

ナローバンドIoT (NB-IoT)

ホワイトペーパー

3GPPでは、リリース13の一部として、新しい無線インターフェースであるナローバンドIoT (NB-IoT) が規定されています。NB-IoTは、マシンタイプのトラフィックに最適化されています。デバイスのコストとバッテリー消費を最小にするために、可能な限りシンプルな設計になっています。また、ある種のマシンタイプの通信デバイスは厳しい無線条件下で動作することが多いため、そのような条件にも対応できるように設計されています。NB-IoTは独立した無線インターフェースですが、LTEと密接な関連があります。そのことは、このインターフェースが最新のLTE仕様に統合されていることからわかります。

このホワイトペーパーでは、NB-IoTテクノロジーについて、LTEとの密接な関連に重点を置いて説明します。

注記:

このアプリケーションノート最新版については、当社ホームページ (www.rohde-schwarz.com/appnote/1MA266) をご覧ください。

NarrowBand_IoT – 1MA266_0e

目次

1	はじめに	3
2	概要	5
3	物理層	9
4	セルアクセス	24
5	データ転送	33
6	まとめと今後の見通し	39
7	参考資料	40
8	その他の情報	41
9	ローデ・シュワルツについて	42

1 はじめに

マシン・タイプ・コミュニケーション (MTC) の特徴として、機能の範囲が広いことが挙げられます。例えば、監視カメラはほぼ固定された状態で大量のULデータを送信するのに対し、車両追跡デバイスは、データ量は少ないですがハンドオーバーを頻繁に実行する機能を備えています。

一方で、これらの機能を持たないデバイスのクラスもあります。その例として、電気、ガス、水道のメーター検針値読み取り用デバイスが挙げられます。これらのデバイスは固定されていることが多く、ハンドオーバーの最適化は不要です。送信されるデータは通常ごく少量で、遅延も許容されます。ただし、このようなMTCデバイスの数は膨大な数になりつつあり、従来のデバイスの数と比べて数桁の開きが出てくる可能性もあります。既存のLTEテクノロジーを使用すると、ネットワークの過負荷につながる場合があります。ユーザーデータの量は少ないですが、シグナリングの量はほぼ同じだからです。NB-IoTの最初の仕様は、このクラスのデバイスが対象になっています。

このようなデバイスの多くは、電源のない場所に設置されます。このため、動作は完全にバッテリーに依存します。また、通常は専門のトレーニングを受けたスタッフのみがこれらのデバイスを管理するので、バッテリーの交換費用がかさみます。したがって、デバイス自体の寿命に達していないのに、バッテリーの寿命がきて使用できなくなる場合すらあります。適切に運用していくには、電力消費の最適化が不可欠です。また、これらのデバイスが使われる場所では、カバレッジの確保がきわめて難しい場合も珍しくありません。このため、屋内カバレッジを大幅に改善する必要があり、最大23 dBが必要とされています。

これらのデバイスは使用する数が多いため、低価格である必要があります。各モジュールを5米ドル未満の価格帯に収めることが、目標として求められています。

可能なソリューションを評価するために、3GPPのGERAN TSG [1]でスタディアイテム (検討項目) が議論されました。上記以外の主な要件として挙げられたのが、既存のGSM、UMTS、LTEシステムおよびこれらのテクノロジー向けに使用されるハードウェアとの共存です。

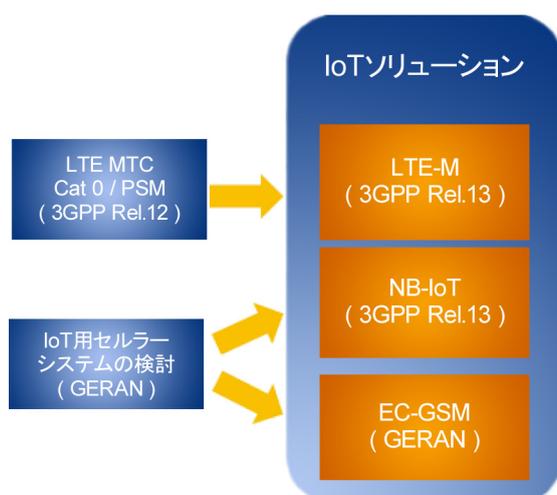


図1-1: 最適化されたIoT規格を策定するための3つの異なるソリューション

このスタディアイテムの検討の結果から、NB-IoTとEC-GSMの2つのソリューションが決定されました。後者はGSM規格に基づいています。これと並行して、純粋なLTEソリューションであるLTE-Mが3GPPに提案されました。3GPPは、リリース12で既に行われていた最適化を引き継いで、新しいデバイスカテゴリであるCat-M1を定義しています。

このホワイトペーパーでは、NB-IoTについて紹介します。NB-IoTはLTE規格に統合されていますが、新しいエアインタフェースと見なすことができます。すなわち、LTEとの下位互換性はありません。使用する時間リソースおよび周波数リソースを既存の規格から、あるいはその近傍で規定して、共存を実現する必要があります。

このホワイトペーパーでは、最初に具体的な要件の概要とネットワークアーキテクチャについて説明し、物理層の詳細を示します。セルへのアクセスについて説明した後、データパケットがエアインタフェース経由で伝送される方法を示します。最後に、このテクノロジーの今後の開発の見通しについて述べます。

2 概要

2.1 要件

前の章で説明したMTCの一般的要件から、以下に示すNB-IoT規格固有の要件が導かれました。

- シグナリングのオーバーヘッドの最小化(特に無線インタフェース上での)
- コアネットワークを含むシステム全体の適切なセキュリティ
- バッテリー寿命の改善
- IPデータと非IPデータの伝送[2、3]
- 展開オプションとしてのSMSのサポート[4]

上記の要件を満たすために、LTEリリース8/9の高度な機能の多くと、基本機能の一部がサポートされていません[5]。その最も顕著な例は、接続状態でのUEのハンドオーバーがサポートされていないことです。サポートされるのはアイドル状態でのセルの再選択だけです。それさえも、NB-IoTテクノロジーの範囲内に制限されています。他の無線テクノロジーとの相互運用がないため、それに関連する機能もサポートされていません。その例としては、LTEと無線LANの相互連携、デバイス内共存のための干渉回避、チャンネル品質の監視のための測定があります。

LTEの高度な機能も、ほとんどがサポートされていません。これには、キャリアアグリゲーション、デュアル接続、デバイス間サービスなどが含まれます。さらに、NB-IoTは遅延の影響を受けるデータパケットには使用されないため、QoSの概念もありません。このため、リアルタイムIMSのようにビットレートの保証が必要なサービスも、NB-IoTではいっさい提供されません。

