移動体通信における FMC と SAE/LTE に関する将来技術について

By Jonathan Borrill

TABLE OF CONTENTS;

1. フィックスド・モバイル・コンバージェンスの定義
2. 次世代のネットワーク技術
3. LTE/SAE イントロダクション
4. LTE 技術
5. 技術がユーザーに与える影響
6. テストチャレンジ
7. 参照
8. 3GPP 規格リスト

移動体通信におけるフィックスド・モバイル・コンバージェンスと SAE/LTE に関する将来技術について

アンリツ株式会社

内容：

- *フィックスド・モバイル・コンバージェンスの定義*
- *次世代のネットワーク技術*
- *LTE/SAEイントロダクション*
- *LTE技術*
  - *LTEプロトコルとシグナリング*
  - *LTE物理層のチャネル構造*
  - *LTEトランスポートチャネル*
  - *LTE論理チャネル*
  - *LTEレイテンシ*
- *技術がユーザーに与える影響*
- *テストチャレンジ*
  - *OFDM無線テスト*
  - *MIMOテスト*
  - *SAEにおけるテスト要件*
- *参照*
- *3GPP規格リスト*

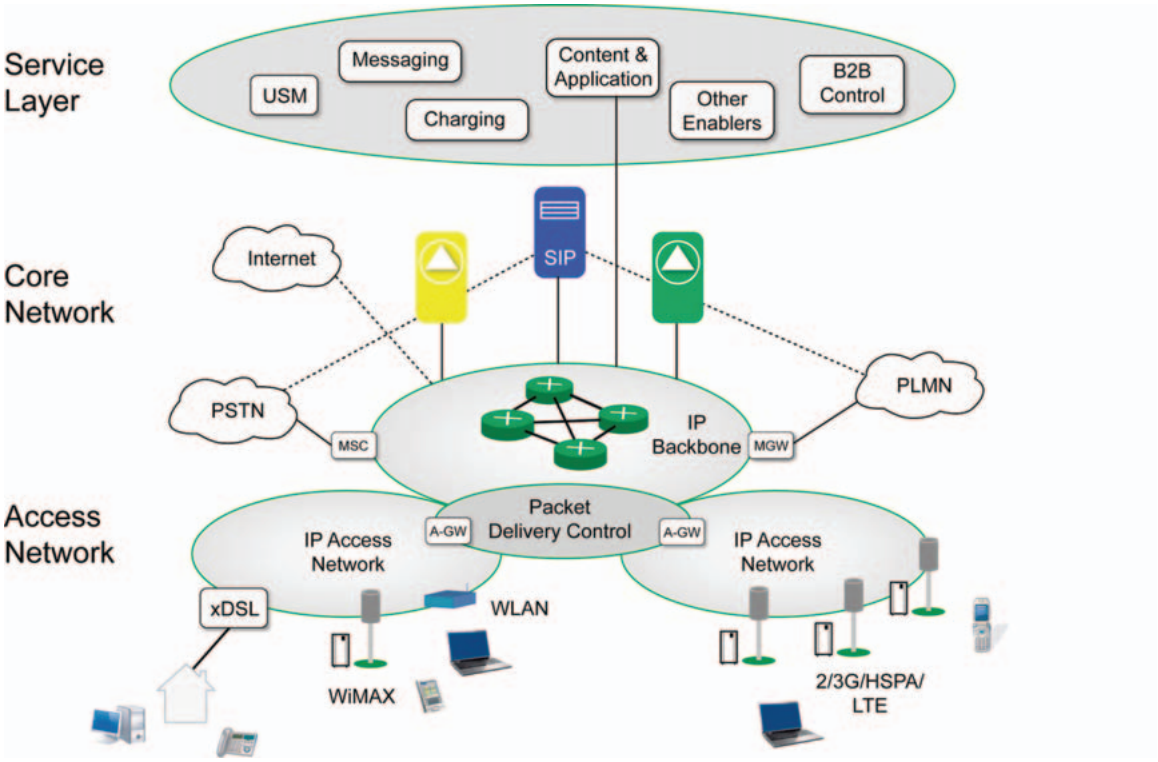
移動体通信業界は現在、移動体ネットワークの進化において、次のステップのための標準規格とソリューションの開発に取り組んでいる。本ペーパーでは、これらのステップに導入されている基本的な無線およびネットワーク技術に着目し、次世代のネットワークであるフィックスド・モバイル・ コンバージェンス（FMC）の中でこれがどのように位置づけられるかに注目する。

Jonathan Borrill

Version 5: July 2009

Fixed Mobile Convergence

Common Network Core. Different access options.



1 フィックスド・モバイル・ コンバージェンス
2 共通ネットワークコア。各種のアクセスオプション
3 PSTN（公衆交換電話網）
4 PLMN（公衆陸上移動網）

FMCの定義

以下に示すFMCの定義は、ETSI FMCのアドホックワークグループドキュメントに基づいている。

「固定と移動の融合（FMC）は、アクセス技術に依存しないネットワークおよびサービス機能の提供が可能になることを意味する。この融合は必ずしもネットワークの物理的な融合を意味するものではない。それは融合されたネットワーク機能と支える標準規格の開発が必要であることを意味する。この標準規格を用いて、固定または移動アクセスによる固定または移動ネットワーク、パブリックまたはプライベートネットワークへの堅実なサービスを提供することができる。

FMCの重要な機能は、ユーザーがどんな固定端末または移動端末からでも、互換性のあるアクセスポイントを経由して一貫性のあるサービスへアクセスすることができるようにすることである。この方式の重要な拡張はローミングが関係する。ユーザーが異なったネットワーク間を移動できるようにし、ホームネットワークで利用可能なように、在圏ネットワークを通して同じ一貫性のあるサービスを利用できるようにすることである。この機能は*仮想ホーム環境*（VHE）と呼ばれている。」

FMCのモチベーション

FMCの背後にあるモチベーションは、ユーザーに使いやすさと望ましいサービスを提供すること、そしてサービスプロバイダがこれを費用対効果の高いネットワークで実現可能にすることである。ユーザーのモチベーションは、以下のような必要とされるサービスが更に便利に利用できるようになることである。

- 移動時における通信の必要性が増加する。したがって移動体通信への要求が増加する
- 従来の固定ネットワークは家庭やオフィスでの継続的なネット環境を提供する
- 同一ネットワーク内およびモバイル接続内の広範囲のサービスが最も重要である
- ターミナルモビリティによって、ユーザーは自分の（個人の）端末を利用することができる。例えば自宅、オフィス内、または外国での旅行先などのどんな場所でも自分の電話を使用することができる
- サービスモビリティはアクセスの種類および場所に関係しない共通のサービスをユーザーに提供する。サービスは「同じルック・アンド・フィール」を持っていなければならない
- パーソナルモビリティとは　ユーザーがどこの場所でも1つ個人の番号で到達可能であるという意味においてはリーチアビリティのことを指す。個人は数種類のリーチアビリティのプロファイル（プライベート、オフィス）を定義することができ、どんな端末からでもプロファイルの変更、特に、自分の呼を到達させたい端末のプロファイルの変更が可能である。

フィックスド・モバイル・コンバージェンス事業者の要件

フィックスド・モバイル・ コンバージェンスの構想を可能にするための主要な要件の1つは、インフラとO&Mシステムを融合させることである。現在、通信事業者がユーザーに対して多様なサービス（ホーム／オフィスに対する固定回線の音声およびデータサービス、移動体の音声およびデータサービス、マルチメディアTVおよびケーブル、双方向型のゲームおよびコンテンツなど）の提供が可能な場合、通信事業者は各サービスに対して別々の運営維持と制御メカニズムの維持を行う必要がある。ユーザーは依然として、携帯電話用のセパレートSIMカード、ケーブル／衛星放送用スマートカード、そして通常、各サービスに対して分離した請求メカニズムを持つことになる。

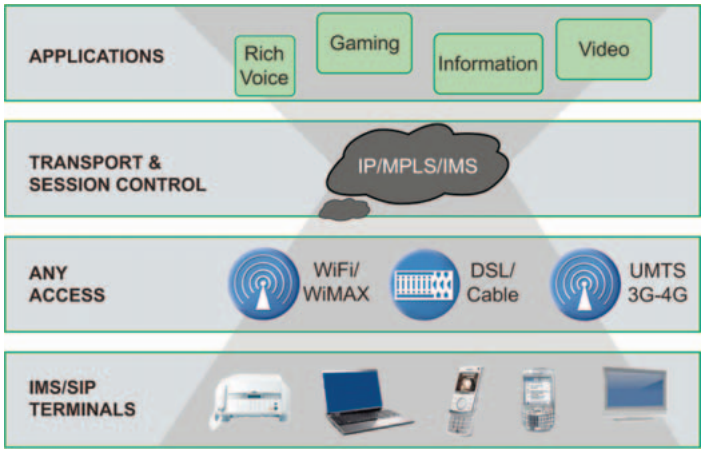
通信事業者が真の「トリプルプレイ」の提供を行いながら融合したサービスを提供するためには、コアネットワークの融合、データ管理、ネットワーク内の顧客管理システムが必要となる。次世代ネットワークおよび将来の移動体通信ネットワークは、サービスプロバイダやネットワーク事業者がこれらを可能にするようなインフラとリソースを提供する方向に進化発展する。

技術上の観点からの**NGN**ネットワーク・トレンド

次世代ネットワークの基本的なトレンドは、オールIPネットワークの方向に向かっている。これによって、たとえサービス要求が増加してもネットワークの単純な拡張で提供が可能となり、新技術の簡単な追加でネットワークへのアクセスが可能となる。通信事業者は伝統的に、ユーザーに多様なサービス（固定電話網、ケーブルTVネットワーク、移動体ネットワーク、xDSLデータネットワークなど）を提供するため、複数ネットワークの構築を行ってきた。しかし、将来に向けて、これら全ての機能を単純な方式で提供することができる単一ネットワークの構築を目指している。

Technical Challenges in Converged Networks.

Converged Networks and Service Transparency



- VoIP/IPTV roll out and migration
- Support of legacy network and applications
- Engineering QoS in the “end to end” network
- Maintain IP Service Quality
- IMS integration
- Access Network Performance
- Seamless Handover
- Interoperability across access networks and terminals

1 融合ネットワークにおける技術チャレンジ
2 融合ネットワークとサービスの透明性
3 VoIP/IPTV展開とマイグレーション
4 レガシーネットワークおよびアプリケーションのサポート
5 「エンドツーエンド」ネットワークにおけるQoSエンジニアリング
6 IPサービス品質の維持
7 IMSインテグレーション
8 アクセスネットワークの性能
9 シームレスハンドオーバー
10 アクセスネットワークおよび端末の相互運用性

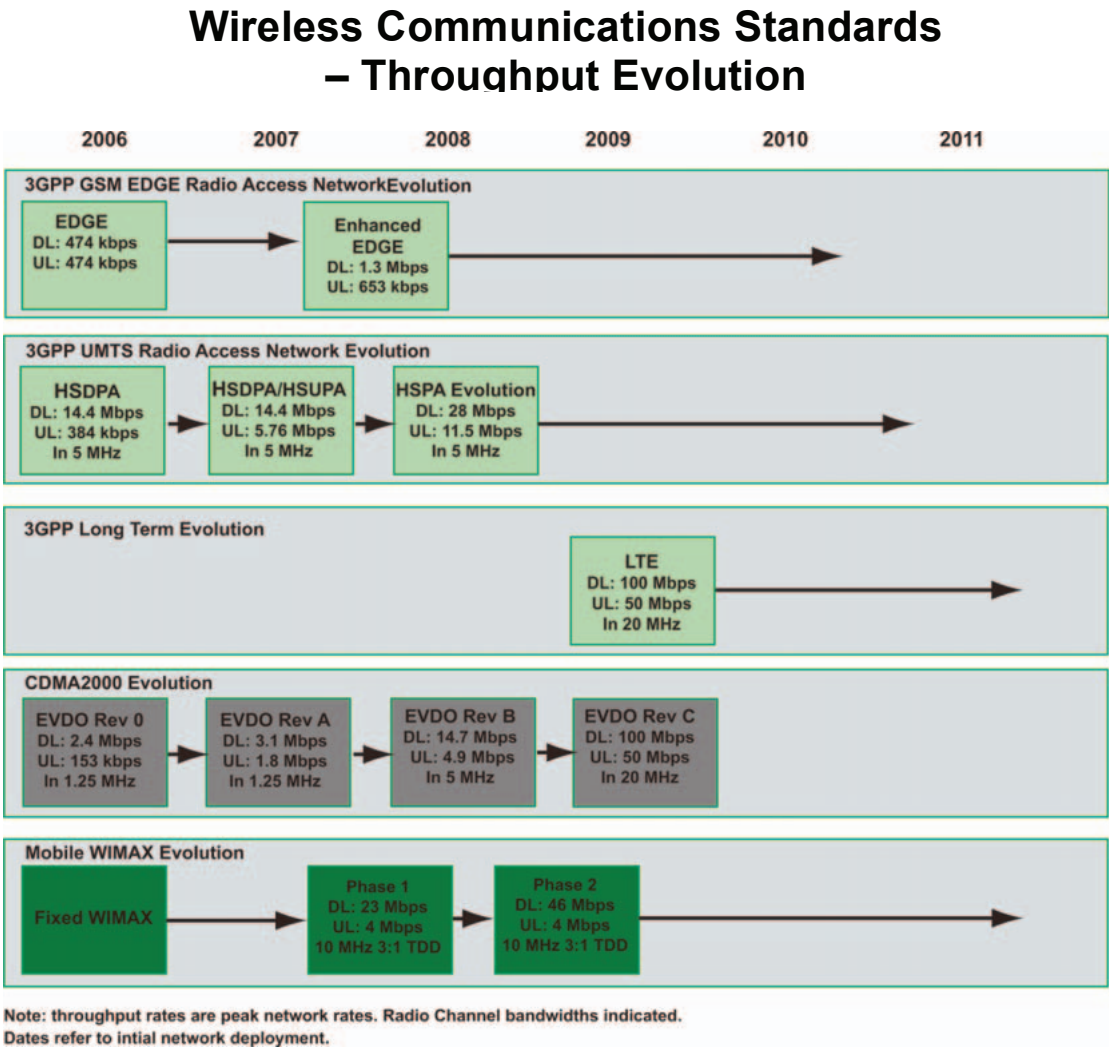
したがって私たちは、NGN実現のためのコアネットワークはオールIPネットワークであると考えている。ここ数年間のIPプロトコルの開発はこの要件を支援してきており、特にIPv6にはこの構想を可能にする機能を含んでいる。IPv6にはアドレス範囲の拡張が含まれ、ネットワーク全体を通して個人に固有のIPアドレスを設定し、ユーザーをサポートするために必要な十分なアドレス提供を可能とする。さらに移動体ネットワークおよびそのネットワークにおいて実現されるべく多種多様のアプリケーションやサービスに対して必要なQoSのサポートを可能とする。

移動体ネットワークはIPマルチメディア・サブシステム（IMS）を通してコアネットワークに接続される。IMSは、移動体ネットワークで必要とされる移動性とルーティング管理を提供し、コアネットワークが移動体ネットワークを別のIPネットワークと見なすようにする。コアネットワークは、ユーザーが移動体ネットワークにおいて無線通信手段を変更する際に、移動性、認証、またはセキュリティコントロールの管理を必要とする。これが今日のネットワークにおける状況である。例えば、WLANアクセスからラップトップ上でのGPRSデータカードへの変更は、各ネットワークにおいて完全な接続、登録、および認証を必要とし、その後、一方から他方への切換えを手動で行う必要がある。モバイル機器が両方のアクセス技術をサポートする場合でさえ、ユーザーが変更を認識することなくデータフローが2つのアクセス技術の間でシームレスに受け渡されることはない。IMSは、課金、認証、およびセキュリティアクセスコントロールの管理を含む、マルチプルアクセス技術間でこのシームレスの受け渡しを可能にする。IMSはまた、セッション・イニシエーション・プロトコル（SIP）を用いて、携帯機器とコアネットワーク間の迅速な接続をも可能にする。これが移動体ネットワークをIPネットワークのように感じさせるためのキーとなる技術である。固定ネットワークがデータセッションの初期設定をミリ秒で実施する場合、現状の無線ネットワークはこ

の設定のために拡張された時間間隔（一般的に1～15秒）が必要となっている。移動体ネットワークは現在オールIP化に移行中であり、混在した技術シナリオにおいても簡単に展開することが可能となり、多数の各種個別ネットワークの管理および維持が必要なくなる。

移動体ネットワークの個々のアクセス技術もまた、データレートの高速化とスペクトル効率の向上に向けて進化している。さらに、それぞれのアクセス技術には多様な展開シナリオがあるので、通信事業者は必要に応じてネットワークリソースを最適化し、マルチプルアクセス技術を単一ネットワークに加えることができる。この例がショートレンジの固定ユーザー（空港ラウンジなど）向けWLANホットスポット、静止した広範囲をカバーするWiMAX、および高速モバイルアクセス用HSPAの利用である。

モバイルアクセスネットワークはこのNGN構想へ貢献するために発展を続けており、下図において私たちは、このネットワークにおけるキーとなる新技術の進化を見ることができる。



1　無線通信規格－スループットの進化
2　注記：スループットレートはピークネットワークレートである。無線チャネル帯域幅は指示通り。
3　年代は最初のネットワーク展開時を参照。

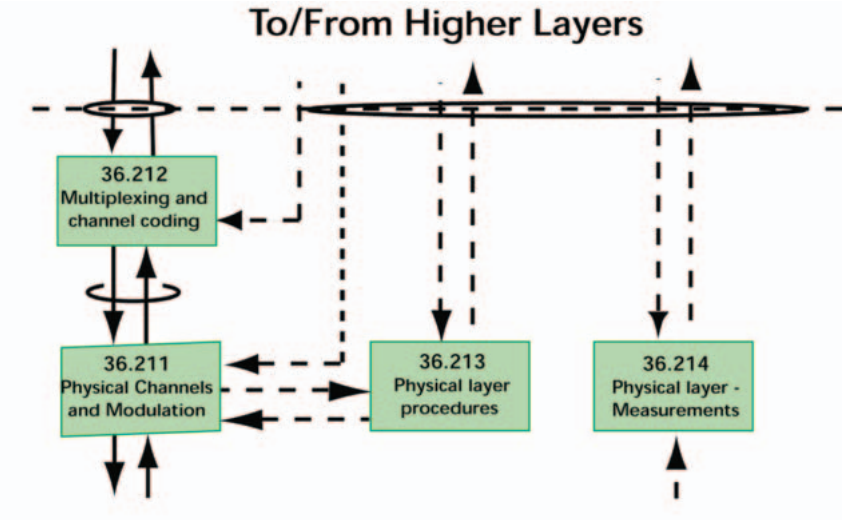
総合的なNGNネットワーク要件、およびトップレベル技術とそのためのユーザー要件を考慮すると、次に私たちは移動体通信のための3GPPネットワークの進化に注目することになるであろう。

