトコルに関するテスト

LTEレイヤ1は、非常に重要なセルサーチ、ハイブリッドARQ再送プロトコル、スケジューリング、リンクアダプテーション、アップリンク送信タイミング制御、パワーコントロールなどの非常に重要な機能を持っています。更に、これらの機能は非常に厳しいタイミング要求がありますので、LTEの性能を保証するためには、レイヤ1のテストを通過することが必要です。LTEプロトコルスタックのテストは、呼接続と開放、呼の再接続、ステートハンドリングなどのシグナリング機能、移動性などを評価することが重要です。2G-3G間の相互接続性もLTEの重要な要求の1つでありテストが必要です。

最も重要な点は、端末プロトコルスタックとアプリケーションを高速なデータレートで動作させるためのスループット評価にあります。個別のパラメータ設定が可能なフレキシブルなテストシナリオが、LTEインプリメントの早期段階でのR&D用途で必要になると予測されます。



## 9 略語説明

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACK	Acknowledgement
ACLR	Adjacent Channel Leakage Ratio
ARQ	Automatic Repeat Request
AS	Access Stratum
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
CAZAC	Constant Amplitude Zero Auto-Correlation
CAPEX	Capital Expenditures
CCDF	Complementary Cumulative Density Function
CCPCH	Common Control Physical Channel
CP	Cyclic Prefix
C-plane	Control Plane
CQI	Channel Quality Indicator
CRC	Cyclic Redundancy Check
DCCH	Dedicated Control Channel
DFT	Discrete Fourier Transform
DL	Downlink
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DRX	Discontinuous Reception
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DTX	Discontinuous Transmission
DVB	Digital Video Broadcast
eNB	E-UTRAN NodeB
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRA	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GSM	Global System for Mobile communication
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IFFT	Inverse Fast Fourier Transformation
IP	Internet Protocol
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
MCCH	Multicast Control Channel
MCH	Multicast Channel

MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MTCH	MBMS Traffic Channel
MU-MIMO	Multi User MIMO
NACK	Negative Acknowledgement
NAS	Non Access Stratum
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OPEX	Operational Expenditures
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PHY	Physical Layer
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDU	Protocol Data Unit
PS	Packet Switched
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Radio Bearer
RF	Radio Frequency
RLC	Radio Link Control
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RU	Resource Unit
S1	Interface between eNB and aGW
S1-C	S1-Control plane
S1-U	S1-User plane
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
SCH	Synchronization Channel
SDMA	Spatial Domain Multiple Access
SU-MIMO	Single User MIMO
TDD	Time Division Duplex
TS	Technical Specification
TTI	Transmission Time Interval

UE	User Equipment
UL	Uplink
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPE	User Plane Entity
U-plane	User plane
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network
X2	Interface between eNBs
X2-C	X2-Control plane
X2-U	X2-User plane

## 10 補足説明

アプリケーションノートは随時更新されます。

最新バージョン(英語版)1MA111をダウンロードされる場合には、以下のウェブサイトまで御越してください。

<http://www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA111.html>

このアプリケーションのノートに関するコメントや御意見に関しては、以下のメールアドレスまで宜しくお願いします。

[TM-Applications@rds.rohde-schwarz.com](mailto:TM-Applications@rds.rohde-schwarz.com)

## 11 参考資料

- [1] 3GPP TS 25.913; Requirements for E-UTRA and E-UTRAN(Release 7)
- [2] 3GPP TR 25.892; Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement (Release 6)
- [3] 3GPP TS 36.211; Physical Channels and Modulation (Release 8)
- [4] 3GPP TS 36.300; E-UTRA and E-UTRAN; Overall Description; Stage2 (Release8)
- [5] 3GPP TS 22.978; All-IP Network (AIPN) feasibility study (Release 7)