上記の要件に対して、3GPPは従来と異なるアプローチを採用しています。すべてのタイプのアプリケーションに対して1つのエアインタフェースが用意されるのではなく、遅延が許容される小さいデータパケット用のエアインタフェースが分離され、個別に最適化されています。NB-IoTテクノロジーをサポートするUEには、新しいUEカテゴリであるCat-NB1のタグが付けられます。

2.2 ネットワーク

2.2.1 コアネットワーク

アプリケーションにデータを送信するために、EPS(Evolved Packet System)のCIoT(Cellular Internet of Things)に対して、ユーザープレーンCIoT EPS最適化と制御プレーンCIoT EPS最適化の2種類の最適化が定義されています。[図2-1](#)を参照してください。両方の最適化を使用できますが、NB-IoTデバイスに限定されるものではありません。

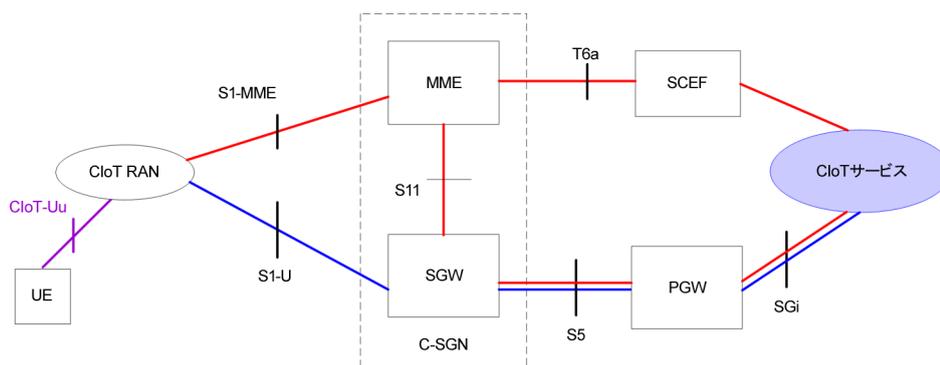


図2-1: NB-IoTデータ送受信ネットワーク。赤で示したのが制御プレーンClot EPS最適化、青で示したのがユーザープレーンClot EPS最適化。

制御プレーンClot EPS最適化では、ULデータがeNB(ClIoT RAN)からMMEに転送されます。データはそこから、サービングゲートウェイ(SGW)経由でパケット・データ・ネットワーク・ゲートウェイ(PGW)に転送されるか、サービス・ケーパビリティ・エクスポージャー機能(SCEF)に転送されます。ただし后者は、IP以外のデータパケットのみが対象です。これらのノードから、データは最終的にアプリケーションサーバー(ClIoTサービス)に転送されます。DLデータは、同じ経路を逆方向に伝送されます。このソリューションでは、データ無線ベアラはセットアップされず、データパケットはシグナリング無線ベアラで送信されます。このため、このソリューションは、データパケットが小さく、送信頻度が低い場合に適しています。

SCEFは、マシンタイプのデータ用に設計された新しいノードです。制御プレーンでのIP以外のデータの伝送に用いられ、ネットワークサービス(認証および承認、検出およびアクセスネットワーク機能)に対する抽象的インタフェースを実現します。

ユーザープレーンClot EPS最適化では、データは通常のデータトラフィックと同じ方法で、すなわちSGWおよびPGM経由の無線ベアラでアプリケーションサーバーに転送されます。このため、接続の確立に多少のオーバーヘッドが生じますが、データパケットのシーケンスの送信が容易になります。この経路は、IPデータとIP以外のデータの両方の伝送をサポートします。

2.2.2 アクセスネットワーク

アクセスネットワークアーキテクチャ全体としては、LTEとの違いはありません[6]。

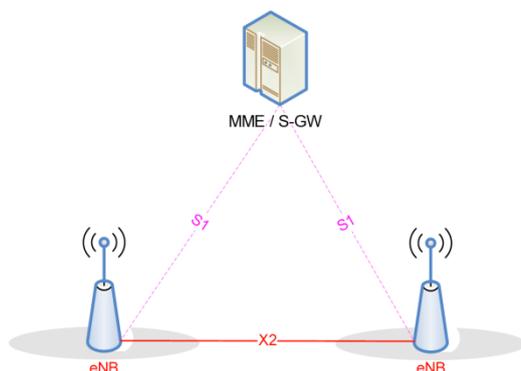


図2-2: エアインタフェースまでのネットワークアーキテクチャ

eNBはS1インタフェースを使用してMMEおよびS-GWと接続されますが、NB-IoTメッセージとデータパケットを伝送する点異なります。ハンドオーバーは定義されていませんが、2つのeNBの間にはX2インタフェースが存在するため、UEがアイドル状態になった後で高速な再開が可能です。詳細については、本書の第4.5.1章「RRC接続の確立」(28ページ)を参照してください。これは、再開プロセスが別のeNBに対するものであっても同じです。

2.3 周波数バンド

周波数バンドに関しては、LTEと同じ周波数番号が用いられ、NB-IoT用のサブセットが定義されています。リリース13では、以下のバンドが使用されます[7]。

バンド番号	アップリンク周波数レンジ/MHz	ダウンリンク周波数レンジ/MHz
1	1920~1980	2110~2170
2	1850~1910	1930~1990
3	1710~1785	1805~1880
5	824~849	869~894
8	880~915	925~960
12	699~716	729~746
13	777~787	746~756
17	704~716	734~746
18	815~830	860~875
19	830~845	875~890
20	832~862	791~821
26	814~849	859~894
28	703~748	758~803
66	1710~1780	2110~2200

注目すべきことは、ほとんどの周波数が既存のLTEバンドの下の方のレンジに存在することです。これは、マシンタイプの通信では、多数のデバイスが困難な無線条件にあることが想定されるからです。

3 物理層

3.1 動作モード

NB-IoTテクノロジーは、帯域幅180 kHzの周波数バンドを占有します[8]。これは、LTE伝送の1つのリソースブロックに対応します。この選択により、以下の動作モードが可能です。

- スタンドアロン動作: 考えられるシナリオとして、現在使用されているGSM周波数の利用があります。GSMの帯域幅は200 kHzなので、スペクトラムの両端に10 kHzのガードインターバルが残されています。
- ガードバンド動作: これは、LTE搬送波のガードバンド内の未使用のリソースブロックを利用するものです。
- インバンド動作: これは、LTE搬送波内のリソースブロックを利用するものです。