LTE/SAEイントロダクション

3GPPのRelease 7には、エアインタフェースのデータレートを高速化するための伝送技術として、MIMOおよび64QAMを導入するためのスタディアイテムが含まれている。また、IMSのフェーズ2ではオールIPネットワーク機能が盛り込まれている。これは、5MHz WCDMA技術をベースとする現在の3Gネットワークに対して、データレートとデータ容量の点で実用限界に達するであろう。Release 7は現在のHSPAネットワークのアップグレードとして設計されており、「HSPA+」または「HSPA Evolution」と呼ばれることもある。データレートを高速化するためのマルチキャリア技術の採用、そしてデータレートの高速化と低遅延化を行うシグナリングの更なる向上により、WCDMAはRelease 8以降も依然として進化を続けるであろう。

5MHz WCDMAシステムの制限を通過するために、3GPPは現在、新しい移動体ネットワークのための規格を策定中である。これが次世代の移動体ネットワーク用の規格であり、ロング・ターム・エボリューション（LTE）とシステム・アーキテクチャ・エボリューション（SAE）と呼ばれている。また、これは広帯域化と高データレート化への継続移行における次のステップである。LTEとSAEは3GPP内において、36.xxxシリーズ仕様の中のRelease 8バージョン仕様の一部として規定されている。LTEは新しく「進化した」無線インタフェースとアクセスネットワーク（E-UTRAN – 進化型ユニバーサル・テレストリアル・ラジオ・アクセス・ネットワーク）になるものの、3GPP内において同様に進化をし続けるWCDMA（UTRAN）と共存するであろう。LTE/SAEの全体についてはTS 36.300に記載されており、アーキテクチャはTS 36.401に記載されている。E-UTRANもまた、3GPP Release 9において更なる進化を遂げ、その後、1GB/sのデータレート化に向けてRelease 10 & Release 11としてIMT-Advancedへと移行していくであろう。

LTEの物理層の仕様は、概要（TS 36.201）と4つのセクション（TS 36.211 ～ 36.214）で構成される。上位層との関連における物理層仕様間の関係を以下に示す。



1　上位レイヤへ／上位レイヤから

- TS 36.201：物理層 – 概要
  レイヤ1（TS 36.200シリーズ）、LTEレイヤ1の概要について記載。

- TS 36.211：物理チャネルと変調
  レイヤ1の物理チャネルの特性、物理層の信号および変調の生成について記載。
  アップリンクとダウンリンクの物理チャネルの定義、および物理チャネル、フレーム形式、物理リソースエレメントなどの構造について記載。

- TS 36.212：多重化とチャネルコード化
  多重化、チャネルコード化方式、およびインタリーブを含む、トランスポートチャネルと制御チャネルのデータ処理について記載。

- TS 36.213：物理層プロシージャ
  物理層プロシージャの特性について記載。

- TS 36.214：物理層 – 測定
  物理層測定の特性について記載。

目的：

上述の通り、LTE/SAEの目的はIPマルチメディア・サブシステムを通して、NGNとフィックスド・モバイル・ コンバージェンスをサポートすることである。ユーザーにとって、常時接続された高速ネットワークのユーザー体験が可能であること、モバイル環境でありながらADSLホームネットワークのように感じることができることを意味する。通信事業者／サービスプロバイダにとっては、単純で展開に対する費用対効果が高い統合ネットワークの提供が可能であること、そして、カスタマケア、請求、ネットワーク管理のコアネットワークへの統合が可能であることを意味する。

そのための主要な課題は以下の通りである。

- データレートを真のxDSLレート（VDSL2+ 技術によって提供される 25～100 Mb/s）に到達させる
- 接続設定時間が「常時接続」のような瞬間的感触であること
- 通信業者の技術に影響されることのない、インターネットアプリケーションのシームレス統合化
- 費用対効果の高いネットワークインフラの構築、魅力的なユーザー端末の提供

将来のネットワークが単一のIPネットワークに統合されると同時に、通信事業者／サービスプロバイダによって、単一のネットワーク上に様々な種類のサービスが提供される。そして、ネットワーク上に置かれるサービスの種類とその要求を差別化するための要件が生じてくる。主要な要件の一つは各種サービスに対して、クオリティ・オブ・サービス（QoS）の要件を指定することができることである。これによって、移動体ネットワークをユーザー／アプリケーションの要求に従って構成することが可能となる。QoSはネットワークに対して、ネットワーク上のユーザーに各種データリンクの優先順位をどのように付けるべきか、さらに全てのユーザーとアプリケーションが正常に機能するためには容量をどのように管理すべきかを指示することができる。一般的に、QoSは必要なデータレートまたは最小データレート、さらに必要なエラー制御と再伝送手順を指定することができる。下表は、サービスの種類とそれに対応するネットワーク内のQoSと遅延時間について、その要求例を示すものである。

サービスのクラス	帯域幅	遅延時間	QoS要求	例
会話型	低－中	低	保証	VOIP/ビデオコーリング
ストリーミング	高	低	保証	IPTV、 マルチメディアストリーミング
ブラウジング	低－中	普通	ベストエフォート	ウェブブラウザ
バックグラウンド	中	普通	最小	Eメール同期化
ブロードキャスト	高	低	保証	マルチキャスト

新技術：

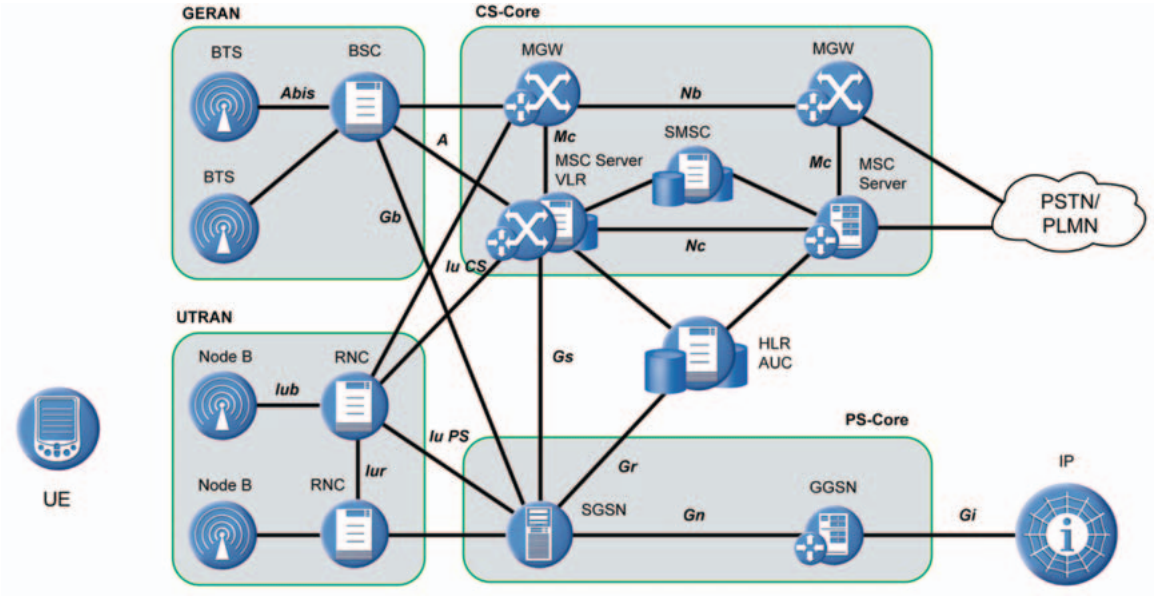
私たちが検討を行う2つの技術はLTE（ロング・ターム・エボリューション）とSAE（システム・アーキテクチャ・エボリューション）である。これら2つの技術は移動体ネットワークにおいて、それぞれ無線アクセスネットワーク（RAN）とコアネットワーク（CN）の今後の要件を扱うものである。これらは現在、進化型ユニバーサル・テレストリアル・ラジオ・アクセス・ネットワーク（E-UTRAN）と進化型パケットコア（EPC）として知られている。

最初に、新しいネットワークおよび技術の全体的なアーキテクチャを理解するため、SAEの側面に注目し、次に、LTEの無線ネットワークをより詳しく調査する。

SAE技術

SAEは、ネットワークを簡素化し、移動体ネットワークのシームレスインテグレーションを他のIPベース通信ネットワークに提供するためのネットワークアーキテクチャでありデザインである。SAEは新しい進化型ノードB（eNB）とアクセス・ゲートウェイ（aGW）を用いて、同等の3GネットワークアーキテクチャからRNCとSGSNを削除して移動体ネットワークをより簡素にする。これによって、ネットワークを「フラットオールIP」ベースのネットワークアーキテクチャとして構築することが可能となる。SAEはまた、他の関連するワイヤレス技術（WCDMA、WiMAX、WLANなど）と共に完全なインターワーキング可能とするエンティティを含んでいる。これらのエンティティは特に、ネットワークに直接インタフェース接続する非3GPP技術を管理し、容認することができる。また、このエンティティを同じネットワーク内から管理することができる。

参考として、下記に示される現在の3Gネットワークアーキテクチャを見てみる。まず第一に、パケットネットワークのみで示されていることに気が付く。これはSAEがパケットベースのみになるためである。現在のフル3GPPネットワークには回線交換ネットワークが含まれている。この回線交換要素は、1990年代からのオリジナルGSM音声ネットワークアーキテクチャの進化版である。NGNの目的の1つは、分離した回線交換ネットワークを使用するよりはむしろ音声サービスを提供するVoIP技術を用いて、この古いレガシーネットワークから単一のオールIPネットワークに移行することであった。

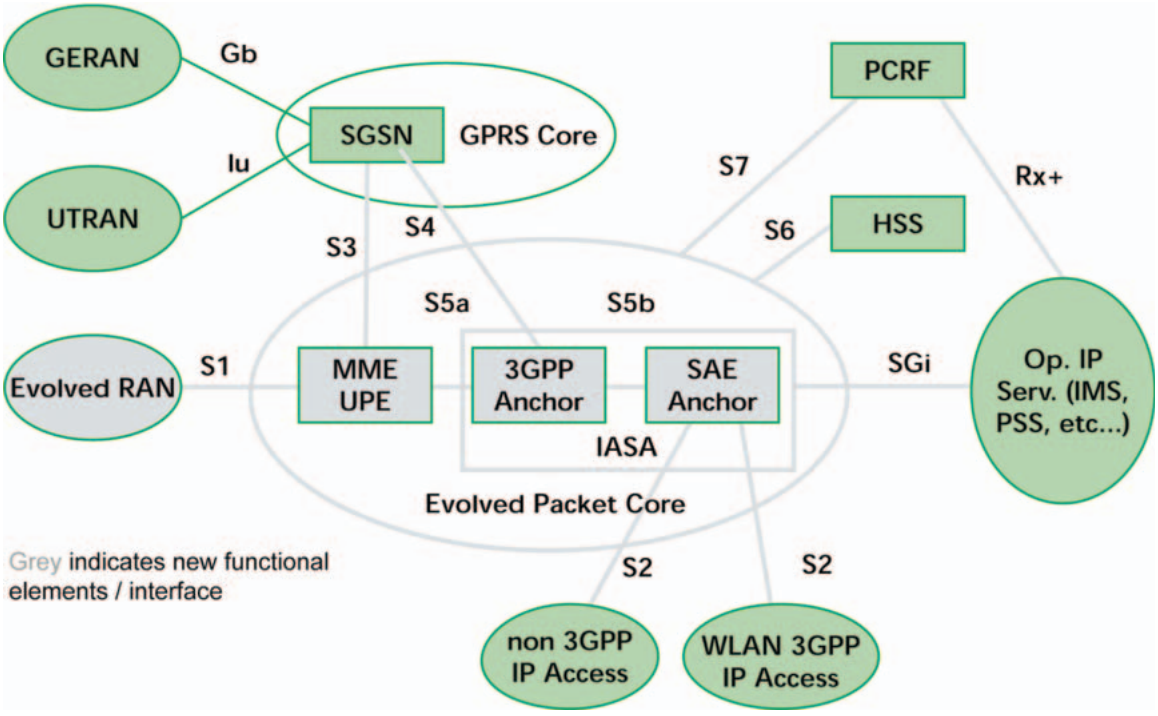


1. PSTN/PLMN（公衆交換電話網／公衆陸上移動網）
2. BTS（基地局）
3. BSC（基地局制御装置）
4. BTS（基地局）
5. Node B（ノードB）

6. RNC（無線ネットワーク制御装置）
7. MGW（メディアゲートウェイ）
8. MGW（メディアゲートウェイ）
9. SMSC（ショートメッセージサービスセンタ）
10. MSCサーバ／VLR（ビジターロケーションレジスタ）
11. MSCサーバ（移動通信交換局サーバ）
12. HLR（ホームロケーションレジスタ）
    AUC（認証センタ）
13. l SGSN（汎用パケット無線サービスサポートノード）
14. m GGSN（ゲートウェイ汎用パケット無線サービスサポートノード）

この古いパケットネットワークはGGSN（外部ネットワークに対するゲートウェイ）とSGSN（無線ネットワーク内のモビリティとルーティングを管理する）をベースにしている。このネットワークから補完的なアクセス技術として利用の可能性がある他のどんなネットワークに対しても直接のリンクは存在しない。そのため、WLANまたはWiMAXネットワークへリンクするためには、パブリックネットワーク（PDN）か、通信事業者が自身のネットワーク向けに実施する場合がある一部の独占IMSサブシステムのいずれかを通して接続する必要がある。いずれにしても、これは無線通信の将来のニーズを満足することが可能な単純かつ拡張可能なアーキテクチャを提供するものではない。

Future network architecture – generic



1 一般的な将来のネットワークアーキテクチャ
2 PCRF（ポリシーおよび課金ルール機能）
3 MME/UPE（移動管理機能／ユーザープレーン機能）
4 HSS（ホーム加入者サーバ）
5 色分け：赤字は新しい機能要素／インタフェースを示す
6 3GPP アンカー
7 3GPP アンカーは、2G/3Gアクセスシステムと LTEアクセスシステム間のモビリティを実現するため、ユーザープレーンを強く結び付ける機能的なエンティティである。

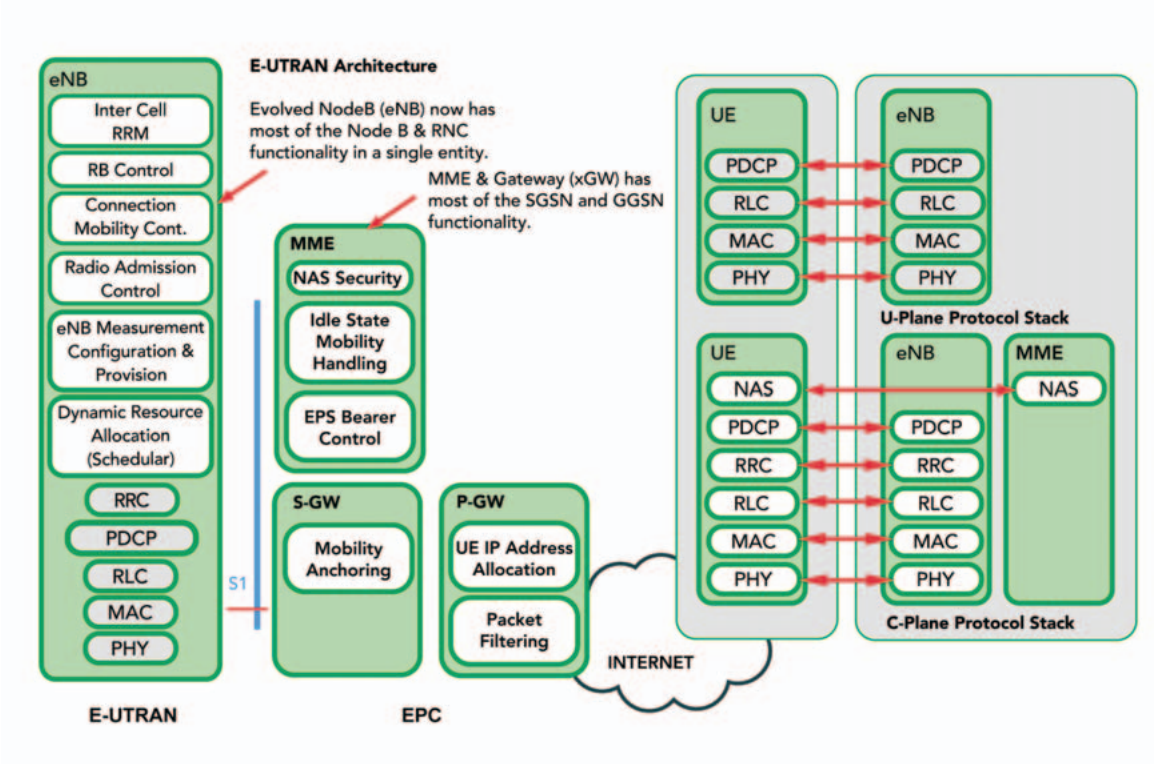
8 SAE アンカー

9 SAE アンカーは、3GPPアクセスシステムと非3GPPアクセスシステム間のモビリティを実現するため、ユーザープレーンを強く結び付ける機能的なエンティティである。

将来のSAEに対して、それは進化型パケット・コア（EPC）で構成されると考えられる。EPCは現在の3GPPネットワークに比べて単純化され、他の無線ネットワークとの直接接続および拡張が可能な特定の機能を持っている。「S2」インタフェースは、通信事業者が移動体ネットワーク内のモビリティ、ハンドオーバー、請求認証、セキュリティなどの重要な機能を管理しながら、他のIPベースアクセス技術にネットワークを拡大することを可能とする。EPCは「S1」インタフェースを用いて、無線アクセスネットワークとの接続を行う。また、EPCは「S3」インタフェースを用いて、古い3GPP GPRSネットワークへのハンドオーバーをサポートするためSGSNを介してデータ接続を行う。