## 1 2 オーダリング・インフォメーション

ベクトル・シグナル・ジェネレータ

R&S® SMU200A	1141.2005.02
R&S® SMU-B102 Frequency range 100 KHz to 2.2GHz for 1st RF Path	1141.8503.02
R&S® SMU-B103 Frequency range 100 KHz to 3GHz for 1st RF Path	1141.8603.02
R&S® SMU-B104 Frequency range 100 KHz to 4GHz for 1st RF Path	1141.8703.02
R&S® SMU-B106 Frequency range 100 KHz to 6 GHz for 1st RF Path	1141.8803.02
R&S® SMU-B202 Frequency range 100 KHz to 2.2 GHz for 2nd RF Path	1141.9400.02
R&S® SMU-B203 Frequency range 100 KHz to 3 GHz for 2nd RF Path	1141.9500.02
R&S® SMU-B9 Baseband Generator with digital modulation(realtime) and ARB(128 M Samples)	1161.0766.02
R&S® SMU-B10 Baseband Generator with digital modulation(realtime) and ARB(64MSamples)	1141.7007.02
R&S® SMU-B11 Baseband Generator with digital modulation(realtime) and ARB(16MSamples)	1159.8411.02
R&S® SMU-B13 Baseband Main Module	1141.8003.02
R&S® SMU-K55 Digital Standard 3GPP LTE/EUTRA	1408.7310.02
R&S® SMU-K255 Digital Standard 3GPP LTE/EUTRA for WinIQSIM2	1408.7362.02
R&S® SMJ100A	1403.4507.02
R&S® SMJ-B103 Frequency range 100 kHz – 3 GHz	1403.8502.02
R&S® SMJ-B106 Frequency range 100 kHz – 6 GHz	1403.8702.02
R&S® SMJ-B9 Baseband generator with digital modulation(realtime) and ARB(128 M Samples)	1404.1501.02
R&S® SMJ-B10 Baseband Generator with digital modulation(realtime) and ARB(64MSamples)	1403.8902.02
R&S® SMJ-B11 Baseband Generator with digital modulation(realtime) and ARB(16MSamples)	1403.9009.02
R&S® SMJ-B13 Baseband Main Module	1403.9109.02
R&S® SMJ-K55 Digital Standard 3GPP LTE/EUTRA	1409.2206.02
R&S® SMJ-K255 Digital standard 3GPP LTE/EUTRA for WinIQSIM2	1409.2258.02
R&S® SMATE200A	1400.7005.02
R&S® SMATE-B103 Frequency range 100 KHz to 3 GHz for 1st RF Path	1401.1000.02
R&S® SMATE-B106 Frequency range 100 KHz to 6 GHz for 1st RF Path	1401.1200.02

R&S® SMATE-B203 Frequency range 100 KHz to 3 GHz for 2nd RF Path	1401.1400.02
R&S® SMATE-B206 Frequency range 100 kHz – 6 GHz for 2nd RF path	1401.1600.02
R&S® SMATE-B9 Baseband Generator with digital modulation(real time) and ARB(128 M samples)	1404.7500.02
R&S® SMATE-B10 Baseband Generator with digital modulation(realtime) and ARB (64MSamples)	1401.2707.02
R&S® SMATE-B11 Baseband Generator with digital modulation(realtime) and ARB (16MSamples)	1401.2807.02
R&S® SMATE-B13 Baseband Main Module	1401.2907.02
R&S® SMATE-K55 Digital Standard 3GPP LTE/EUTRA	1404.7851.02
R&S® AMU200A Baseband signal generator, base unit	1402.4090.02
R&S® AMU-B9 Baseband generator with digital modulation(realtime) and ARB(128 MSamples)	1402.8809.02
R&S® AMU-B10 Baseband generator with dig. modulation (realtime)and ARB(64 MSamples)	1402.5300.02
R&S® AMU-B11 Baseband generator with dig. modulation (realtime)and ARB(16 MSamples)	1402.5400.02
R&S® AMU-B13 Baseband main module	1402.5500.02
R&S® AMU-K55 Digital Standard LTE/EUTRA	1402.9405.02
R&S® AMU-K255 Digital Standard LTE/EUTRA for WinIQSIM2	1402.9457.02
R&S® AFQ100A IQ modulation generator base unit	1401.3003.02
R&S® AFQ-B10 Waveform memory 256 Msamples	1401.5106.02
R&S® AFQ-B11 Waveform memory 1Gsamples	1401.5206.02
R&S® AFQ-K255 Digital Standard LTE/EUTRA, WinIQSIM 2 required	1401.5906.02

シグナル・アナライザ

R&S® FSQ3 20 Hz to 3.6 GHz	1155.5001.03
R&S® FSQ8 20 Hz to 8 GHz	1155.5001.08
R&S® FSQ26 20 Hz to 26,5 GHz	1155.5001.26
R&S® FSQ40 20 Hz to 40 GHz	1155.5001.40
R&S® FSQ-K100 Application Firmware 3GPP LTE/EUTRA Downlink	1308.9006.02
R&S® FSQ-K101 Application Firmware 3GPP LTE/EUTRA Uplink	1308.9058.02



本社/東京オフィス 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-20-1 住友不動産西新宿ビル 27 階  
Tel: 03-5925-1288/1287 Fax: 03-5925-1290/1285  
神奈川オフィス 〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-13-13 KM 第一ビルディング 8 階  
Tel: 045-477-3570 Fax: 045-471-7678  
大阪オフィス 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-20 TEK 第 2 ビル 8 階  
Tel: 06-6310-9651 Fax: 06-6330-9651  
[www.rohde-schwarz.co.jp](http://www.rohde-schwarz.co.jp)