これらのモードを以下の図に示します。

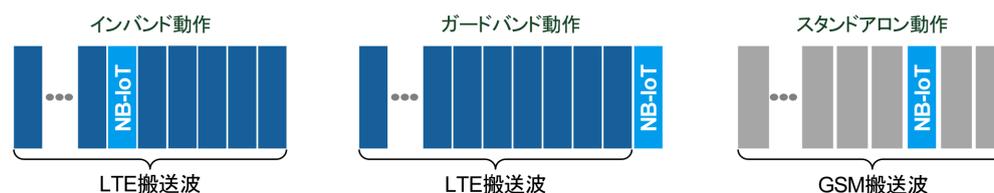


図3-1: NB-IoTの動作モード

スタンドアロン動作の場合、図の右側部分のGSM搬送波は、可能なNB-IoT展開の1つであることを示すための単なる例です。もちろん、この動作モードは、隣接するGSM搬送波がなくても動作します。

インバンド動作の場合、LTEとNB-IoTの間のリソース割り当ては固定ではありません。ただし、すべての周波数(LTE搬送波内のリソースブロック)がセル接続に使用できるわけではありません。周波数は、以下の値に制限されます。

表3-1: NB-IoTインバンド動作のセル接続に使用可能なLTE PRBインデックス

LTEシステム帯域幅	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
NB-IoT同期用のLTE PRBインデックス	2, 12	2, 7, 17, 22	4, 9, 14, 19, 30, 35, 40, 45	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 42, 47, 52, 57, 62, 67, 72	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95

この表に示すように、帯域幅1.4 MHzのLTEバンドではインバンド動作はサポートされません。NB-IoT用のリソースを割り当てる際には、セル固有基準信号(CRS)や、各サブフレームの先頭のダウンリンク制御チャネルなどの、LTEシステムが使用するリソースとの競合を考慮する必要があります。これは表3-1にも反映されており、内側の6個のリソースブロックはLTEの同期信号に割り当てられているため、ここでは使用されていません。

ガードバンド動作の場合、UEは、バンドがガードバンド内に完全に収まる信号にのみ同期します。

さまざまな無線条件に対応するために、カバレッジエンハンスメント(CE)レベルとして、CEレベル0からCEレベル2までの最大3つが使用できます。CEレベル0は通常のカバレッジに対応し、CEレベル2は、カバレッジがきわめて低いと想定されるワーストケースに対応します。定義されるCEレベルの数はネットワークに依存します。各CEレベルに対して、受信した基準信号のパワーしきい値のリストがセル内でブロードキャストされます。CEレベルが複数あることの最大の影響は、メッセージを何回か繰り返す必要があることです。

リリース13では、デュプレックスモードとしてFDD半2重タイプBが選択されています。すなわち、ULとDLは周波数で分離され、UEは受信と送信のどちらか一方を行います。同時にを行うことはありません。さらに、ULからDLへ、またはその逆の切り替えのたびに、最低1個のガードサブフレーム(SF)が挟まれ、その間にUEはトランスミッターチェーンとレシーバーチェーンを切り替えます。

3.2 ダウンリンク

DLには、以下の3つの物理チャンネルがあります。

- NPBCH: 狭帯域物理ブロードキャストチャンネル
- NPDCCH: 狭帯域物理ダウンリンク制御チャンネル
- NPDSCH: 狭帯域物理ダウンリンク共有チャンネル

物理信号としては、以下の2種類が定義されています。

- NRS: 狭帯域基準信号
- NPSSおよびNSSS: 1次および2次同期信号

チャンネルの数はLTEより少なく、物理マルチキャストチャンネル(PMCH)は含まれていません。これは、NB-IoTにMBMSサービスが存在しないからです。

以下の図に、トランスポートチャンネルと物理チャンネルの対応を示します。

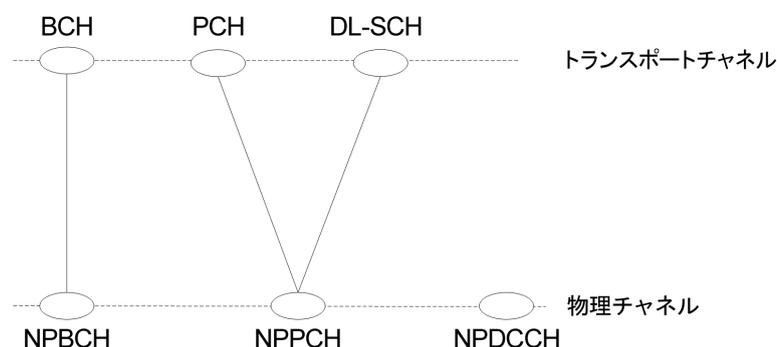


図3-2: トランスポートチャンネルから物理チャンネルへのマッピング

MIB情報は常にNPBCHで伝送され、それ以外のシグナリング情報とデータはNPDSCHで伝送されます。NPDCCHは、UEとeNBの間のデータ伝送を制御します。

物理DLチャンネルは常にQPSKで変調されます。NB-IoTは、アンテナポートAP0およびAP1のうちの1個または2個を使用した動作をサポートします。2個のアンテナポートを使用する場合は、空間周波数ブロック符号化(SFBC)が適用されます。同じ伝送方式が、NPBCH、NPDCCH、NPDSCHのすべてに適用されます。

LTEと同様に、各セルに物理セルID(PCI)が割り当てられます。これは狭帯域物理セルID(NCellID)と呼ばれます。合計504通りの異なるNCellIDが定義されています。NCellIDの値は、2次同期信号(NSSS)によって与えられます。第3.2.3章「同期信号」(13ページ)を参照してください。

3.2.1 フレームおよびスロット構造

DLでは、15 kHzのサブキャリア間隔、ノーマル巡回プレフィックス(CP)のOFDMが使用されます。各OFDMシンボルは12個のサブキャリアから構成され、180 kHzの帯域幅を占有します。7個のOFDMAシンボルが1つのスロットにまとめられるため、スロットのリソースグリッドは以下ようになります[9]。

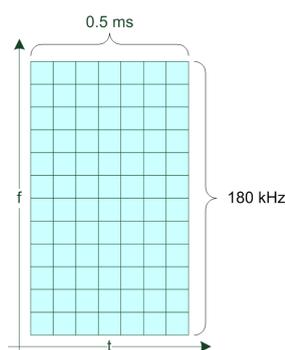


図3-3: 1つのスロットのリソースグリッド。12個のサブキャリアで180 kHzの帯域幅を占めます。

このリソースグリッドは、ノーマルCP長のLTEのリソースブロック1個分と同じです。このことは、インバンド動作モードで重要です。リソース要素は、1個のOFDMAシンボルの1個のサブキャリアと定義され、図3-3では1個の正方形で示されています。これらのリソース要素のそれぞれは、変調方式に基づく値を持つI/Q値を伝送します。