EUTRANネットワークはeNBとaGWの2つの物理的要素に分割される。これはRNCと同等の装置が完全に排除された形で、以前の3Gネットワークに比べてかなり簡素化された構成である。この結果、フロー制御とRNCのデータ管理機能の大半がeNB内に配置されることになる。eNBはまた、再伝送とリンク適応制御をより迅速化させるため、伝送サイトで全ての伝送関連問題を管理することができる。これまでこれらの制御は、ネットワークを通してRNCへ受け渡されていたが、これによるさらなる追加のラウンドトリップディレイが生じていた。今回のこの簡素化により、応答時間（スケジューリング、再伝送などに対する）の迅速化が可能となり、ネットワークのレイテンシとスループットの向上が見込まれる。aGWはネットワークを通して全てのモビリティとルーティング、さらには、認証および請求データベースへのリンクをも管理する。

LTE Radio Access Network – Physical elements



1 LTE無線アクセスネットワーク ー 物理要素

2 E-UTRANアーキテクチャ

3 Evolved NodeB（eNB）がNode BとRNC機能の大半を単一のエンティティに有するようになる。
4 MMEとゲートウェイ（xGW）がSGSNとGGSN機能の大半を有する。

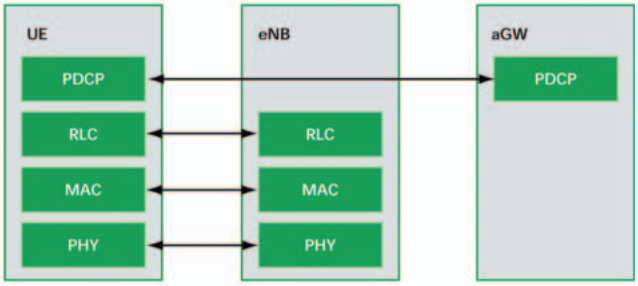
上図はネットワークの機能性をeNBとEPC（進化型パケット・コア）へ物理的に分割した結果を示す。EPCはゲートウェイの制御部分とモビリティ・マネジメントの部分で構成される。前者はeNBと外部ネットワーク間のユーザーデータ転送のためのパイプの役割を果たし、後者はモビリティの管理とeNBへのデータの適切なルーティングを行う。ここで、eNBに含まれる従来NodeBとRNCの機能を見ることにする。図の右側に、ユーザープレーンおよび制御プレーンのシグナリングに対する基本的なプロトコルスタックを示す。

次の図において、様々な要素のプロトコルスタックへの分割、そしてeNodeBとMME間の分離、さらにユーザープレーンと制御プレーンのシグナリング間の相違を見ることができる。両方の場合において、UEとeNB間でPDCPレイヤまでの完全なシグナリングが行われるのを見て取ることができる。これが以前のネットワークとの重要な相違である。以前のネットワークでは、より高いレイヤのシグナリングがネットワークを通してRNCまたはMSCなどの他のネットワーク要素に戻って中継されていた。この変更により、シグナリングメッセージがネットワークを介すことなく中継されるため、応答性がはるかに速くなることを意味し、LTE/SAEネットワークにおけるレイテンシの大幅短縮にも貢献する。

LTE Radio Access Network – Protocol elements

User Plane

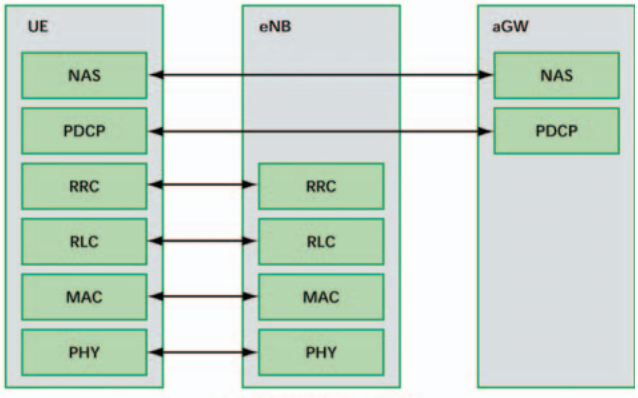
- RLC and MAC sublayers (terminated in the eNB on the network side) perform the functions such as:
  - Scheduling; ARQ; HARQ
- PDCP sublayer (terminated in aGW on the network side) performs for the U-plane the functions such as:
  - Header compression;
  - Integrity Protection (to be determined during WI phase)
  - Ciphering



U-plane Protocol Stack

C Plane

- RLC and MAC sublayers (terminated in eNB on the network side) perform the same functions as for the U-plane;
- RRC (terminated in eNB on the network side) performs functions such as:
  - Broadcast; Paging; RRC; connection management;
  - RB control; Mobility functions; UE measurement reporting and control.
- PDCP sublayer (terminated in aGW on the network side) performs for the C-plane functions such as:
  - Integrity Protection; Ciphering.
- NAS (terminated in aGW on the network side) performs among other things:
  - SAE bearer management; Authentication;
  - Idle mode mobility handling;
  - Paging origination in LTE_IDLE;
  - Security control for the signalling between aGW and UE, and for the U-plane.



C-plane Protocol Stack

1 新しい無線アクセスネットワークープロトコル要素
2 ユーザープレーン
3 RLCとMACサブレイヤ（ネットワークサイドのeNBで終端）は次の機能を実行する。
  – スケジューリング、ARQ、HARQ

4 RDCPサブレイヤ（ネットワークサイドのeNBで終端）はユーザープレーン用として次の機能を実行する。
- ヘッダ圧縮
- 完全性保護
- 暗号化

5 制御プレーン

6 RLCとMACサブレイヤ（ネットワークサイドのeNBで終端）はユーザープレーン用と同じ機能を実行する。

7 RRC（ネットワークサイドのeNBで終端）は次の機能を実行する。
- ブロードキャスト、ページング、RRC接続管理
- RB制御、モビリティ機能、UE測定レポートと制御

8 RDCPサブレイヤ（ネットワークサイドのeNBで終端）は制御プレーン用として次の機能を実行する。
- 完全性保護、暗号化

9 NAS（ネットワークサイドのeNBで終端）は特に次の機能を実行する。
- SAEベアラ制御、認証
- アイドルモードモビリティの処理
- LTE_IDLEにおけるページングオリジネーション
- aGWとUE間のシグナリング、およびユーザープレーンに対するセキュリティ管理

機能の論理的分割を次の図に示す。aGWが複数のS1インタフェースを介して複数のeNBをサポート可能であることが分かる。そのため、aGWの制御プレーンはネットワークのモビリティに関して責任を負うことになる。ネットワークの論理的要素に着目した場合、aGWに2つの主要な要素があることが分かる。これらがユーザー・プレーン・エンティティ（UPE）とモビリティ管理エンティティ（MME）である。

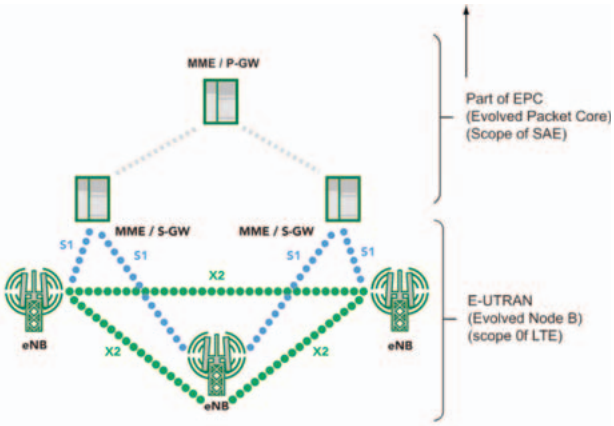
LTE Radio Access Network – Logical elements

The eNB hosts the following functions:
- Functions for radio resource management; radio bearer control, radio admission control, connection mobility control, dynamic allocation of resources to UEs in both uplink and downlink (scheduling);
- IP header compression and encryption;
- Routing of user plane data towards server gateway;
- Measurement and reporting for mobility and scheduling.

The MME hosts the following functions:
- NAS signalling; -NAS signalling security; AS security control;
- Inter CN node signalling for mobility between 3GPP access networks;
- Idle mode UE reachability

The Serving Gateway (S-GW) hosts the following functions:
- The local mobility anchor point for inter-eNB handover;
- Mobility anchoring for inter-3GPP mobility;
- E-UTRAN idle mode downlink packet buffering and initiation of network triggered service request procedure;
- Transport level packet marking in the uplink and the downlink

the PDN Gateway (P-GW) hosts the following functions:
- Per-user based packet filtering (by e.g. deep packet inspection)
- UE IP address allocation;
- UL and DL service level charging, gating and rate enforcement
- DL rate enforcement based on AMBR;



1 LTE無線アクセスネットワーク－論理的要素
2 eNBには次の機能がある。
3 無線リソース管理、無線ベアラ制御、無線アドミッション制御、接続モビリティ制御、アップリンクとダウンリンクの両方でのUEに対する動的リソース割り当て（スケジューリング）
4 IPヘッダの圧縮と暗号化
5 ユーザー・プレーンデータのサービング・ゲートウェイへのルーティング

6 モビリティとスケジューリングに対する測定と報告
7 MMEには次の機能がある。
8 NASシグナリング、NASシグナリングセキュリティ、ASセキュリティ制御
9 3GPPアクセスネットワーク間のモビリティに対するインターCNノードのシグナリング
10 アイドルモードUEのリーチアビリティ
11 PDN GWとサービングGWの選択、ハンドオーバーのためのMME選択
12 ローミング、認証
13 専用のベアラ確立を含むベアラ制御機能
14 サービング・ゲートウェイ（S-GW）には次の機能がある。
15 インターeNBハンドオーバーのためのローカルモビリティアンカーポイント
16 インター3GPPモビリティのためのモビリティアンカー化
17 E-UTRANアイドルモードダウンリンクパケットのバッファリングとサービスリクエストプロシージャによるネットワークの開始
18 アップリンクとダウンリンクにおけるトランスポートレベルパケットのマーキング
19 PDNゲートウェイ（P-GW）には次の機能がある。
20 各ユーザーベースのパケットフィルタリング（ディープパケットインスペクションなどによる）
21 UE IPアドレスの割り当て
22 ULとDLサービスレベルのチャージング、ゲーティング、レートの実施
23 AMBRに基づくDLレートの実施
24 EPCの役割（進化型パケットコア）（SAEの範囲）
25 E-UTRAN（進化型Node B）（LTEの範囲）

MMEはeNBの管理とeNBへのページングメッセージの分配に責任を持つ。これよってネットワーク内のモビリティ管理が可能となる。これは、関連するユーザーと接続されるそれぞれのeNBにデータ制御情報を配置し、ページングメッセージが適切に分配されることで行われる。UPEは適切なeNBへの、またはeNBからのユーザーデータのルーティングとデリバリに責任を持つ。このことは、データが適切なeNBに流れることを確実にするために、さらにデータがeNBスケジューリングアルゴリズムによって要求されるエンドユーザーID、QoSなどに対して正しい情報で流れることを確実にするため、ユーザーデータIPヘッダとルーティングをMMEで管理するということを意味する。

UPEはまた、eNBを通してユーザーから入ってくるページングメッセージに対して、プロトコルスタックの終端を提供する。これは、ページングメッセージが移動体ネットワーク内のモビリティとアクセスリクエストに関係し、ネットワークから外部のアプリケーションに移行されるデータには関係しないからである。そのため、動作すべき機能を許可するプロトコルスタックの終端は正しくなければならない。モビリティとアドミッション制御がaGWから管理されるため、これらの機能に対するプロトコルスタックはここで終端される。

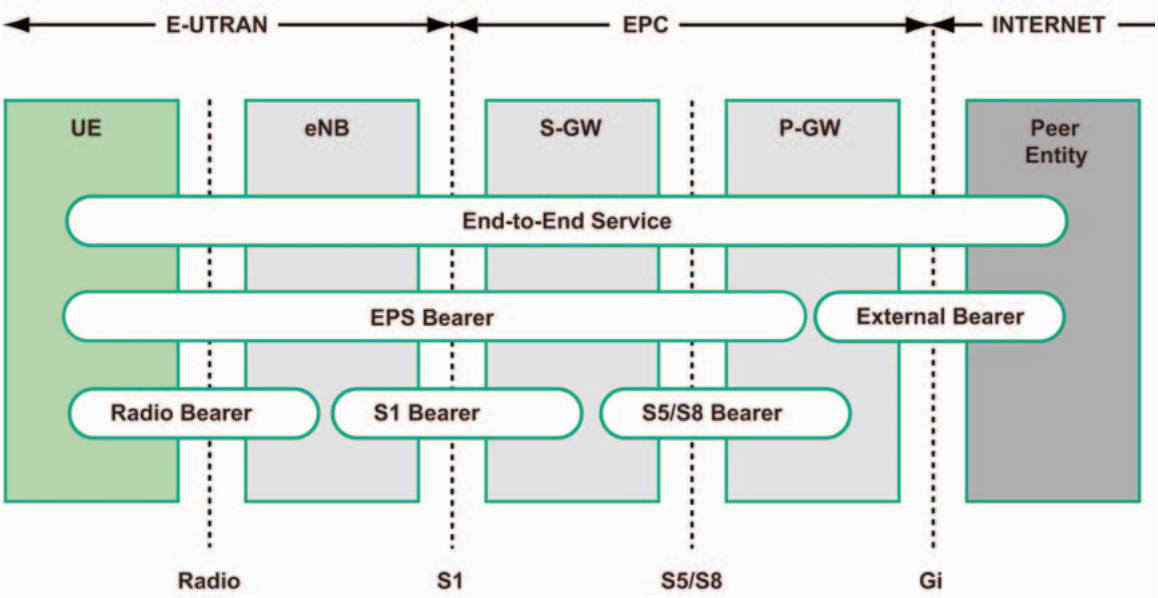
<u>ベアラ・サービス・アーキテクチャ</u>
LTE/SAE ネットワークによるエンドツーエンドの接続性はベアラサービスを介して行われる。また、ネットワークを通して「最高位」の接続性を記述する。

- 無線ベアラは UE と eNB 間の EPS ベアラのパケットを転送する。EPS ベアラと無線ベアラ間に 1 対 1 のマッピングが存在する。
- S1 ベアラは eNodeB とサービング GW 間の EPS ベアラのパケットを転送する。
- S5/S8 ベアラはサービング GW と PDN GW 間の EPS ベアラのパケットを転送する。
- UE はアップリンクパケットフィルタと無線ベアラ間のマッピングを保存し、アップリンクにおいて SDF と無線ベアラ間を結合する。

-PDN GW はダウンリンクパケットフィルタと S5/S8a ベアラ間のマッピングを保存し、ダウンリンクにおいて SDF と S5/S8a ベアラ間を結合する。

- eNB は無線ベアラと S1 間の 1 対 1 のワンマッピングを保存し、アップリンクとダウンリンクの両方において無線ベアラと S1 ベアラ間を結合する。

- サービング GW は S1 ベアラと S5/S8a ベアラ間の 1 対 1 のマッピングを保存し、アップリンクとダウンリンクの両方において S1 ベアラと S5/S8a ベアラ間を結合する。



LTE 技術

LTEに対する目標性能

3Gネットワークの進化版を規定するプロジェクトが開始された際、性能設計目標としてネットワーク事業者らによって以下の目標が設定された。これらの目標に対して、様々な組織によって様々なソリューションが開発され、3GPPに対して提案された。その後、3GPPは提案を検討し、各々の性能評価を行い、その結果を踏まえた今後のLTEの基盤となる方式の推奨案を作成するために研究を行った。

ピークデータレート

20 MHz のダウンリンク周波数割り当ての範囲内で瞬間的なダウンリンクのピークデータレートが100 Mb/s（5 bps/Hz）

20 MHzの アップリンク周波数割り当ての範囲内で瞬間的なアップリンクのピークデータレートが50 Mb/s（2.5 bps/Hz）

制御プレーンのレイテンシ

Release 6アイドルモードなどのキャンプオン状態からRelease 6 CELL_DCH などのアクティブ状態までの遷移時間が100 ms未満

Release 6 CELL_PCHなどのドーマント状態からRelease 6 CELL_DCH などのアクティブ状態までの遷移時間が50 ms未満

制御プレーンの容量

5 MHzまでの周波数割り当てに対して、アクティブ状態でセル当たり200ユーザー以上をサポートできること

ユーザープレーンのレイテンシ

小さなIPパケットに対して、アンロード状態（シングルデータストリームでシングルユーザー）で5 ms未満

ユーザースループット

ダウンリンク：1MHz当たりの平均ユーザースループットがRelease 6 HSDPAに対して3～4倍
アップリンク：1MHz当たりの平均ユーザースループットがRelease 6の強化版アップリンクに対して2～3倍

周波数利用効率

ダウンリンク：負荷のかかったネットワークにおける周波数利用効率の目標（bits/sec/Hz/サイト）は、Release 6 HSDPAに対して3～4倍
アップリンク：負荷のかかったネットワークにおける周波数利用効率の目標（bits/sec/Hz/サイト）は、Release 6の強化版アップリンクに対して2～3倍

移動性

E-UTRANは、0～15 km/hの低速移動速度に最適化されること
15～120 km/hの高速移動速度も高性能条件としてサポートすること
セルラーネットワークを越える移動性は120～350 km/hの速度（または周波数帯域に応じて500 km/hまで）を維持すること

受信範囲

上記のスループット、周波数利用効率、移動性の目標は、5 kmセルに対して満足すること。30 kmセルに対してはわずかな低下に抑えること。セル範囲100 kmまで対応可能なこと

拡張版マルチメディア・ブロードキャスト・マルチキャスト・サービス (MBMS)

端末の複雑さ減少させながら：同じ変調、コーディング、マルチプルアクセスアプローチ、ユニキャストオペレーションよりも大きなUE帯域幅
同時の専用音声とユーザーへのMBMSサービスの提供
ペアおよび非ペア帯域の割り当てが可能であること

帯域幅の柔軟性

E-UTRAはアップリンクとダウンリンクの両方において、1.25 MHz、1.6 MHz、2.5 MHz、5 MHz、10 MHz、15 MHz、20 MHzなどの各種の周波数割り当てに対応可能なこと。ペアおよび非ペア帯域での対応をサポートすること
システムは、同じ帯域および異なった帯域、アップリンクおよびダウンリンクの両方、そして隣接および非隣接チャネルの両方における無線帯域リソース（パワー、適応スケジューリングなども同様に）など、リソース全体にわたってコンテンツ配信のサポートが可能であること。「無線帯域リソース」は事業者が利用可能な全ての周波数として定義される。

3GPP無線アクセス技術（RAT）による共存およびインターワーキング

同じ地理的領域における共存と隣接チャネルのGERAN/UTRANによるコロケーション
E-UTRANターミナルサポーティングさらにUTRANおよび／またはGERANオペレーションが3GPP UTRANと3GPP GERANの両方の測定およびハンドオーバーがサポート可能であること
E-UTRANとUTRAN（またはGERAN）との間のリアルタイムサービスのハンドオーバー中の中断時間が300 ms未満であること