これらのスロットが結合されて、LTEと同じ方法でサブフレームと無線フレームが構成されます。

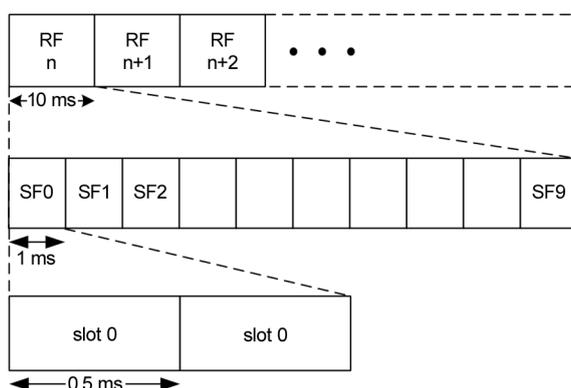


図3-4: NB-IoTのDLとULのサブキャリア間隔15 kHzのフレーム構造

長さ10 msの無線フレームが1024個あり、巡回的に繰り返されます。1個の無線フレームは、10個のSFに分割されます。1個のSFは、2つのスロットから構成されます。

システムフレームの他に、ハイパーフレームという概念が定義されています。これは、システムフレーム周期の数を表すカウンタで、システムフレーム番号が折り返されるたびに増加します。これは10ビットのカウンタなので、ハイパーフレーム周期はシステムフレーム周期の1024個分に対応し、時間としては約3時間になります。

3.2.2 狭帯域基準信号

狭帯域基準信号(NRS)は、すべてのSFで送信され、ブロードキャストまたは専用のDL伝送に使用できます(実際にデータが送信されるかどうかは問いません)。詳細については、[第3.2.5章「専用チャネル」](#)(16ページ)を参照してください。

NRSは、伝送方式に応じて、1個または2個のアンテナポートで送信されます。NRSの値はLTEのCRSと同様に作成され、PCIとしてはNCellIDが使用されます。マッピングシーケンスを以下の図に示します。

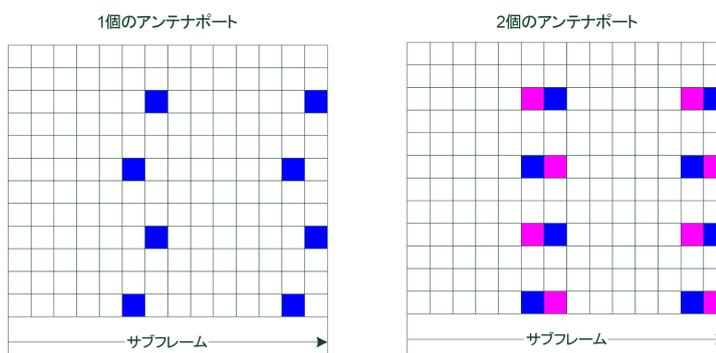


図3-5: 基準信号からリソース要素への基本的なマッピング。青で示すのはアンテナポート0で送信されるNRS、マゼンタで示すのはポート1で送信されるNRS。

図3-5に示されているNRSマッピングは、さらに周波数レンジ内で、NCellIDを6で割った剰余により巡回的にシフトされます。NRSが2つのAPで送信される場合、AP0のNRSで 사용되는各リソース要素に対して、AP1の対応するリソース要素が0に設定され、AP1のNRSで 사용되는各リソース要素に対して、AP0の対応するリソース要素が0に設定されます。

インバンド動作の場合、LTE CRSも、NB-IoTバンド内のMBSFNに使用されていないSFで送信されます。NRSの構造では、LTE CRSとNRSの間に重なりはありませんが、レートマッチングとリソース要素のマッピングにおいて、CRSを考慮する必要があります。DL伝送はこれらのリソース要素を使用することはできず、スキップする必要があります。

インバンド動作では、NcellIDに関連する重要なポイントがあります。NcellIDは、それが埋め込まれているLTEセルのPCIと一致する場合としない場合があります。これは、MIB-NBのoperationModeパラメータで示されます(第3.2.4章「狭帯域物理ブロードキャストチャネル」(14ページ)を参照)。これは、同じPCIによるインバンド動作の場合はtrue、そうでない場合はfalseに設定されます。このパラメータがtrueに設定されている場合、NCellIDとPCIは同じであり、UEは、アンテナポートの数がLTEセルと同じであると仮定できます。この場合、チャンネルはどちらの基準信号セットからでも推定できます。すなわち、LTE CRSのポート0はNRSのポート0と、CRSのポート1はNRSのポート1と対応します。samePCIがfalseに設定されている場合、UEは上記を仮定できません。

3.2.3 同期信号

フレームおよびサブフレームでの最初の同期と、NCellIDの判定のためには、LTEの1次同期信号(PSS)と2次同期信号(SSS)の概念が再利用されています。これらの信号を使用して、UEレシーバーでタイミングと周波数の推定を微調整することもできます。

これらの信号は、LTEの対応する信号と区別するために、NPSSおよびNSSSと呼ばれています。これらの信号の構造を以下の図に示します。

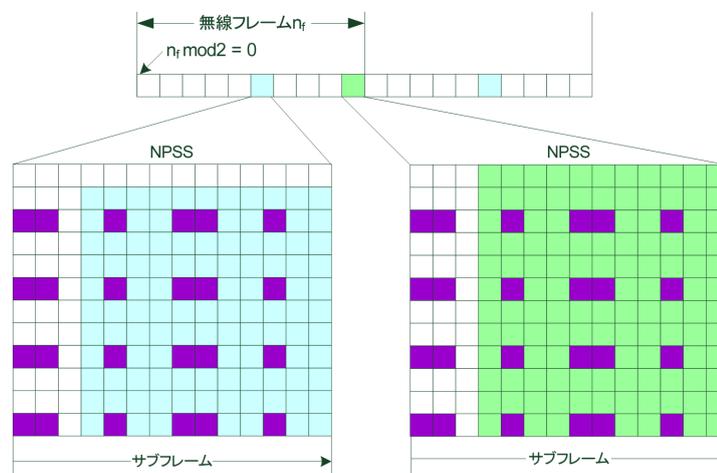


図3-6: 1次同期信号(薄い青)と2次同期信号(緑)。LTE CRSの位置は紫で示されています。この例では、4個のアンテナポートによるCRS伝送を仮定しています。NPSSおよびNSSSサブフレームではNRSは伝送されません。

最初の3個のOFDMシンボルは除外されます。これは、NB-IoTがインバンドモードで動作する場合、これらのシンボルにはLTEのPDCCHが含まれる可能性があるからです。NPSSおよびNSSSと同期している間は、UEは動作モードを知らない可能性があります。このため、このガード時間はすべてのモードに適用されます。さらに、両方の同期信号はLTEのCRSによってパンクチャされます。同期信号にどちらのアンテナポートが使用されるかは規定されていません。アンテナポートの選択は、2つのSFの間で変化する場合があります。

NPSSのシーケンス生成には、周波数ドメインの長さ11のZadoff-Chuシーケンスが使用されます。このシーケンスは固定であり、セルに関する情報は伝達しません。このシーケンスは各無線フレームのSF5で送信されるため、UEはこれを受信することによりフレーム境界を判定できます。

NSSSシーケンスは長さ131の周波数ドメインZadoff-Chuシーケンスから生成され、バイナリスクランブルされて、無線フレーム番号に応じて巡回シフトされます。NCellIDは追加の入力パラメータなので、シーケンスから導出できます。LTEと同様、504通りのPCIの値が定義されています。NSSSは、偶数番号のすべての無線フレームの最後のSFで送信されます。

インバンド動作の場合、NPSS、NSSS、および次のセクションで説明するNPBCHの送信は、表3-1に示すPRBでのみ可能です。この情報を受信するために選択された搬送波のことを、アンカー搬送波と呼びます。

この構成により、UEがNB同期信号とLTEシステムから送信された同期信号を混同するおそれなくなります。このため、誤検出の危険はなく、どちらのテクノロジーを使用するUEも自動的に正しい周波数レンジに導かれます。

3.2.4 狭帯域物理ブロードキャストチャネル

NPBCHは、狭帯域マスター情報ブロック(MIB-NB)を伝送します。MIB-NBには34ビットの情報が含まれ、640 msの時間(すなわち、64 個の無線フレーム)にわたって送信されます。伝送される情報は、以下のとおりです。

- システムフレーム番号(SFN)の最上位ビット(MSB)を表す4ビット。残りの最下位ビット(LSB)は、MIB-NBの開始部分から暗黙に導出されます。
- ハイパーフレーム番号のLSBを表す2ビット
- SIB1-NBのスケジューリングとサイズに対応する4ビット
- システム情報値タグを表す5ビット
- アクセス・クラス・バーリングが適用されているかどうかを示す1ビット
- 動作モードとモード固有の値を表す7ビット
- 将来の拡張用の予備の11ビット

図3-7に、物理リソースに対するマッピングを示します。

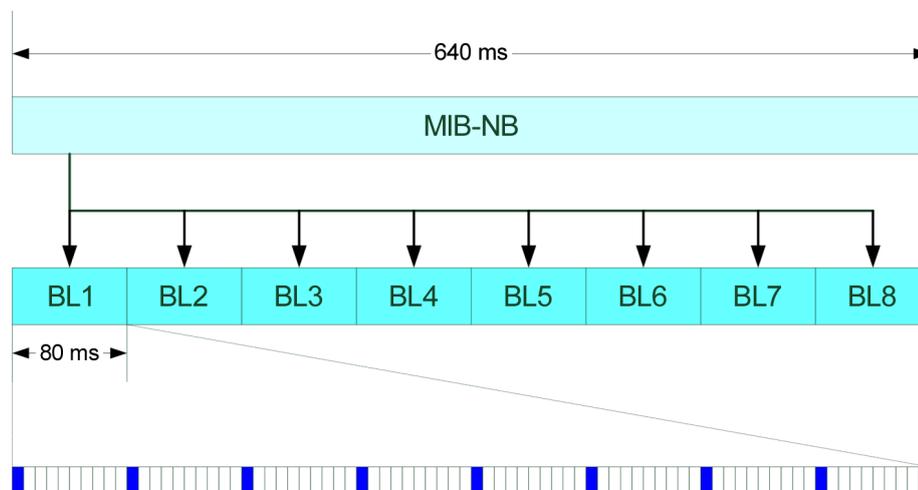


図3-7: NPBCHとサブフレームのマッピング

物理層のベースバンド処理の後で、MIB-NBは8ブロックに分割されます。最初のブロックは最初のサブフレーム(SF0)で送信され、その後7個の連続する無線フレームのSF0で繰り返されます。次の無線フレームのSF0では、同じ手順がBL2に対して実行されます。このプロセスは、MIB-NB全体が送信されるまで継続されます。すべての送信にSF0を使用することによって、NB-IoTがインバンド動作で展開されている場合に、NPBCHがLTEのMBSFNと衝突することを避けられます。

NPBCHのSF構造を以下の図に示します。

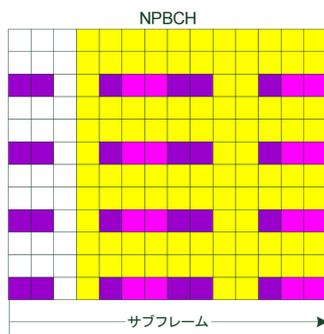


図3-8: 黄色で示したのがNPBCHによって占有されるリソース要素。マゼンタはNRS、紫はCRS。

シンボルは、NRSとLTE CRSの周囲にマップされます。ここでは、NRSに対しては2個のアンテナポート、CRSに対しては4個のアンテナポートが定義されていると常に仮定されます。この仮定が必要なのは、UEが実際のアンテナポート情報を得る手段がMIB-NBの読み取り以外にないからです。周波数レンジ内の基準信号の位置は、NSSSで提供されるNCellIDによって指定されます。インバンド動作ではNCellIDがPCIと異なる場合がありますが、その範囲は同じ周波数位置を示すように制限されています。このため、UEは周波数レンジ内のCRSの巡回シフトを知ることができます。この場合も、最初の3個のOFDMシンボルは、LTEの制御チャンネルとの衝突を避けるために除外されます。

3.2.5 専用チャネル

制御チャネルと共有チャネルの原則はNB-IoTにも当てはまり、狭帯域物理ダウンリンク制御チャネル(NPDCCH)と狭帯域物理ダウンリンク共有チャネル(NPDSCH)が定義されています。すべてのSFが専用DLチャネルの伝送用に使用できるわけではありません。RRCシグナリングでは、有効なSFを示す10ビットまたは40ビットのビットマップが通知され、周期的に適用されます。SFが有効と指定されていない場合は、専用DLチャネルの送信は次の有効なSFまで延期されます。