アーキテクチャおよびマイグレーション

シングルE-UTRANアーキテクチャ
リアルタイムおよび会話型クラスのトラフィックをサポートするサポートシステムに対して提供されるべきであるが、E-UTRANアーキテクチャはパケットベースであること
E-UTRANアーキテクチャは「シングルポイントオブフェイラー」の発生を最小限に抑えること
E-UTRANアーキテクチャはエンドツーエンドQoSをサポートすること
バックホール通信プロトコルを最適化すること

無線リソース管理要件

エンドツーエンドQoSのための強化されたサポート
上位層伝送のための効果的なサポート
異なった無線アクセス技術を越えた負荷分散とポリシー管理のサポート

複雑性

オプション数の最小化
必須機能の重複がないこと

その結果、LTEがデータレートの高速化（50～100 Mbit/s/s）および接続時間の迅速化の実現に向けて、新しい無線アクセス技術に注目していることが分かる。3GPPが選択した技術ソリューションは、OFDMAアクセス技術および高レート（64QAM）変調を伴うMIMO技術を用いる。LTEは共有チャネルデータ、HARQ、および高速リンク適応（AMC 適応変調符号化）のスケジューリングに対して、HSPA（現在のRelease 6 3GPPネットワークにおける）と同じ原理を用いる。この技術によって通信事業者の要求（速度、容量など）に従って、セル性能が最高になるようにネットワークを動的に最適化することが可能となる。

様々な産業用プロトコルの進化の後、新しい完全なエアインタフェースの一部として、OFDMAベースのアプローチに導入するため、推奨案が作成された。これに対する論理的根拠は「進化」よりもむしろ「革命」を選択することであった。それは、長期間にわたって、この新しいエアインタフェースが必要なデータレートを提供することができ、相対的に低コストで電力効率の高いハードウェアに導入できる能力を備えていると考えられるからである。WCDMAに対する更なる強化版をベースとした「進化型」アプローチもまた、技術要件を満足することができるだろうと考えられたが、これを改善するための技術要求は消費電力、処理能力などを考慮した場合、携帯用機器には適しない可能性がある。OFDMベースの技術は要求される高速データレートをより簡単に実現することができる。

選択された技術性能はモデル化されており、LTE要求仕様に記載されている最初の要件に適合すると予測されている。

LTEエアインタフェースの主な機能を以下に示す。

ダウンリンク

- QPSK、16QAM、 64QAM変調によるOFDMAベースのアクセス
- ダウンリンク多重化
- MIMOおよび送信ダイバーシチ
- 拡張版MBMS
- スケジューリング、リンク適応、HARQ、3.5Gにおける測定

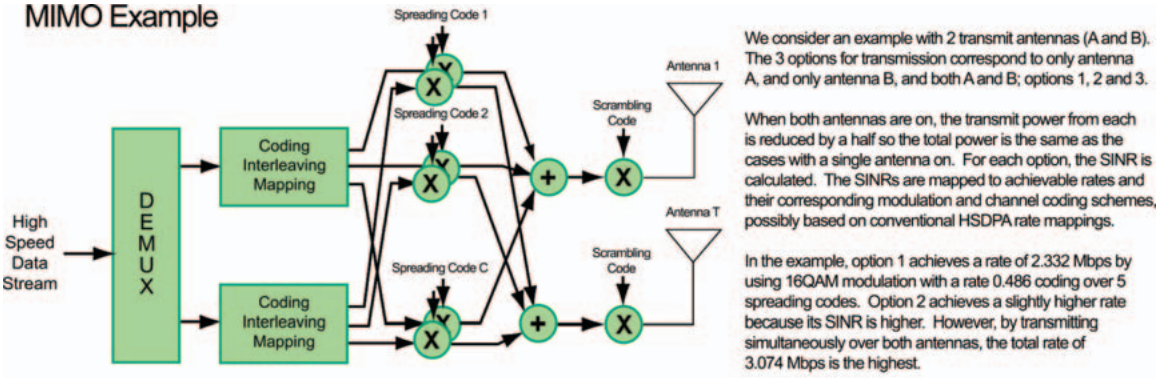
アップリンク

- BPSK、QPSK、8PSK、16QAM変調によるシングル・キャリアFDMAアクセス
- 送信ダイバーシチ
- スケジューリング、リンク適応、HARQ、3.5Gにおける測定
- ランダム・アクセス・プロシージャ

マルチプル・インプット・マルチプル・アウトプット（MIMO）

- 基地局送信機と端末受信機の双方において複数のアンテナを採用
- 送信機と受信機において複数のアンテナが利用可能な場合、コードリユースとして知られる技術を用いて、ピークスループットを向上させることができる。
    - PDSCH伝送に対して割り当てられた各チャネライゼーション／スクランブリングコードペアは、*M*が送信用アンテナの数である場合、最大*M*個の別のデータストリームを変調することができる。
- 原理上、コードリユースを用いたピークスループットは、一つの送信アンテナで達成可能なレートの*M*倍になる。
- 同じレートを達成するために、より大きな変調コンステレーションを持った単一アンテナの伝送方式と比較して、コードリユース技術は必要とされるEb/Noがより小さくなる可能性があり、全体的にシステム性能が改善される結果となる。

OFDMAは広い伝送帯域幅を用いることで、3Gで使用される以上の高データレートを提供するために用いられる。5MHzチャネルがWCDMAのデータレートを規制している。また、広いRF帯域幅（20 MHz）の利用がデータレートを規制するグループ遅延問題をもたらしている。そのため、OFDMは同じ規制による弊害を被らないように、20 MHzの帯域幅を複数の狭い幅（サブチャネル）に分割する。各サブチャネルは最適なデータレートで変調され、その後、帯域幅は結合されて全体のスループットが提供される。アルゴリズムがRF環境、インタフェース、ローディング、各チャネルの品質などに応じて、最適なサブチャネルを選択する。これらはその後、バーストバイバーストレベル（各サブフレームまたは1 ms）で再分割される。LTEにおけるOFDMの周波数は15 KHz間隔のキャリアで規定されている。各「リソースブロック」（伝送用に用いられる無線リソースの割り当てを表わす）は12個の隣接サブキャリア（180KHz）のグループで、0.5 msのスロット長である。



Option	TX antenna Power		SINR (dB)		Modulation		Coding Rate		Number of Codes		Data Rate (Mbps)		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	Total
1	P	0	14	-inf	16QAM	N/A	0.486	N/A	5	N/A	2.332	0	2.332
2	0	P	-inf	15 dB	N/A	16QAM	N/A	0.551	N/A	5	0	2.644	2.644
3	P/2	P/2	10.2	11.9	QPSK	16QAM	0.691	0.371	4	5	1.292	1.782	3.074

1 MIMOの例
2 2つの送信アンテナ（AとB）を持った例を考える。伝送のためのオプションとして、アンテナAのみに対応する、アンテナBのみに対応する、アンテナAとBの両方に対応する、3つのオプションが考えられ、それぞれオプション1、2、3とする。
3 全体の出力はシングルアンテナがオンの場合と同じであるため、両方のアンテナがオンのときは、各々からの送信出力は半分に減少する。各オプションに対してSINRが計算される。そのSINRは、従来のHSDPAレートマッピングに基づいて、達成可能なレート、対応する変調、およびチャネルコーディングスキームに対してマッピングされる。
4 例において、オプション1は5つのスプレッディングコードに対して、0.486のコーディングレートを持った16QAM変調を用いることで2.332MB/sのレートを達成する。オプション2はSINRが高いため、わずかに高いレートになる。しかし、両方のアンテナで同時に送信すると、合計のレートが3.074となって、最高になる。
5 高速データストリーム

MIMOは「マルチプル（M）・インプット（I）・マルチプル（M）・アウトプット（O）」の略語である。これは、無線リンクにおいて容量を増加させることが可能な信号処理と共に用いられるアンテナ技術である。LTEにおいて、ユーザーデータは2つのデータストリームに分割される。これらはその後、2つの分離したTXアンテナに送られ、2つの分離したRXアンテナで受信される。したがって、データは2つの分離したRFパス上に送信される。分割およびその後にパスを再結合するために用いられるアルゴリズムによって、これら2つのパスの独立を利用するシステム（双方においてRFロスと干渉は同じではない）は、同じデータを2つのパスに送信するよりも良い特別のデータスループットを得ることができる。これはデータ

セットを空間と時間の両方において分離することで行われる。受信された信号はその後、それぞれにおいて信号干渉の影響が除去されるように処理され、同時刻に同じRF帯域幅を占有する2つの別々の信号パスが作られる。その結果、各RFパスが他のパスから完全に隔離・分離された完全な状態で達成可能なピークデータレートとスループットを理論的に2倍にすることができる。

LTEプロトコルとシグナリング

3GPPが進化型UTRANの無線インタフェースプロトコルの開発を開始したとき、次のように最初の仮定が行われた。

- プロトコルアーキテクチャと実際のプロトコルの簡素化
- 専用チャネルのない、簡素化されたMACレイヤ（MAC-dエンティティは除く）
- 無線ネットワークとコアネットワーク間で同様な機能を排除

LTE物理層のチャネル構造

E-UTRANは「オールIPネットワーク」の一部として設計されている。詳細はSAEのセクション参照。しかし、これによる一部の基本的な結果は、もはやネットワークには回線交換要素はなく、現在、全てがパケットベースであるということである。さらに、3GPPの初期バージョンで導入された共有の放送チャネル（HSDPA、HSUPA、MBMSなど）の利用がLTEにおいて再利用される。実際、設計は完全に共有の放送チャネルに基づいており、特定のユーザー向けデータを搬送する専用のチャネルはもはや存在しない。これによって、各ユーザーからのリアルタイムの要求に応じて、ネットワークがエアインタフェースリソースの利用を制御することができ、さらに、リアルタイムデータ要求とは無関係な各ユーザーに対しては、もはやリソースの固定レベルを割り当てる必要がないため、エアインタフェースの効率を向上させることができる。

LTE用のプロトコルスタックは、今日の3GPP WCDMAネットワークで用いられる標準的なSS7シグナリングモードに基づいている。このモデルにおいて、レイヤ3では、非アクセス階層（NAS）が論理チャネルに接続される。これらの論理チャネルはアプリケーションとサービスの実現に向けて、上位層（NAS）によって要求されるサービスと機能を提供する。その後、論理チャネルはRRCエレメントを用いて、レイヤ2のトランスポートチャネルにマッピングされる。これらは、再伝送、エラー制御、優先順位付けなどのデータフローのための制御と管理を行う。ユーザーデータは、パケット・データ・コンバージェンス・プロトコル（PDCP）エンティティによってレイヤ2で管理される。その後、エアインタフェースと物理層の接続は、RLCとMACエンティティおよびPHYレイヤを用いて、レイヤ1によって制御・管理される。ここで、トランスポートチャネルは、無線で伝送される物理チャネルにマッピングされる。

LTE無線チャネルは、物理チャネルと物理シグナルの2種類に分類することができる。物理チャネルは、上位層（NAS）からの情報を搬送するリソースエレメントに対応し、36.212と36.211間で規定されるインタフェースである。物理シグナルは、物理層（PHY）によってのみ使用されるリソースエレメントに対応しているが、上位層からの情報は搬送しない。

上記のアーキテクチャに基づいて、ダウンリンクは5つの物理チャネルと2つの物理シグナルで構成される。

ダウンリンク物理チャネル

1. 物理ブロードキャスト・チャネル(PBCH)
   コード化されたBCHトランスポートブロックが40 ms間隔内で4つのサブフレームにマッピングされる。40 msのタイミングは、無作為に検出される。すなわち、40 msを示す明確なシグナリングは一切存在しない。
   各サブフレームはセルフデコーダブルであると仮定されている。すなわち、BCHは十分に良好なチャネル条件であるとの仮定で、シグナルの受信によりデコード化が可能である。

2. 物理制御フォーマット・インジケータ・チャネル(PCFICH)
   PDCCH用に用いられるOFDMシンボルの個数をUEに通知する。
   サブフレームごとに搬送される。

3. 物理ダウンリンク制御チャネル(PDCCH)
   リソースの割り当てと、DL-SCHおよびPCH関連のハイブリッドARQ情報をUEに通知する。アップリンクのスケジューリング許可を搬送。

4. 物理ダウンリンク共有チャネル(PDSCH)
   DL-SCHを搬送。これには実際のユーザーデータが含まれる。

5. 物理マルチキャスト・チャネル(PMCH)
   MCHを搬送。これはMBMSの放送サービスに用いられる。

ダウンリンク物理シグナル

1. 基準信号
2. 同期信号

対応するアップリンクは4つの物理チャネルと2つの物理シグナルで構成される。

アップリンク物理チャネル

1. 物理アップリンク制御チャネル(PUCCH)
   ダウンリンク伝送応答におけるACK/NAKの搬送。CQIレポートの搬送。

2. 物理アップリンク共有チャネル(PUSCH)
   UL-SCHを搬送。これにはユーザーデータが含まれる。

3. 物理ハイブリッドARQインジケータ・チャネル(PHICH)
   アップリンク伝送応答におけるACK/NAKの搬送。

4. 物理ランダム・アクセス・チャネル(PRACH)
   ランダムアクセスプリアンブルの搬送。

アップリンク物理シグナル

1. PUSCHまたはPUCCHの伝送と関係する復調基準信号
2. PUSCHまたはPUCCHの伝送と関係しないサウンディング基準信号

アップリンクとダウンリンクの両リンクとも、関係する制御チャネルと共に共有チャネル（データを搬送するため）で構成されることが分かる。加えて、非ユーザーデータサービス（セル情報の送信、アクセス制御など）を提供するダウンリンク共通制御チャネルが存在する。

LTEプロトコルスタックの範囲内で、物理層チャネル（上記に記載した）は、プロトコルスタックのMACおよびRLCレイヤの機能を介して上位層にマッピングされる。これをユーザープレーンと制御プレーンの両方について以下に示す。ここで、前述の通りSAEアーキテクチ

ャによる、ネットワークの簡素化を見ることができる。eNBはエアインタフェースの管理とデータのフロー制御に責任を負い、aGWはPDCPおよびNASサービスの範囲内でユーザーデータの上位層制御に責任を負う。

LTEトランスポートチャネル構造

現在までのところ、物理層チャネル、およびプロトコルスタックにおける上位層の要件について規定してきた。ここで、EUTRANにおけるトランスポートチャネルの種類に着目する。それは以下のように定義される。

ダウンロードのトランスポートチャネルの種類を以下に示す。

- ブロードキャスト・チャネル**(BCH)** の特徴
  固定、既定義トランスポートフォーマット
  セルサービスエリア全体でブロードキャストの必要性

- ダウンリンク共有チャネル **(DL-SCH)** の特徴
  HARQのサポート
  変調、コーディング、送信出力を変更することによるダイナミックリンク適応のサポート
  セルサービスエリア全体でブロードキャストの可能性
  ビームフォーミング使用の可能性
  動的および半静的リソース割り当てのサポート
  UEの省力化を可能とするUEの不連続的受信（DRX）のサポート
  MBMS送信のサポート（FFS）
  注意：物理層に依存したスローパワー制御を使用する可能性

- ページング・チャネル **(PCH)** の特徴
  UEの省力化を可能とするUEの不連続的受信（DRX）のサポート（DRXサイクルはUEに対してネットワークによって指示される）
  セルサービスエリア全体でブロードキャストの必要性
  トラフィック／他の制御チャネルに対しても動的利用が可能な物理リソースに対するマッピング

- マルチ・チャネル **(MCH)** の特徴
  セルサービスエリア全体でブロードキャストの必要性
  複数セルでのMBMS送信のSFN結合サポート
  半静的リソース割り当てサポート　例：長周期的プレフィックスの時間フレームなどによる

アップリンクのトランスポートチャネルの種類を以下に示す。

- アップリンク共有チャネル **(UL-SCH)** の特徴
  ビームフォーミングを使用する可能性（仕様上は影響がないように見える）
  送信出力、変調の可能性、コーディングを変更することによるダイナミックリンク適応のサポート
  HARQのサポート
  動的および半静的リソース割り当てのサポート
  注意：アップリンクの同期化および物理層に依存したタイミングアドバンス使用の可能性

- ランダム・アクセス・チャネル **(RACH)** の特徴
  制限された制御情報、衝突リスク

LTE論理チャネル構造

チャネルマッピングの完了に向けて、トランスポートチャネルがプロトコルスタックの論理チャネル上にマッピングされる。その結果、この論理チャネルはプロトコルスタックの上位層への機能性を提供し、それらがサポートする上位層サービスに関して指定される。各々の論理チャネルの種類は2つのグループに分類される。

1. 制御チャネル（制御プレーン情報の転送用）
2. トラフィック・チャネル（ユーザープレーン情報の転送用）

制御チャネルは制御プレーン情報のみの転送用として用いられる。制御チャネルには以下がある。

- ブロードキャスト制御チャネル (**BCCH**)
  システム制御情報をブロードキャストするためのダウンリンクチャネル
- ページング制御チャネル(**PCCH**)
  ページング情報を伝送するためのダウンリンクチャネル。このチャネルはネットワークがUEのロケーションセルを確認できないときに使用される。
- 共通制御チャネル(**CCCH)**
- マルチキャスト制御チャネル (**MCCH)**
  1つまたは複数のMTCHに対して、ネットワークからUEへMBMS制御情報を伝送するために用いられるポイントツーマルチポイントダウンリンクチャネル。このチャネルはMBMSを受信するUEによってのみ用いられる。
- 専用制御チャネル(**DCCH**)
  UEとネットワーク間の専用制御情報を伝送するポイントツーポイント双方向チャネル。RRC接続を行っているときにUEによって使用される。

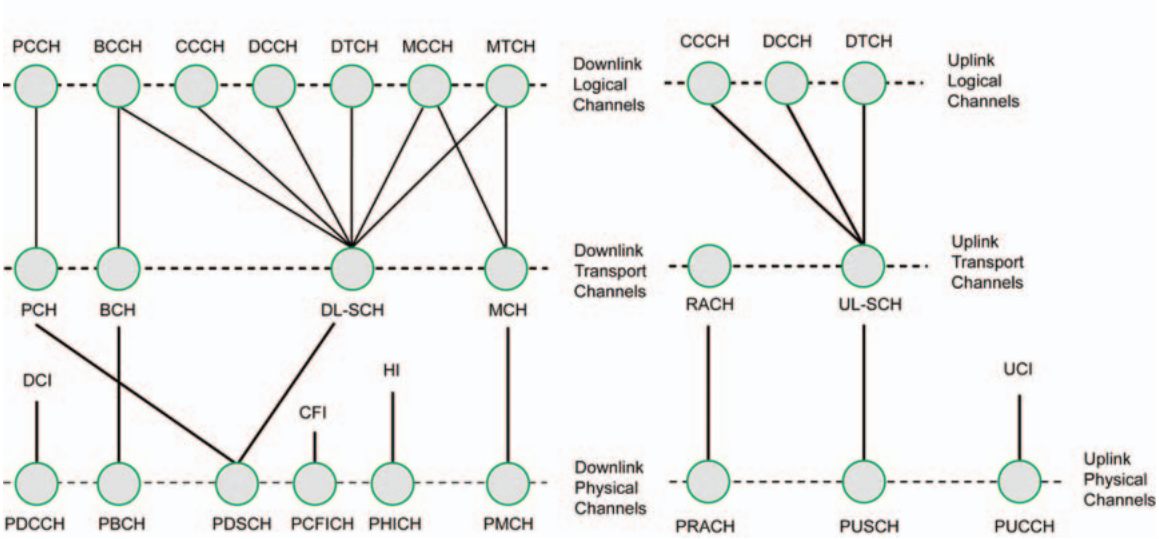
トラフィック・チャネルはユーザープレーン情報のみの転送用として用いられる。トラフィック・チャネルには以下がある。

- 専用トラフィック・チャネル (**DTCH**)
  専用トラフィック・チャネル（DTCH）は、ユーザー情報を転送するためのポイントツーポイントチャネルで、1つのUEに専用である。DTCHはアップリンク、ダウンリンクの双方に存在することができる。

- マルチキャスト・トラフィック・チャネル (**MTCH**)
  ネットワークからUEへトラフィック情報を伝送するためのポイントツーマルチポイントダウンリンクチャネル。このチャネルはMBMSを受信するUEによってのみ用いられる。

論理チャネルからトランスポートチャネル、物理チャネルへのマッピングを以下に示す。

LTE Channel Mapping



MACスケジューラ

LTEにおける全てのユーザーデータの伝送は、特定のデータパケットを予め計画された伝送によって行う。以前のセルラー技術のような連続的な「回線」接続は存在しない。これは「モバイルブロードバンド」とLTEの本質である「オールIP」を反映している。アップリンクとダウンリックの双方における全ての伝送スケジュールは、eNBのMACスケジューラによって行われる。このエンティティはネットワークの各ユーザーに提供される瞬間のデータレートと容量を決定する。リソースは報告されたCQIと他の要素に基づいてスケジュールされる。これに対するアルゴリズムは3GPPによって規定されていない。そのため、様々なeNodeBメーカーとネットワーク事業者がアルゴリズムの開発と調整を行い、それぞれのネットワークに様々な性能と動作を提供することができる。

スケジュールの割り当てはDCI/DPCCHチャネルに送信される。さらに、UEがデータを受信するようにスケジュールの割り当てを行うDL-SCH/PDSCHチャネル、UEがデータを送信するようにスケジュールの割り当てを行うUL-SCH/PUSCHチャネルに送信される。UEはアップリンクのスケジュールを送信することができない。これはセル内の全UEにわたって調整が必要なためである。そのためeNodeB内で行われる。UEは2種類ある方法の内の1つを用いてUL-SCHリソースを要求することができ、ENodeBがスケジュールの割り当てに反応するのを待機する。

- UCI/PUCCHにSR（スケジューリング・リクエスト）を送信することで明確に
- UL-SCH/PUSCHにBSR（バッファ・ステータス・レポート）を送信することで暗黙的に

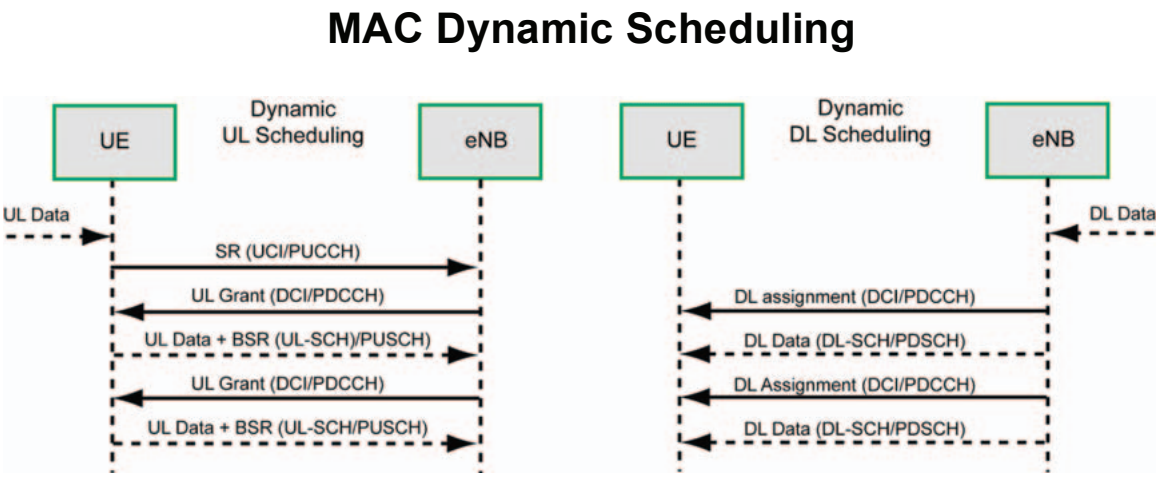
MACには次の2つのスケジューリングモードがある。

- ダイナミック（動的な要求と割り当てに基づく）
- セミパーシステント（音声トラフィックなど、静的な割り当てに基づく）

セミパーシステントスケジューリングは、ネットワークが、固定の繰り返しパターンでスケジューリングする必要性が継続的にあると予想するアプリケーションに対して用いられる。例として、音声が固定レートでCODECによってコード化され、パケット化される場合の音声電話がある。パケットはその後、音声電話の間、固定レート／インターバルで転送が行われる必要がある。このモードによって、ネットワークは、各パケットに対して前もってUEに信号を送る必要なく、UEが各ボイスパケット(VoIP)を受信できるようにパーシステントスケジュールを行うことができる。これによって、必要な大量のシグナリング制御を減少させることができ、その結果、ユーザーデータに対してより多くの無線リソースが利用可能となる。

スケジューラの内部で、DRXシーケンス（不連続性Rx）を考慮する必要がある。これはUEが決まった時間で受信機の「スイッチオフ」を行うことができる（省力化と待機時間の増加のために）場合のプロセスである。スケジューラは、UEがDRXモードで「スリープ状態」になるかどうか、さらにその結果、リソースアロケーションに送信する前に、UEに「ウェイクアップ」信号を送信する必要があるかどうかを知る必要がある。

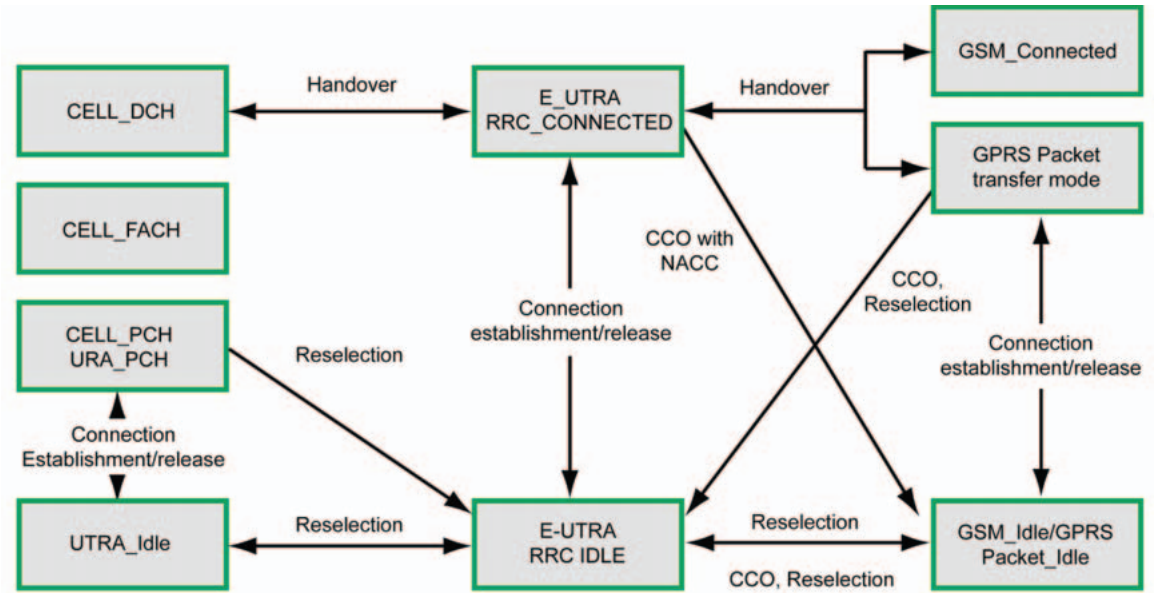
ダイナミックプロセスに関する処理を以下に示す。



LTE内でのレイテンシの改善

LTEプロトコルについての記載の一部として、RRCステートは「RRC Idle」と「RRC Connected」ステートに制限された。それらを可能性のあるレガシーUTRANと共に下図に示す。この目的は、プロトコル構造と可能性のある状態数、従って状態遷移を簡素化することである。これによってネットワークにおける応答時間の迅速化が図られ、ユーザーのレイテンシ低減が可能となる。現在の3GPP WCDMAネットワークにおいては、可能性のある状態数および状態遷移が多数あり、さらに、ある状態から次の状態への移行にかなりの時間を要している。これが、効率向上、セル内の局部的負荷変更、要求または特定ユーザーの変更のために、データリンクを設定または無線リソースを再構成しようとする際に過剰な遅延をもたらしている。

RRC sates and inter RAT mobility procedures

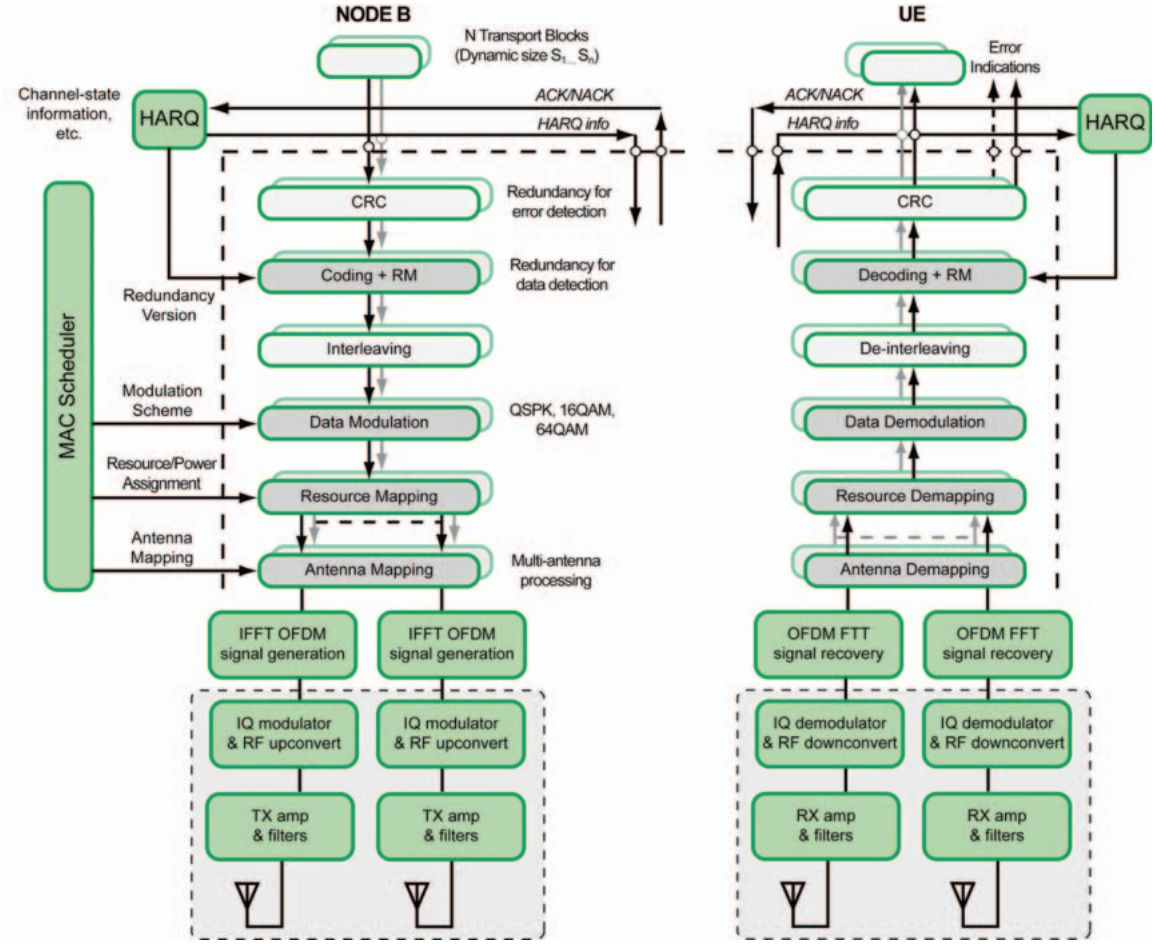


加えて、1 msのトランスミッション・タイム・インターバル（TTI）が容認されていた（シグナリングオーバーヘッドを減少させて効率を向上させるために）。TTIは伝送または再伝送を行うことができる最小時間である。TTIを減少させることは、メッセージ受信時に、応答をより迅速にスケジューリングすることができる（次に利用可能な伝送スロットを早めることができる）、または失敗メッセージの再伝送をより迅速に行うことができることを意味する。

LTEの典型的な実行

ダウンリンクの典型的な実行を下記に示す。論理チャネル（ユーザー／データストリーム）からエアインタフェース送信への進行、および論理チャネルを回復するために受信機から逆へ進行する際の各種のコーディングと処理ステージを示す。　例として、2チャネルMIMOの典型的な「ダウンリンク」を示す。

System Architecture functional diagram
Downlink transmission and reception



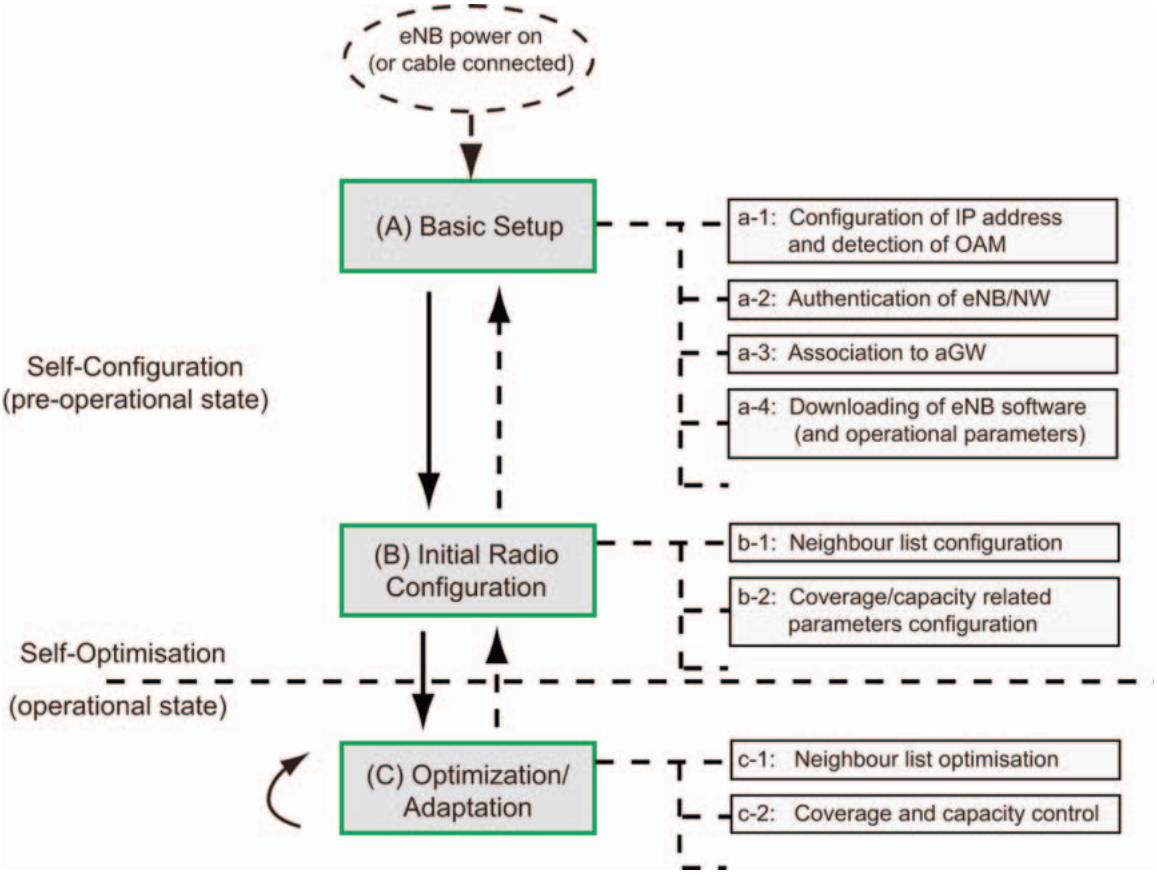
Jonathan Borrill
Version 5: July 2009

セルフ・オプティマイジング・ネットワーク (SON)

SAEネットワークに導入された別の新しいコンセプトがセルフ・オプティマイジング・ネットワーク（またはセルフ・オーガナイジング・ネットワーク）である。これの目的は、ネットワークに新しいノードを展開する複雑さを減少させることである。これは、ビジーエリアでの新しいマイクロ／マクロセルに対して、ショッピングセンタや空港などのローカルホットスポットに設置されているピコセルに対して、または家庭内のサービスエリアに設置されたフェムトセルでさえも可能である。

伝統的に、新しいノードがネットワークに設定されるときは、フィールドの専門家による実施が不可欠な多くの計画と測定が存在する。その後、パラメータの設定とネットワークのチューニングがネットワークを管理している他の専門家によって行われるであろう。ネットワークの出力レベル、ハンドオーバーを測定するための隣接セルリストの設定、他の全てのネットワークデータベースにノードを正しく構成することが行うことの全てである。