3.2.5.1 制御チャネルNPDCCH

NPDCCHは、NPDSCHにデータが存在するUEと、データが存在する場所、データが繰り返される頻度を示します。また、ULグラントもこのチャネルで伝送されます。これは、UEがULでのデータ伝送に使用するリソースを表します。最後に、ページングやシステム情報更新などの追加情報もNPDCCHで伝送されます。

以下の図に、NPDCCHサブフレームの設計を示します。

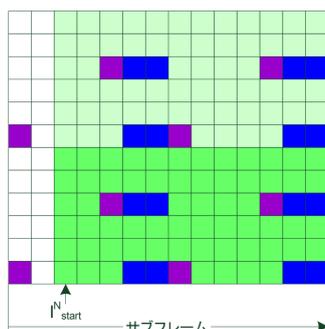


図3-9: NPDCCH(薄い緑と濃い緑)、LTE CRS(紫)、NRS(青)に使用されるリソース要素。この例はインバンド動作の場合のマッピングを示し、LTEセルで1個のアンテナポート、NB-IoTで2個のアンテナポートが使用されると仮定しています。

NPDCCHに使用されるリソース要素は緑で示されています。これらは、青で示されているNRSと、インバンド動作の場合はCRS(紫)の周囲にマップされる必要があります。パラメータ N_{start}^N は、NB-SIB1で通知される制御領域のサイズであり、OFDM開始シンボルを表します。これにより、インバンド動作の場合にLTE制御チャネルとの衝突を避けることができます。ガードバンドおよびスタンドアロン動作モードでは、制御領域のサイズはデフォルトで0なので、NPDCCHで使用できるリソース要素の数が増えます。

各SFで、2つの狭帯域制御チャネル要素(NCCE)、すなわちNCCE0とNCCE1が定義されています。これらは、図3-9では、濃い緑(NCCE0)と薄い緑(NCCE1)で示されています。これらを使用するNPDCCHフォーマットとして、以下の2種類が定義されています。

- NPDCCHフォーマット0は、1個のNCCEを使用します。このため、1つのSFで2個伝送できます。
- NPDCCHフォーマット1は、両方のNCCEを使用します。

UEが制御情報を検出する際の処理が複雑になりすぎないように、NPDCCHは以下の検索空間にグループ化されます。

- タイプ1共通検索空間: ページングに使用
- タイプ2共通検索空間: ランダムアクセスに使用
- UE固有の検索空間

各NPDCCHは複数回繰り返すことができ、その上限はRRCによって設定されます。これに加えて、タイプ2共通検索空間とUE固有の検索空間はRRCによって与えられます。これに対して、タイプ1共通検索空間はページング機会SFによって与えられます。詳細については、[第4.7章「ページング」](#)(32ページ)を参照してください。

UEには、それぞれ異なる無線ネットワーク一時識別子(RNTI)が割り当てられます。これには、ランダムアクセス用(RA-RNTI)、ページング用(P-RNTI)、およびランダムアクセス手順で与えられるUE固有の識別子(C-RNTI)があります。これらの識別子は、NPDCCHのCRCで暗黙に指定されます。したがって、UEは自分の検索空間でそのRNTIを探し、見つかった場合はNPDCCHをデコードします。

リリース13では、DCIフォーマットとして、N0、N1、N2の3種類が定義されています[10]。

DCIフォーマット	サイズ/ビット	内容
N0	23	UL Grant
N1	23	NPDSCHスケジューリング NPDCCHオーダーによって開始されるRACH手順
N2	15	ページングおよび直接指示

NPDCCHを受信したUEは、以下に示す方法で各フォーマットを識別することができます。DCIフォーマットN2は、CRCがP-RNTIでスクランブルされる方法によって暗黙に指示されます。CRCがC-RNTIでスクランブルされている場合、メッセージの最初のビットによって、DCIフォーマットN0とN1のどちらが伝送されているかがわかります。CRCがRA-RNTIでスクランブルされている場合、内容は制限されたDCIフォーマットN1であり、RACH応答に必要なフィールドだけが含まれています。

DCIフォーマットN0およびN1には、スケジューリング遅延、すなわち、NPDCCHの終わりと、NPDSCHの開始またはNPUSCHの開始の間の時間が含まれています。この遅延は、NPDSCHの場合は5 SF以上、NPUSCHの場合は8以上です。DCIフォーマットN2によるDL伝送の場合、スケジューリング遅延は10 SFに固定されます。

3.2.5.2 トラフィックチャネルNPDSCH

NPDSCH SFの構造は、[図3-9](#)に示されているNPDCCHと同じです。先頭にあるのは、設定可能なOFDMシンボル I_{start}^N であり、NRSの周辺にマップされます。インバンド動作の場合、LTE CRS. I_{start}^N はRRCシグナリングによって指定され、インバンド動作以外の場合は0です。

サポートされる最大トランスポートブロックサイズ(TBS)は680ビットです。トランスポートブロックのマッピングは、 N_{SF} 個のSFにわたります。UEでの受信を最適化するために、トランスポートブロックは、SFインターリーブを使用して反復され、 N_{Rep} 個の同一のコピーが作成されます。 N_{SF} と N_{Rep} の値は、どちらもDCIで指定されます。結果のSFシーケンスは、NPDSCHに対して定義された $N_{SF} \cdot N_{Rep}$ 個の連続するSFにマップされます。

DLに関しては、送信に対する自動確認応答はなく、eNBは確認応答をDCIで通知します。この場合、UEは確認応答をNPUSCHフォーマット2で送信します。詳細については、[第3.3.2章「物理アップリンク共有チャネル」](#)(19ページ)を参照してください。関連するタイミングとサブキャリアも、このDCIで指示されます。

すべての動作モードで、マルチキャリアがサポートされます。すなわち、UEが接続中状態にあるときに、別の搬送波を使用することができます。詳細については、[第5.2.2章「マルチキャリア構成」](#)(35ページ)を参照してください。アイドル状態では、UEは同期信号とブロードキャスト情報を受信したNB-IoT搬送波(アンカー搬送波)に留まります。UEはここでページングを待つか、移動機発のデータまたはシグナリングのためのアクセスを開始します。データとシグナリングのどちらの場合も、SIB2-NBで指定されたUL搬送波でプリアンブルが送信されます。

SIB1-NBの送信

SIB1-NBは、NPDSCHで送信されます。その周期は256無線フレームで、4、8、または16回繰り返されます。トランスポートブロックサイズと反復回数は、MIB-NBで指示されます。反復回数は4、8、または16回で、208、328、440、680ビットの4通りのトランスポートブロックサイズが定義されています。SIB1-NBが開始される無線フレームは、反復回数とNCeIIIDによって決まります。SIB1-NBが送信されるすべての無線フレームで、SIB1-NBにはSF4が使用されます。その他の送信パラメータも固定されており、制御チャネルでの対応する指示はありません。