SONのコンセプトは、全ての必要な測定が自動的に行われ、ネットワークに報告されるように、eNodeB内のソフトウェアを用いてこれを自動的に行うことである。さらに、ネットワークはこの情報を設定／最適化目的のために情報を利用する他のネットワーク要素に自動的に転送できるようにすべきである。このコンセプトは、eNBの起動から無線パラメータのチューニングまで幾つかの異なった機能を含んでいる。全てのセルフコンフィギュレーション／セルフオプティマイゼーション機能に対する基本的な構造を下図に示す。



1　eNBパワーオン（またはケーブル接続）
2　（A）基本セットアップ
3　（B）初期無線設定
4　（C）最適化／適応

5　セルフコンフィギュレーション（運転前段階）
6　セルフオプティマイゼーション（運転段階）
7　a-1：IPアドレスの設定とOAMの検出
8　a-2：eNB、NWの認証
9　a-3：aGWとの連携
10　a-4：eNBソフトウェア（および操作パラメータ）のダウンロード
11　b-1：隣接リスト設定
12　b-2：カバレッジ能力関連のパラメータ設定
13　c-1：隣接リストの最適化
14　c-2：カバレッジと容量制御

セルフコンフィギュレーションプロセスは、新しく展開されたノードが自動設置手順で設定され、システムの作動に必要な基本構成が構築されるプロセスとして定義される。このプロセスは運転前段階で行われる。運転前段階はeNBに電源が入り、バックボーンの接続性が確保されてからRF送信機に電源が入るまでである。

セルフコンフィギュレーションでカバーされる運転前段階での典型的な操作は次の通りである。
- 基本セットアップ
- 初期無線設定
- インタフェース設定に必要な構成を入手する手順
- ネットワークで提供されるシステム内のノードの自動登録

セルフオプティマイゼーションプロセスは、UE&eNBの測定結果と性能測定結果がネットワークの自動調整のために用いられるプロセスとして定義される。このプロセスは、RFインタフェースの電源が入る運転段階で行われる。

セルフオプティマイゼーションでカバーされる運転段階での典型的な操作は次の通りである。
- ネットワーク設定の最適化／適応
- データと測定結果のインタフェースへの分配
- 最適化目的のためのデータ集約を行う機能／エンティティ／ノード間の相互通信
- セルフオプティマイゼーションプロセスに関係するO&M機能とO&Mインタフェースとのリンク管理

SONを可能とするためにUEは、E-UTRANシステムをセルフコンフィギュレーション化、セルフオプティマイゼーション化するために用いることができる測定結果と手順のサポートもまた必要である。
SONによるUE（コスト、複雑さ、バッテリ寿命など）への影響を抑えるため、通常のシステム運転に用いられる測定結果と報告が、できる限りセルフオプティマイゼーションプロセスのための入力として用いられるべきである。ネットワークが必要とするSON特有の測定結果に対して、ネットワークは、UEに送信されるRRCシグナリングメッセージを用いてセルフオプティマイゼーションをサポートするため、測定結果と報告を設定することができる。

技術がユーザーに与える影響：

エンドユーザー
移動体通信ユーザーにとってのLTE/SAEとFMC構想の主な効果は、サービスへの接続手段を気にすることなく、希望するサービスを「がいつでも、どこでも」利用することができる点であろう。音楽ダウンロード、メール、音声、テレビ電話など全てがどこでも同じ手段で利用可能となるように、エンドユーザーに提供されるサービスの範囲が使用するテクノロジに無関係になるべきである。

エンドユーザーに提供されるサービスの範囲が使用するテクノロジに依存しないようにするためには、音楽ダウンロード、メール、音声、テレビ電話など全てがユーザーがどこにいてもでも同じ手段で利用可能となるように

FMCは、ユーザーがネットワーク内のどこにいても取得可能な、ただ一つのコンタクトナンバー（IPアドレス）の保有を可能とし、ユーザーは現在いる場所で行っている内容に従ってプロファイルの設定を行うことができるだろう。そのためには、携帯電話はユーザーが特段の変更を行うことなく、ホームネットワーク、オフィスネットワーク、パブリックネットワーク、またはローカルホットスポットに自動的に接続されなければならない。電話は、オフィスにいるときはオフィスベースのサービスを提供できるように「オフィスモード」に自身を設定でき、ユーザーが自宅に帰ったときはホームサービスに変更されるようにならなければならない。

IMSサブシステムを通して移動体ネットワークと固定ネットワークが統合されることによって、ネットワークおよびサービスのルック・アンド・フィールは、固定ネットワーク、移動体ネットワーク、または移動体ネットワークが接続されている種類にかかわらず同じでなければならない。LTEとSAEによって、移動体ネットワークはモバイルユーザーに対して、固定回線ユーザーに匹敵する速度でデータレートの高速化と低遅延を提供することができるだろう。

ネットワーク事業者

シングルサブスクリプションにより利用者に複数の通信サービスを提供している場合、「トリプルプレイ」および更なるサービスを提供するネットワーク事業者とサービスプロバイダの中にはトレンドがある。この戦略はアベレージ・レベニュー・パー・ユーザー（ユーザー一人当たりの平均収益）（ARPU）を増加させることと、マルチプルサービスを単一パッケージにバンドルすることでブランド離れを抑えることである。NGNおよびFMCへの移行はこのパッケージの提供に当たって2つの主なメリットを与える。まず第一に、モビリティの管理とデータルーティングを統合することで、たった1つの電話番号と1台の装置でこのサービスを実現できるため、信頼性が増し、利用者への提供がより便利になる。現在のトリプルプレイのソリューションは、異なるアクセス技術をまたいで音声通信を提供する場合、依然としてマルチプルアクセスデバイスを必要とする。次に、ネットワークが簡素であるため、OPEX（運営費）が低下する。これによって、事業者のサービス提供費用も低く抑えることができる。事業者は平行サービスを行うに当たって、メンテナンスのために複数のネットワークと技術を必要としない。例として、今日のトリプルプレイ提供事業者は一般的に以下のネットワークの運営とメンテナンスを必要とする。

- 光ファイバと銅線の併用による、家庭／ビジネスブロードバンド用IPネットワーク。WLANおよびWiMAXハブへの拡張。
- 光ファイバと銅線の併用による、家庭／ビジネス音声用回線交換ネットワーク
- 光ファイバ利用による移動体ネットワークインフラ用ATMネットワーク
- ブロードキャストサービス（TV、ラジオなど）用DVBネットワーク

これは、関連するランニングコスト、メンテナンス費用などがかかるそれぞれに対して、別々のインフラを構築している可能性があることを意味する。少ないネットワーク要素と共通のネットワークIP技術に対して全てのサービスを合体させると、ネットワークはよりスケーラブルになる。主要な新しい投資を必要とせず、新しいサービスが直ぐに展開され、サービスエリアが拡大する。

LTE/SAEネットワークを実施することで、通信事業者は、ネットワークアーキテクチャ全体を簡素化し、もはや競争力があり費用効率の高い無線スペクトルリソースを利用することができない古いレガシーテレコム機器を排除することができるだろう。同時に、固定回線サービスはサービスの性能および感触を低下させることなく、モバイルユーザーが利用できるようになるだろう。

テストチャレンジ

RF テスト

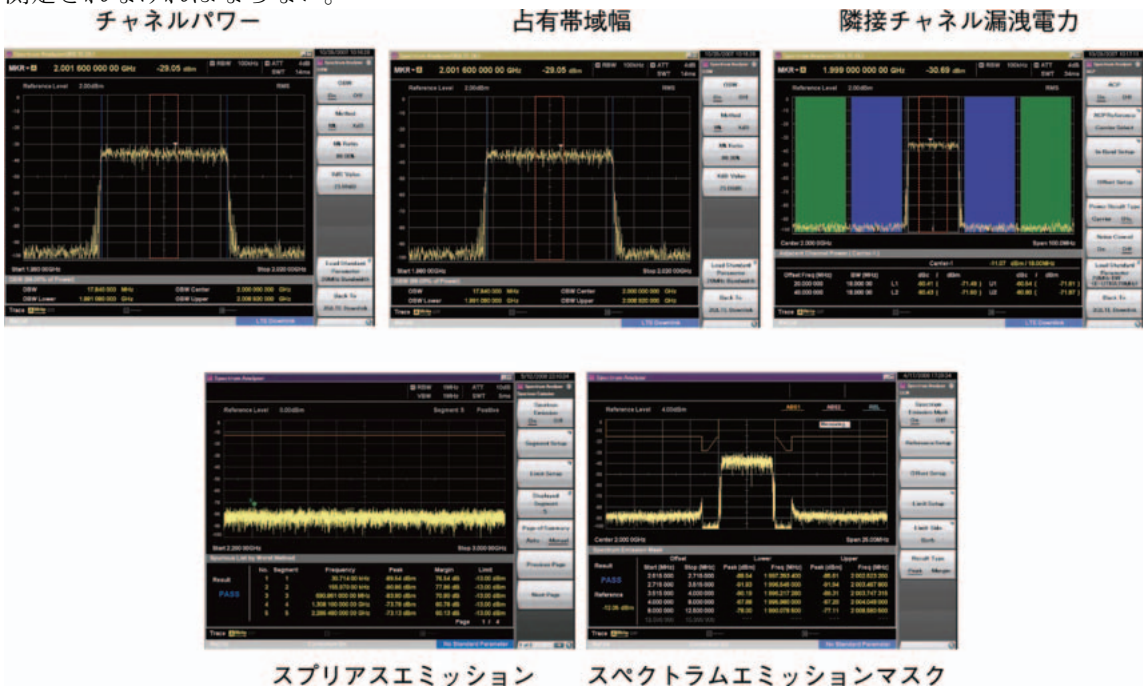
RF テスト要件が 3GPP 規格の TS36.141 Base Station Conformance Test（基地局適合性試験）と TS36.521 UE Conformance Specification Radio transmission and reception（UE 適合性規定無線送信および受信）に提示されている。共通の無線伝送特性の例を以下に示す。

OFDM 無線テスト

OFDM および高次の 64QAM 変調方式の使用には、符号間干渉を避け、正確な IQ 復調を可能とするために TX と RX モジュールの双方において、高い直進性、位相、振幅を必要とする。これには、適応周波数チャネルの使用中、信号の追跡と測定を行うために高速で適応性のある EVM の測定能力を必要とする。テストは各々のサブキャリアの「サブキャリア当たり」の性能とサブキャリアが合成された「コンポジット」信号の両方について実施し、全体の性能を見る。

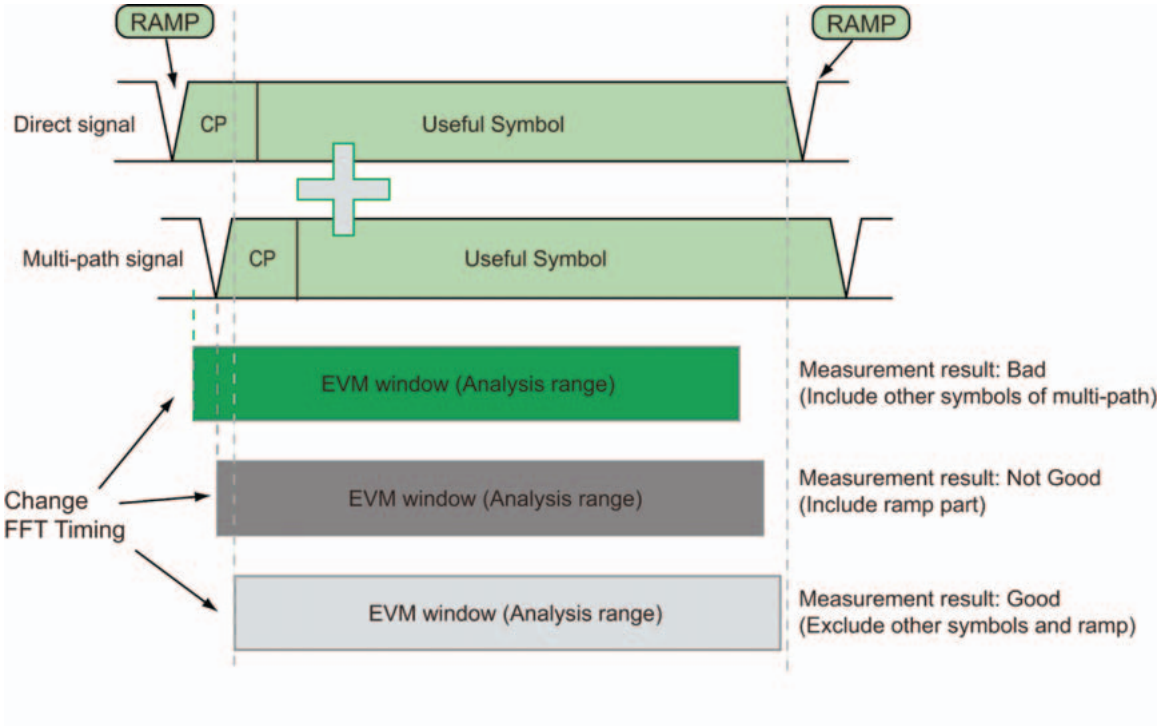
サブキャリアはキャリアからの漏れを防止するため、位相ノイズ性能が優れていることが要求される。OFDM の周波数マッピングと直交性は、1 つのキャリア位相応答において、隣接キャリアのピークで正確に「ゼロ」が要求される。従って、各サブキャリアにおける位相と振幅の直進性を正確に測定することがシステムの直交性（耐干渉性）にとって重要である。

OFDM 伝送はまた、「リソースブロック当たり」でも測定し、各バーストにおけるパワーレベルがいかに正確に維持されているかを確認する必要がある。各々の「リソースエレメント」（それが 1 度の期間／シンボルでの単一の OFDM キャリアである）が伝送されるべき特定のパワーレベルを有し、これらのパワーレベルはリソースブロック全体にわたって正確に測定されなければならない。

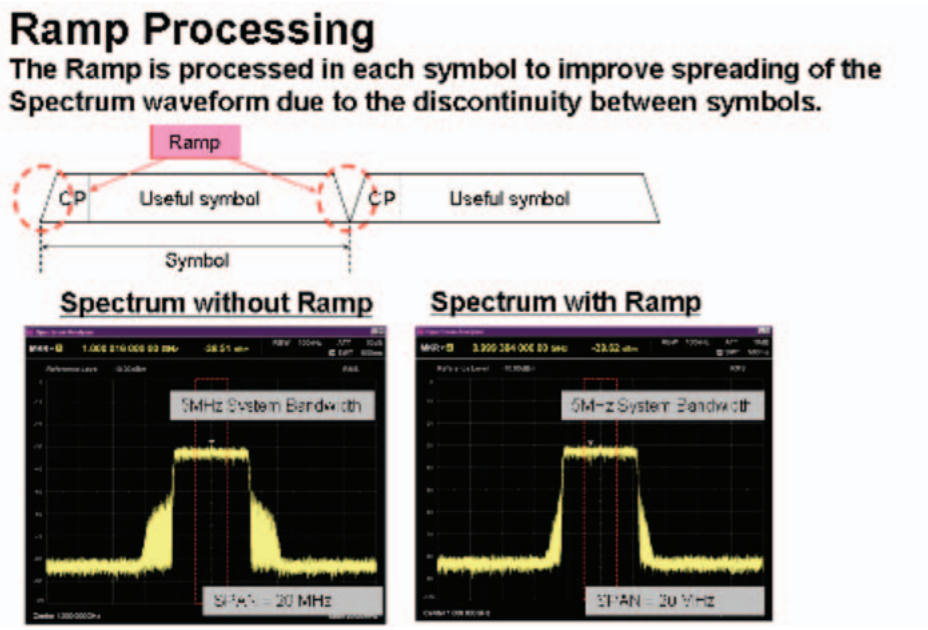


1　チャンネルパワー
2　占有周波数帯域幅
3　ACLR（隣接チャネル漏洩電力比）
4　スプリアスエミッション
5　スペクトラムエミッションマスク

LTE に対する EVM の測定は、2 つの特別な機能が用いられているため、慎重に行う必要がある。最初は、各シンボルの最初に、短い伝送バーストである「サイクリックプレフィックス」（CP）が存在することである。実際、これはシンボル端で繰り返され、伝送パスにおけるディレイスプレッドを許可する「セットリングタイム」を与えるために用いられる。測定が CP 期間のあまりに早期に開始されると、前のシンボルからの信号も含まれて存在（符号間干渉　ISI）することになり、測定結果に誤りが含まれる。2 番目は、強い「バースト」パワー（強いバーストは大きな高調波歪みと干渉を発生させる）が存在しないように、シンボルの伝送には最初と最後に「ランプ」が設けられている点である。そのため、シンボルの最初と最後にはパワーにアップ／ダウンランプがある。故に、これらのランプ期間を測定しないように、測定されるシンボル期間もまた制限する必要がある。これら両問題を解決する技術が「スライディング FFT」の使用である。これによって、測定されるシンボル期間を正しい時間に調整（スライディング）することが可能となり、最高の EMV 値を得ることができる。これを以下の図に示す。



「ランプ」の効果を下記の測定で見ることができる。左側の波形はランプがない場合である。そのため各シンボル間で鋭いスイッチ ON/OFF が存在する。これは、所定のシステム帯域幅（この場合 5MHz）を越えて、出力スペクトラムの広がりとして見られる「スイッチングエミッションによる大きなスペクトラム」をもたらす。右側の波形はランピングを有効にした場合である。各シンボル間の鋭いスイッチ ON/OFF はほとんど存在しない。これにはスペクトラムエミッションを減少させる明らかな効果がある。この種のランピング（スペクトラムシェイピングとも呼ばれる）は、送信機の出力が確実に割り当てられた周波数帯域内に留まり、どんな隣接周波数とも干渉しないことが必要とされる。



1 ランプ処理
2 ランプは各シンボルで処理され、シンボル間の不連続によるスペクトラム波形の広がりを改善する。

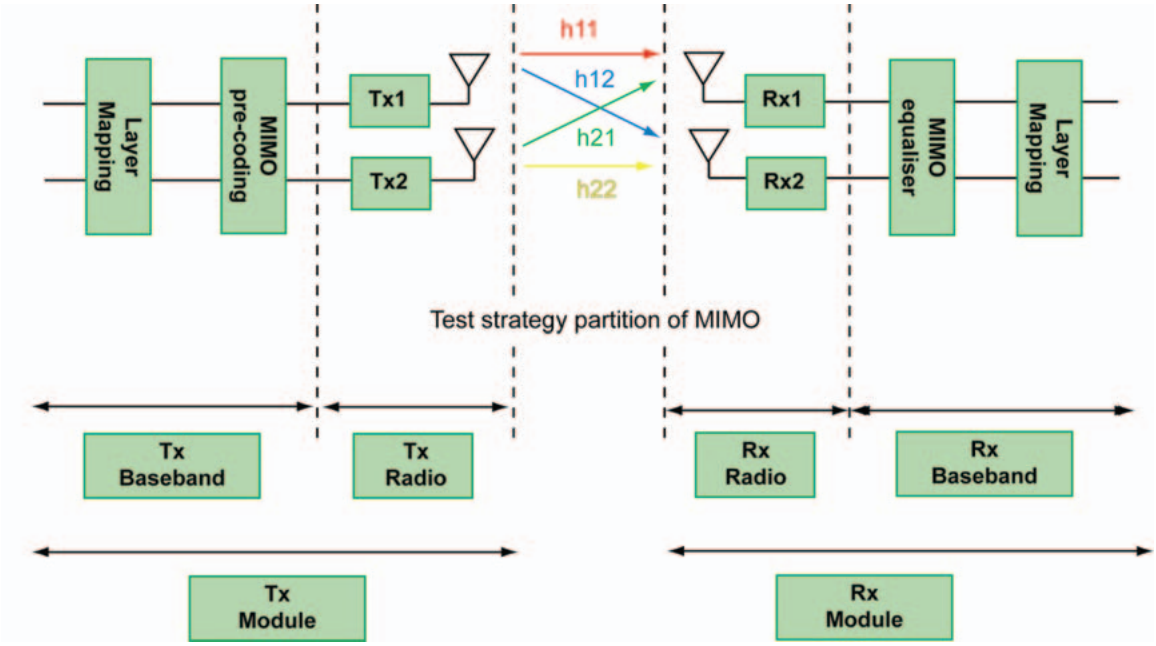
MIMO テスト

MIMO システムにおいては、アンテナから空間特性へのカップリングを完全に理解しなければならない。MIMO リンクのデータレートと性能は、複数の RF アンテナが互いにどのように連結するかに左右される。アンテナパスの正確なキャリブレーションは、満足のいく MIMO システムを実現させるため、ファクトリキャリブレーションとその後のフィールド設置後のキャリブレーションが必要である。R&D フェーズの間、設計評価として、性能を規制するような重要な問題を発見するために感度計算を行う必要がある。

基地局の伝送アンテナアレーは、各アンテナパスにおける位相／タイミングを正確に制御するため、専用の位相配列技術（バトラーマトリクスのような）を使用することができる。これには、電気的なパスの長さ、カップリング、両端からの反射に関して、RF パスの正確なキャラクタリゼーションが必要となる。その後、このデータはビームステアリングなどの機能を可能とするため、MIMO 適応アルゴリズムに送られる。アンテナパスの完全なキャラクタリゼーションを得るため、通常、ベクター・ネットワーク・アナライザが用いられる。

MIMO のテストにおいては、ベースバンド処理部分と RF 発生／配列部分の両方をテストするように考えるべきである。両エリアに対して、機能テスト（正確な作用）と性能テスト（最高の処理と最高のデータスループット効率を得るためのアルゴリズムの最適化）をそれぞれ実施する必要がある。加えて、「ネガティブテスト」を実施することは有益である。それは故意に不正信号を用いて、それが正しく処理されるか不合格となるかを確認するものである。

Functional partition of MIMO system



MIMO テスト戦略の優れた開発アプローチは、MIMO テストに向けて、各々のエリアとステージの表を作成し、表の各部分に対して必要なソルーションを見つけることである。表の主要な要素については、個々のサブユニット（Tx ベースバンド、Tx 無線、Rx 無線、Rx ベースバンド）を別々にテストして、Tx モジュールと Rx モジュールに統合すべきである。結果的に以下のような表を作成することができる。

	Tx ベースバンド	Tx 無線	Tx モジュール	Rx 無線	Rx ベースバンド	Rx モジュール
機能テスト						
性能テスト						
ネガティブテスト						

MIMO システムにおいては、各々の TX アンテナから各々の RX アンテナまでの RF パス特性を計算する必要がある。これは、RF パスがプロセッサによって 2 つのパスに分離され、事実上 2 つの別々のデータパスになるためである。これを達成させるには、システムは正確にリアルタイムで RF パス特性を測定しなければならない。このアルゴリズムは、使用される MIMO システムの設計に組み込まれている。しかし、それらのアルゴリズムは基本的に全て、既知信号である「プリアンブル」または「パイロットトーン」の正確な位相測定と振幅測定を必要とする。テスト環境によって、この測定には以下の 2 つの課題がある。

1. システムが測定対象に対して正確な基準信号を確実に発生させられるようにすること。受信信号の精度は注意深く測定しなければならない。そして、テストシステムの較正を行い、MIMO システムの確実さと不確実さから測定システムの不確実さを分離しなければならない。この方法によって、テストシステムからの影響を最小限にして、MIMO システムの正確な特性を測定することができる。このためには、測定対象に対して「基準信号」を発生させるためのテスト方法／環境の開発が必要である。これはまた、基準となる「品質」を調整することによって測定方法の不確かさを確認するため、また測定結果が変更内容に一致しているかどうかをチェックすることによって測定方法の不確かさを確認するためにもこのテスト方法／環境の開発が必要である。

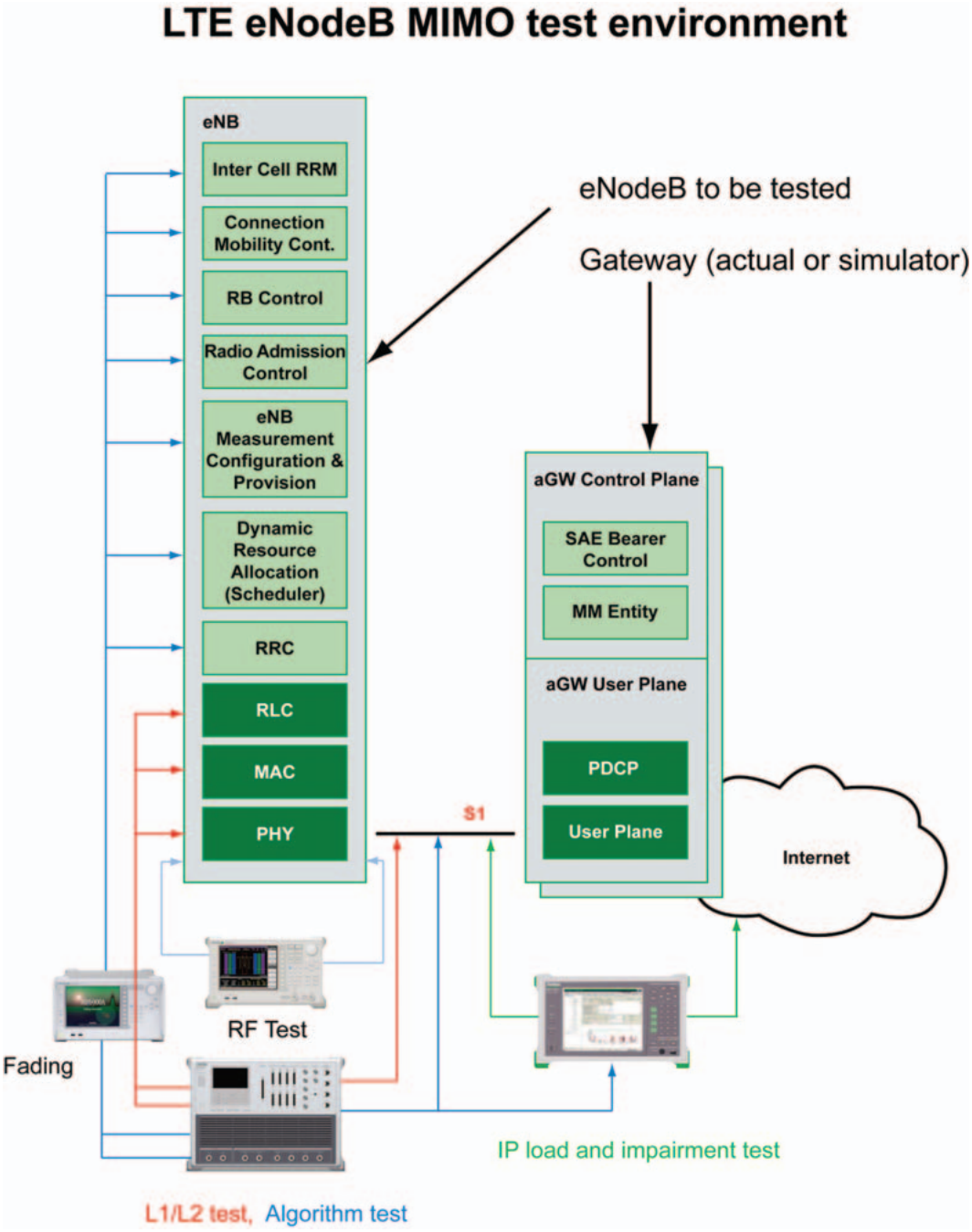
2. 送信機から受信機への実際の RF カップリングは、測定されるエンドツーエンドシステムの性能に影響を及ぼす。そのため、性能測定、アルゴリズムのチューニング、統合と検査（I&V）、および生産品質に用いられるテスト環境に対して、絶対的な性能値（データレート MB/s など）を測定すべき場合、アンテナ間の RF カップリングの規定、繰り返し可能性の確保、キャラクタリゼーション化を行う必要がある。これには、適切なフェージングの利用、マルチパステスト機器の利用、アンテナ間に各種のカップリングを発生させるジェネレーション／プロファイルが必要である。これは、最初にチェック用の静的信号（基準ベースの信号発生器など）を用いて、次にアルゴリズムレベルで操作の正確性を検証するためのベースバンドフェージングシミュレータを用いて、最後に「エンドツーエンド」システムレベルテスト用の RF フェージングシミュレータを用いて達成することができる。

データの実際のコーディングが空間（アンテナ）と時間（送信されるときの）の両方に基づき、MIMO のダイバーシチゲインが送信データの各ブロックに対して、空間と時間の両ダイバーシチを用いている場合、データブロックの MIMO コーディング（ブロックコーディング）は、空間時間ブロックコーディングに基づいている。そのため、各アンテナの時間的整合とアンテナ間パスの空間的整合の両方を測定しなければならない。

MIMO テストは、用いられる信号処理と MIMO コーディングアルゴリズムに関して、広範囲のテストと評価を必要とする。これを行うためには、MIMO アルゴリズムにおいて、個々の処理ステップとフィードバックステップの分離が可能で、「スタンドアローン」テストが可能な場合には、「ステップバイステップ」アプローチを用いる必要がある。加えて、性能検証ができるように、MIMO アルゴリズムの一部が統合可能で、「基準条件」に対してそのアルゴリズムを操作することができる場合には、制御された環境を必要とする。検証には、送信機から受信機への RF カップリングとその測定結果、さらに送受信間で行われるフィードバックレポートを考慮した、明確な知識条件の設定が必要である。これを行うには、純粋な「ベースバンド」レベルでのテストを行い、アルゴリズムのチェック、同様に RF「エアインタフェース」でのテストをチェックする必要がある。加えて、ベースバンドプロセスと RF カップリングの明確な制御を必要とする。これは通常、フェージングシミュレータとシステムシミュレータを用いて達成される。フェージングシミュレータは制御された「エアインタフェース」カップリング（リアルまたはシミュレーションのいずれか）を提供し、システムシミュレータは制御されたベースバンド環境（基地局をテストするために制御された UE、または UE をテストするために制御された基地局など）を提供する。

「フェージング」機能を MIMO テストに含めている場合、各パスのフェージング（ディレイパスの位相、振幅、散乱の種類）と各 RF パス間の相関関係（相関行列）の双方について完全に記載する必要がある。2x2 MIMO の場合、上記に示されるように h11、h12、h21、h22 の 4 つのパスがある。MIMO に対して理想的な環境の場合、異なった RF パス間に相関関係は存在しない。そのため、アルゴリズムの処理によって各パスから完全に信号を分離させることができ、データレートを十分に向上させることができる。「現実」には、送信機から受信機までの間に似たような「共有」ルートが存在するため、異なったパス間に相関関係が見られる。最悪の場合、それらは本質的に同じパスであるため、RF パス間に非常に高い相関関係が存在する。これらのシナリオの各々に対して、異なる RF パスにどのような関係が存在するかを数学的に表わす「相関行列」を作成することができる。そして、それを元に、アルゴリズムをテスト、検証、最適化し、最高のデータレートスループットを経験し得る様々な RF 環境のそれぞれに提供する必要がある。

eNodeB に対するテスト環境例を下図に示す。



1 LTE eNodeB MIMO テスト環境
2 eNodeB のテスト
3 IP 負荷および機能障害テスト
4 インターセル RRM
5 コネクション　モビリティコントロール
6 RB コントロール
7 無線　アドミッション　コントロール
8 eNB　測定　コンフィギュレーション&プロビジョン
9 ダイナミック　リソース　アロケーション　（スケジューラ）
10 RRC
11 RLC
12 MAC
13 PHY
14 aGW 制御プレーン

15 SAE ベアラ　コントロール
16 MM エンティティ
17 aGW ユーザープレーン
18 PDCP
19 ユーザープレーン
20 インターネット

L1 テスト

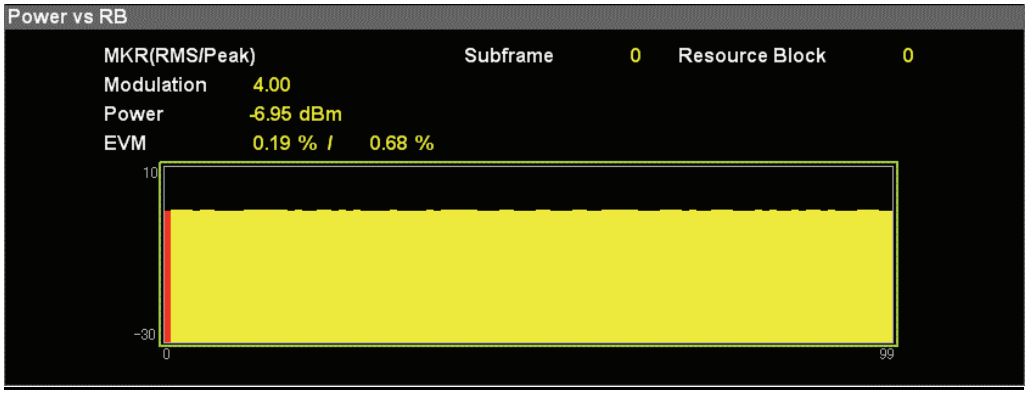
L1 には、電源制御、アダプティブモジュレーション、およびコーディングについての駆動のレポートと測定結果、そして MIMO 処理能力に関連したアルゴリズムと手順が含まれている。そのため、テストポイントの観点から、正しい測定が受信機（測定結果を利用する対応した要素に逆に送信される場合を含む）において行われたかどうか、および送信機が測定レポートに対して正しく反応しているかどうか、またパラメータを適宜調整しているかどうかについて検証する必要がある。

ネットワークに戻って UE が作成するレポートには CQI（チャネル・クオリティ・インジケータ）、PMI（プリコーディング・マトリクス・インジケータ）、RI（ランク・インジケータ）が含まれる。CQI は NodeB における AMC（データレート）の選択に関係する。また、PMI と RI は NodeB によって、MIMO エンコーディングの設定に利用される。

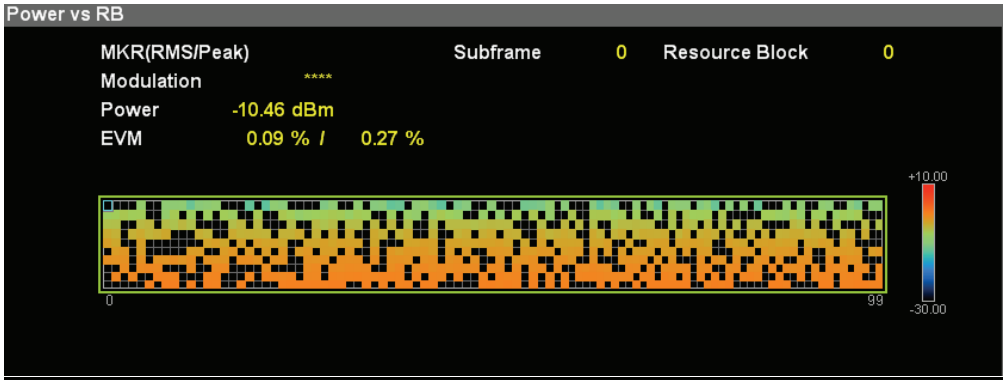
加えて、UE は基準信号受信電力（RSRP）を測定しなければならない。そのためには、UE はアンテナ特有の基準信号を正確に特定し、基準信号を含んだ個々のリソースエレメントにおける電力を測定する必要がある。

NodeB は、全ての UE が同じ関係のタイミング（NodeB 受信機において効果的な FFT プロセスに対して要求される）で受信されるように、UE のタイミングアドバンスを調整しなければならない。そのためには、NodeB は UE のタイミングオフセット（NodeB からの距離に関係する信号の「タイムオブフライト」による時間差、従って NodeB のフレーム・タイミングをロックしようとしたときの UE におけるタイミングエラー）を検出しなければならない。さらに、NodeB からのタイミングアドバンスコマンドに対して、UE の応答性を正確にテストすることが必要である。NodeB は、UE 信号の「アウトオブタイム」の修正処理、および UE の基準タイミングを調整するための修正処理を確実にするためにテストする必要がある。

2 つの典型的な L1 テストの例を下図に示す。最初は電力対リソースブロック（RB）で、単一期間（サブフレーム）の間、各リソースブロックで伝送される個々の電力を示す。これは利用可能な全てのリソースブロックを越えて、電力がどの程度分配されるか、つまり、レポートと L1 電力制御アルゴリズムに基づく受信機に対して、利用可能なリソースがどの程度正しい電力レベルで設定されているかを評価するものである。



2 番目は各 RB の期間における変化量を示す、電力対リソースブロック（RB）である。各 RB は各時間間隔（サブフレーム）にわたって測定され、電力レベルはリソースブロックの色で示される。