SIB1-NBの内容は、変更周期ごとに変わることができます。変更周期の長さは4096無線フレーム、すなわち40.96秒です。これはSFN周期の4回分に対応するので、ハイパーフレーム番号のLSB 2ビットがMIB-NBで指示されます。変更が起きる場合は、NPDCCHのDCIフォーマットN2を使用してそのことが指示されます。

SIB1-NBリソースは、NPDSCHで送信されますが、マッピングの方法は[図3-8](#)に示すMIB-NBと同じです。すなわち、最初の3個のOFDMシンボルが除外されます。これが必要なのは、UEはSIB1-NBからリソースマッピングの開始を知っているため、このSIBを最初にデコードする必要があるからです。

3.3 アップリンク

アップリンク(UL)で定義されている物理チャネルは、以下の2つです。

- NPUSCH: 狭帯域物理アップリンク共有チャネル
- NPRACH: 狭帯域物理ランダム・アクセス・チャネル

また、以下の信号が定義されています。

- DMRS: 狭帯域基準信号

物理チャネルと、関連するトランスポートチャネル間の関係を、以下の図に示します。

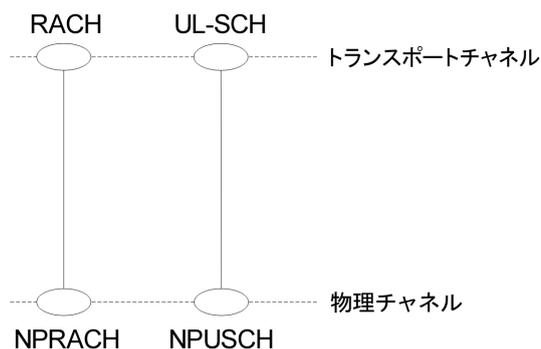


図3-10: ULのTransportチャンネルと物理チャンネルの間のマッピング

RACH送信の場合を除いて、すべてのデータはNPUSCHで送信されます。これには、別のフォーマットで送信されるUL制御情報(UCI)も含まれます。このため、LTEのPUCCHIに相当するものではありません。

3.3.1 スロット構造

ULでは、シングルキャリア周波数分割多元接続(SC-FDMA)が、3.75 kHzまたは15 kHzのサブキャリア間隔で適用されます。どちらを使用するかは、eNBで決定されます。

15 kHzのサブキャリア間隔を使用する場合、ULのリソースグリッドはDLの場合と同じです。[図3-3](#)を参照してください。サブキャリア間隔が3.75 kHzの場合、スロットのリソースグリッドは以下のように変更されます。

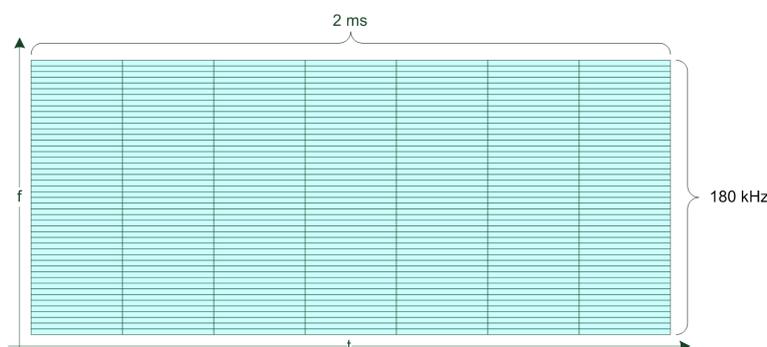


図3-11: サブキャリア間隔が3.75 kHzの場合のリソースグリッド。48個のサブキャリアで180 kHzの帯域幅を占有します。

この場合も、1つのスロットには7個のOFDMシンボルがあります。OFDMの原理に従って、サブキャリア間隔が3.75 kHzの場合のシンボル時間は、15 kHzの場合の4倍なので、スロット長は2 msになります。

3.3.2 物理アップリンク共有チャンネル

物理アップリンク共有チャンネルNPUSCHでは、2種類のフォーマットが定義されています。NPUSCHフォーマット1は、UL-SCHでのUL Transportチャンネルのデータ用で、Transportブロックのサイズは1000ビット以内です。NPUSCHフォーマット2は、UL制御情報(UCI)を伝送します。これは、リリース13では、DL送信に対する確認応答に制限されています。

トランスポートブロックをマップする最小単位は、リソースユニット(RU)です。この定義は、PUSCHフォーマットとサブキャリア間隔によって異なります。

NPUSCHフォーマット1でサブキャリア間隔が3.75 kHzの場合、RUは周波数レンジ内の1個のサブキャリアと、時間範囲内の16個のスロットから構成されます。すなわち、RUの長さは32 msです。サブキャリア間隔が15 kHzの場合、以下の4つのオプションがあります。

サブキャリア数	スロット数	RU持続時間
1	16	8 ms
3	8	4 ms
6	4	2 ms
12	2	1 ms

NPUSCHフォーマット2の場合、RUは常に1つのサブキャリアから構成され、長さは4スロットです。したがって、サブキャリア間隔が3.75 kHzの場合、RUの持続時間は8 msであり、サブキャリア間隔が15 kHzの場合は2 msです。

NPUSCHフォーマット2の場合、変調方式は常にBPSKです。NPUSCHフォーマット1で使用可能な変調方式は、選択されたRUによって異なります。

- サブキャリアが1つのRUの場合、BPSKとQPSKが使用可能です。
- 他のすべてのRUには、QPSKが使用されます。

NPDCCHのDCIフォーマットN0で、UL-SCH伝送のグラントが通知されます。このDCIでは、NPUSCHの開始時間、反復回数、1個のトランスポートブロックに使用されるRUの数、サブキャリアの数と周波数レンジ内でのその位置が通知されます。この他に、MCSインデックスも含まれています。これはサブキャリアが1つのRUの変調方式を指定するとともに、RUの数とトランスポート・ブロック・サイズも指定します。

最後に、逆フーリエ変換を適用し、巡回プレフィックス(CP)を先頭に付加することにより、時間信号が作成されます。サブキャリア間隔が15 kHzの場合、このCPIは、通常のCPを使用するLTEの場合と同じですが、3.75 kHzの場合は256サンプルで、8.3 μsに対応します。後者の場合、各スロット末尾の2304サンプル分の時間(75 μs)は空白にされ、ガードインターバルとして用いられます。インバンド動作の場合、このガード間隔を使用して、LTEシステムのサウンディング基準信号を送信できます。