LTE における L2/L3 テスト

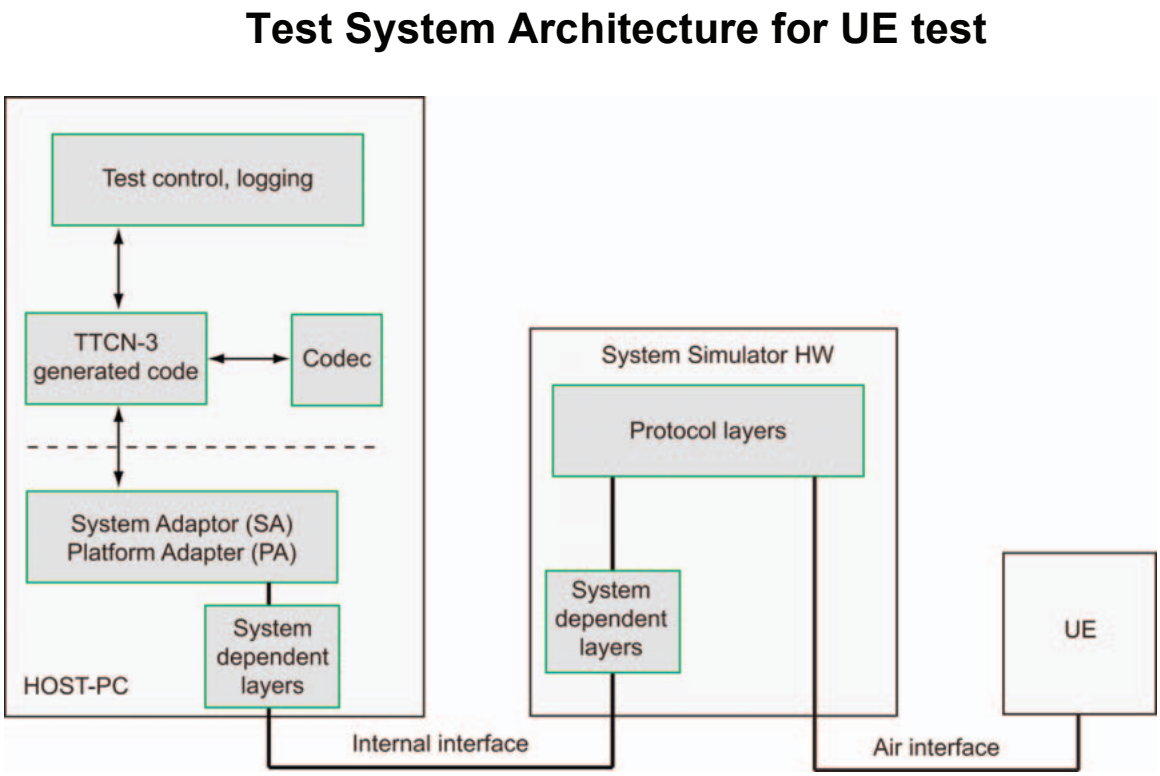
レイヤ 2 とレイヤ 3 テストは、プロトコルスタックにおける異なったレイヤ間のシグナリングとメッセージフローに関するものである。特に、物理リンク層（レイヤ 1）回路およびプロセスとの上位レベルで受信された入力メッセージの正しい送信、およびレイヤ 1 から戻ってくるメッセージの正しい処理に関する。さらに、L2/L3 は、UE とネットワークが通信に対して必ず正しい状態になるように、設定と状態制御処理を実施する必要がある。

このテストは通常、テストされているプロトコルスタックとのメッセージを作成および受信するために、「システムシミュレータ」を用いて行われる。さらに、シミュレータは通常、使用されているレイヤ 1 を通して目標のプロトコルスタックと通信できるように、レイヤ 1 と物理層を実装する。オプションとして、レイヤ 1 を除外することができ、「バーチャルレイヤ 1」を用いて、シミュレータのレイヤ 2 とレイヤ 3 の要素をプロトコルスタックにリンクさせることができる。

3GPP は L1 の要件とテスト仕様を規定している（TS 36.8xx）
3GPP は L2/L3 の適合性試験を規定している（TS 36.521、TS 36.523）
共通テスト環境が規定されている（TS 36.508）
論理テストインターフェース、テストループ、テストモデルが規定されている（TS 36.509）

システムシミュレータは通常、テストの目的に応じて、次の 3 種類の内の 1 つを用いる。

- UE テスト用、ネットワークシミュレータ
- eNodeB テスト用、UE シミュレータ
- ゲートウェイテスト用、IP シミュレータ



1　UE テスト用テスト・システム・アーキテクチャ

各種のシミュレータは全て同様のアーキテクチャを有しており、PHY レイヤ接続のために L1 ハードウェア、L2/L3 とロギング／解析のために制御環境（通常、ホスト PC）を用いる。UE テストのための典型的な実施を下図に示す。LTE UE テストに対して、UE とのテストメッセージを作成するためのスクリプトは TTCN-3 プログラミング言語で書かれている。

UE テストループモード

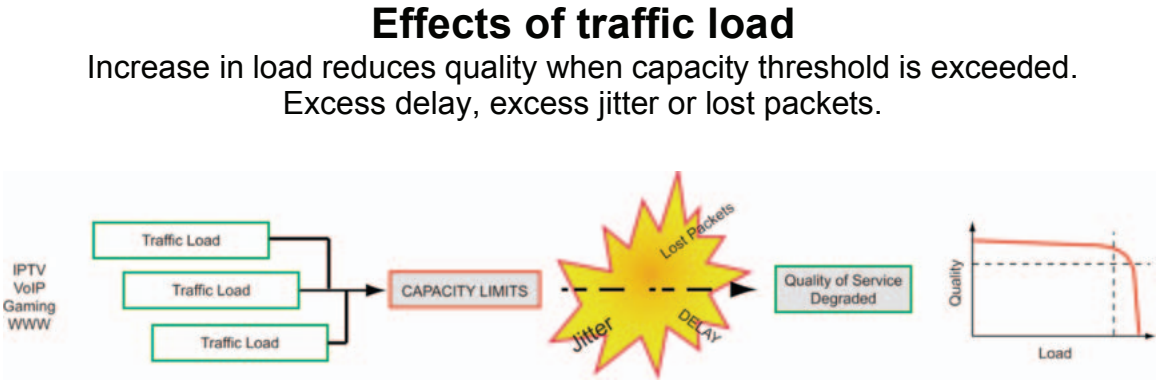
デバイスによって受信されるデータが自動的にデバイスによって元に再伝送される場合、一般的に特別なテストループモードの設定が要求される。これは、特定のデータをデバイスに送信し、それらが正しく受信され、再伝送されたかどうかをチェックすることでデータレートと接続性の検証を可能にする。これはデバイスの通常の操作モードではない。そのため、この特別なテストループモードはデバイスがテスト中にのみ起動される。

多数の MAC、RLC、PDCP/ROHC およびほとんど全てのデータ無線ベアラ（DRB）LTE テストが UE においてテストループを必要とする。テストループがない場合、単に DRB のテスト範囲が規制されるだけでなく、L2 は正しい操作を保証するための十分なテスト範囲を有することができない。UE における単一のテストループは TTCN3 におけるシグナリングテストを必要とし、UE における閉ループポイントが上部の PDCP エンティティで設定される。UE PDCP エンティティがループテスト中に構成され、暗号化を行うことができ、場合によっては ROHC が DRB テストに対して設定される。必要に応じて一部のテストのために、暗号化をダミーアルゴリズムに対して設定することができる。

システムシミュレータへの機能性の実施例を下図に示す。シミュレータが UE をテストループモードにアクティベートさせることが可能となり、さらに UE とのセンドテストデータによるデータスループットの検証と個々のシグナリングレイヤの正しい操作に対する検証が可能となる。通常、PHY、MAC、RLC、および PDCP の機能は全て、それぞれ個々にテストすることが可能である。そして、その結果はスループットや性能テストにまとめられる。

SAE におけるテスト要件

SAE は IP プロトコルを提供する IPv6 と共に、「オール IP」ネットワークコンセプトに基づいている。このプロトコルは、共通のトラフィックフロー問題によってオーバーロードまたは接続の中断を引き起こす、伝統的な「回線」ネットワークから開発された。各データリンクの容量（帯域幅）は通常静的で、トラフィックフロー問題がオーバーロードまたは事実上ゼロ（ケーブルの破損、ルータの損傷など）のリンクで発生する。容量問題は通常、ユーザーのトラフィック量が原因で発生し、ネットワーク事業者は何人のユーザーが特定のハブに接続されているか、また、どんな帯域幅が提供されているかという静的な方法で簡単に制御することができる。無線リンクおよび LTE のような特定の高速適応リンクにおいては、データリンクの容量は、環境（RF パスの損失、基地局までの距離）またはセルの負荷（事業者の制御に関係なくセル内のユーザー数がリアルタイムで変化する）によって変化する。



1　トラフィック負荷の影響
2　容量限界を超えた場合、負荷の増加により品質低下
　　過度の遅延、ジッタ、ロストパケット

そのため、IP ルーティング、フローコントロール、QoS メカニズムは、以下のような変化する帯域幅に対して適応可能でなければならない。

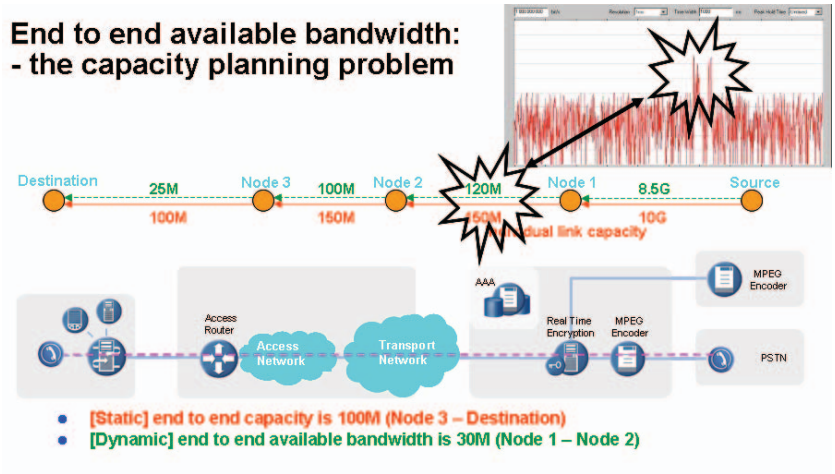
1. 高速（RF フェージングを 1 秒未満で発生）
2. 可変（RF ロスのレベルを数秒で 20～30dB 変化する）データレートを 1 秒未満で 100KB/s～10MB/s まで変化させる
3. 予測不能（セル内利用者の人間的行為によって変化する）

これには可変ビットレートに適した IP 技術とクオリティ・オブ・サービス（QoS）の利用が必要になる。高速可変データレートを管理するため、LTE は eNB において再伝送技術を用いる。これは、大量の再伝送を必要とする突然の信号減衰が生じたときに、データのオーバーフローまたはロスを避けるため、コアネットワークから eNB 内へのバッファリングとフローコントロールメカニズムを必要とするものである。このため IP ネットワークは、フローコントロールと再伝送アルゴリズムを管理する能力に対して幅広くテストを行う必要がある。

ネットワークにおいて提供されているサービスの種類は以下の特性を持った 4 種類に分類することができる。

サービスのクラス	帯域幅	遅延時間	QoS要求	例
会話型	低－中	低	保証	VOIP/ビデオコーリング
ストリーミング	高	低	保証	IPTV、 マルチメディアストリーミング
ブラウジング	低－中	普通	ベストエフォート	ウェブブラウザ
バックグラウンド	中	普通	最小	Eメール同期化
ブロードキャスト	高	低	保証	マルチキャスト

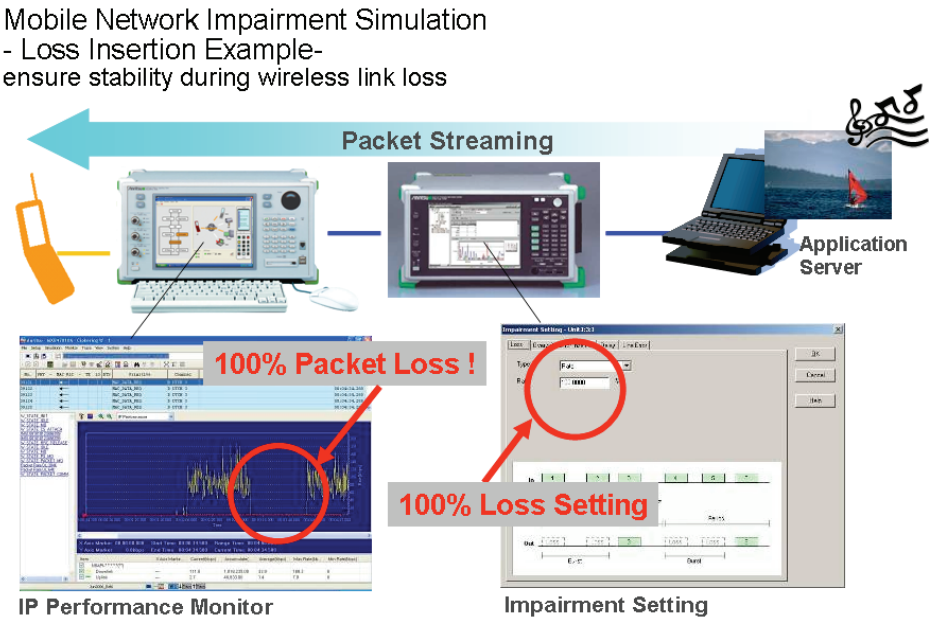
上表から、ブロードキャストサービスがネットワークに対して最も要求が厳しいことが分かる。これは、現在、移動体ネットワーク内において、これらの要求を満足させようとする専用のブロードキャスト技術への強いトレンドが存在しているからである。（MBMS、MediaFlo、 DVB-H など）



1　エンドツーエンドの利用可能帯域幅－容量計画問題
2　[静的]エンドツーエンド容量は 100M（Node３－ディスクリプション）
3　[ダイナミック]エンドツーエンド利用可能帯域幅は 300M（Node1－Node2）

ネットワーク品質保証テストとモニタリングシステムは、利用者の期待を満たすために、サービスの各タイプのデリバリを監視できなければならない。これには、まず、個々のノード／要素レベルにおいてテスト機器を使用することが含まれる。この機器の利用により、負荷テスト、レイテンシ、ジッタなどのネットワーク要素を通して IP トラフィック性能の検証を行う。次に、ライブネットワーク内の機器の性能が、ライブトラフィックフローロギング、デコード、解析ツールを使用して監視できなければならない。これは、負荷、アーキテクチャ、リソースアロケーションなどのパラメータに従って、ネットワーク要素間の相互作用を強調するものである。また、利用者の期待を満たすため、ネットワーク全体の最適化を可能とするものである。

NGN サービスにおけるモビリティとセルラー環境の影響を考えた場合、無線ネットワークの要求条件下においてサービスが正しく機能するかどうかを検証する必要がある。典型的なインターネットベースアプリケーションは、遅延およびジッタなどの規制された機能障害以外は、クライアントとサーバ間のロバストリンクを想定して開発されてきた。LTE/SAE などの無線セルラー環境においては、「ハンドオーバー」、フェージング、モビリティが、無線ネットワークから期待される通常の性能を下回る、データレート（当然ジッタも）の大幅な遅延と変動を取りこむことになる。そのため、無線ネットワーク（VoIP、インスタントメッセージなど）用に開発されるサービスは、より要求の厳しいセルラー環境でテストを行う必要がある。私たちは、これらの影響を分離し、ユーザー体験の影響を評価するために、制御された、繰り返し可能なテスト環境を提供する、ネットワークシミュレータおよびトラフィックインペアメントシミュレータを用いて、そのようなアプリケーション、クライアント、サーバのテストを行うことができる。



1　移動体ネットワークインペアメントシミュレーション
2　挿入ロスの例
　　無線リンクロス中の安定化確保

36.104	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception
36.201	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Long Term Evolution (LTE) physical layer; General description
36.211	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation
36.212	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding
36.213	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures
36.214	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements
36.300	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN); Overall description; Stage 2
36.302	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Services provided by the physical layer
36.304	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) procedures in idle mode
36.321	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification
36.322	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) protocol specification
36.323	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification
36.401	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture description
36.410	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 general aspects and principles
36.411	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 layer 1
36.412	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 signalling transport
36.413	Evolved Universal Terrestrial Access (E-UTRA) ; S1 Application Protocol (S1 AP)
36.414	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 data transport
36.420	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 general aspects and principles
36.421	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 layer 1
36.422	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 signalling transport
36.423	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP)
36.424	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 data transport
36.801	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Measurement Requirements
36.803	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception
36.804	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception
36.938	Improved network controlled mobility between LTE and 3GPP2/mobile WiMAX radio technologies
36.942	Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios

Anritsu

お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社

http://www.anritsu.co.jp

本社	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	TEL 046-223-1111
厚木	〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5	
	計測器営業本部	TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239
	計測器営業本部 営業推進部	TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
	ネットワークス営業本部	TEL 046-296-1205 FAX 046-296-1250
新宿	〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-14-1 新宿グリーンタワービル	
	計測器営業本部	TEL 03-5320-3560 FAX 03-5320-3561
	ネットワークス営業本部	TEL 03-5320-3552 FAX 03-5320-3570
	東京支店(官公庁担当)	TEL 03-5320-3559 FAX 03-5320-3562
札幌	〒060-0042 北海道札幌市中央区大通西5-8 昭和ビル	
	ネットワークス営業本部北海道支店	TEL 011-231-6228 FAX 011-231-6270
仙台	〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町2-3-20 第3日本オフィスビル	
	計測器営業本部	TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
	ネットワークス営業本部東北支店	TEL 022-266-6132 FAX 022-266-1529
大宮	〒330-0081 埼玉県さいたま市中央区新都心4-1 FSKビル	
	計測器営業本部	TEL 048-600-5651 FAX 048-601-3620
名古屋	〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅3-8-7 ダイアビル名駅	
	計測器営業本部／ネットワークス営業本部中部支店	
		代表 052-582-7281 FAX 052-569-1485
大阪	〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル	
	計測器営業本部／ネットワークス営業本部関西支店	
		代表 06-6338-6700 FAX 06-6338-8118
広島	〒732-0052 広島県広島市東区光町1-10-19 日本生命光町ビル	
	計測器営業本部／ネットワークス営業本部中国支店	
		TEL 082-263-8501 FAX 082-263-7306
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクェア	
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699
	ネットワークス営業本部九州支店	TEL 092-471-7655 FAX 092-471-7699

再生紙を使用しています。

計測器の使用方法、その他については､下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221、FAX: 0120-542-425
受付時間／9：00～17：00、月～金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: MDVPOST@anritsu.com

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。 0907

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

No. MD8430A-J-R-1-(2.00) 公知 2009-07 ddc