DL送信では確認応答を送るかどうかを設定可能であるのに対し、ULの場合は対応するDLで常に確認応答が送られます。

3.3.3 基準信号

ULでは、復調基準信号(DMRS)が定義されています。これはデータと多重化されるため、データ伝送を含むRUでのみ送信されます。ULではMIMO送信は定義されていないので、すべての送信には1個のアンテナポートが使用されます。

NPUSCHフォーマットに応じて、DMRSの送信時の1スロットあたりのシンボル数は、1個または3個になります。NPUSCHフォーマット1の場合、[図3-12](#)に赤で示すシンボルがあります。

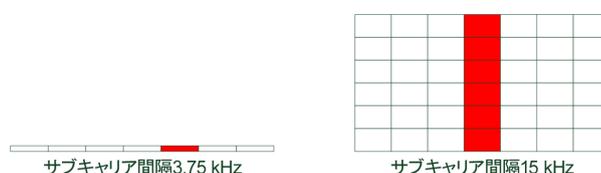


図3-12: NPUSCHフォーマット1で復調基準信号に使用されるリソース要素。この図には、サブキャリア間隔15 kHzの6個のサブキャリアでのRU占有の例を示します。

この図からわかるように、DMRS送信に使用されるSC-FDMシンボルは、サブキャリア間隔によって異なります。これは、NPUSCHフォーマット2にも当てはまります。[図3-13](#)を参照してください。



図3-13: NPUSCHフォーマット2で復調基準信号に使用されるリソース要素。このフォーマットでは、RUは通常1個のサブキャリアだけを占有します。

DMRSシンボルは、ベースシーケンスに位相係数を乗算することによって構築されます。変調は対応するデータと同じです。NPUSCHフォーマット2の場合、DMRSシンボルは、LTEのPUCCHフォーマット1、1a、1bに対して定義されているのと同じ直交シーケンスで拡散されます。

3.3.4 ランダム・アクセス・チャネル

ランダム・アクセス・チャネル(NPRACH)では、プリアンブルが送信されます。[第4.4章「ランダムアクセス手順」](#)(27ページ)に記載されている関連するランダムアクセス手順を使用することにより、UEがセルにキャンプしてアクセスを求めていることをセルに伝達できます。

プリアンブルは、1個のサブキャリアのシンボルグループに基づきます。各シンボルグループでは、巡回プレフィックス(CP)の後に5個のシンボルが続きます。このシーケンスの構造を以下に示します。

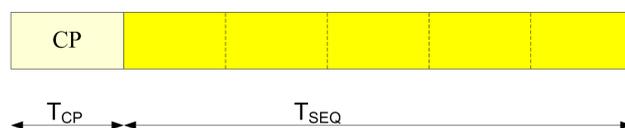


図3-14: プリアンブル・シンボル・グループ

プリアンブルフォーマットとしては、フォーマット0とフォーマット1の2種類が定義されていて、CP長が異なります。5個のシンボルの長さは $T_{SEQ} = 1.333 \text{ ms}$ で、前に置かれるCPの長さは、フォーマット0では $T_{CP} = 67 \mu\text{s}$ 、フォーマット1では $267 \mu\text{s}$ であり、全体の長さはそれぞれ1.4 ms、1.6 msとなります。使用されるプリアンブルフォーマットは、システム情報でブロードキャストされます。

プリアンブルは、ギャップなしで送信される4つのシンボルグループから構成されます。周波数ホッピングはシンボルグループ単位で適用されます。すなわち、各シンボルグループは異なるサブキャリアで送信されます。構造上、このホッピングは12個のサブキャリアの連続するセットに制限されます。セルは、カバレッジレベルに応じて、UEがプリアンブルを1、2、4、8、16、32、64、または128回繰り返すように指示します。この際、繰り返しごとに同じ送信パワーが用いられます。

NPRACHリソースは、各CEグループに対して個別に指定されます。これには時間リソースと周波数リソースの割り当てがあり、周期的に行われます。NPRACHの周期は40 ms～2.56 sの範囲で設定できます。周期内の開始時間は、システム情報で指定されます。終了時間は、繰り返し回数とプリアンブルフォーマットによって決まります。

周波数レンジ内では、3.75 kHzのサブキャリア間隔が使用されます。NPRACHリソースは、12、24、36または48のサブキャリアの連続するセットを占有し、サブキャリア範囲の不連続なセット上に配置されます。セル構成によっては、リソースはさらに、msg3でマルチトーン伝送をサポートするUEが使用するリソースと、それ以外のUEが使用するリソースに分割される場合もあります。

図3-15に示すのは、4回以上繰り返されるプリアンブルの例です。ここで、青い四角形は、図3-14に示されている1個のプリアンブル・シンボル・グループを表します。すなわち、プリアンブルの繰り返しは4個の四角形から構成されます。

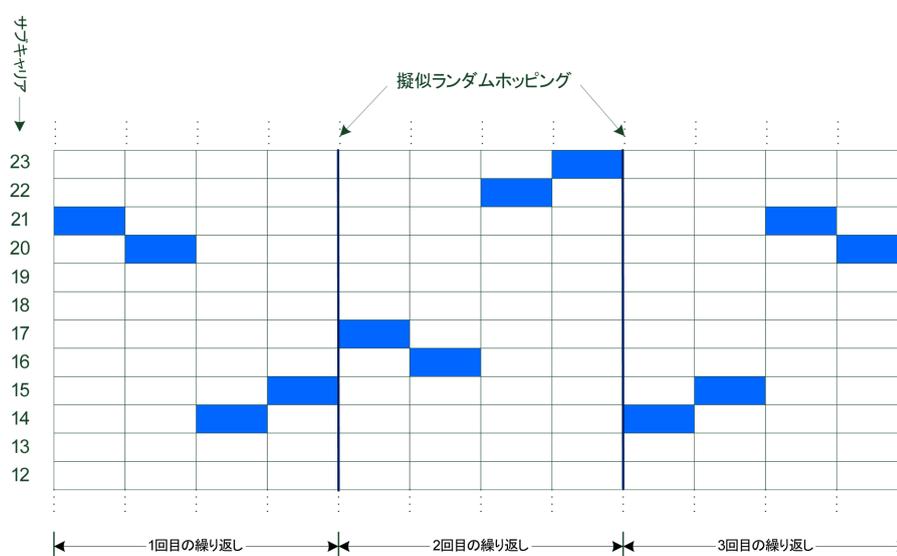


図3-15: サブキャリア12から23までの周波数レンジ内のプリアンブルシーケンス

UEは、12通りの可能性の中から、最初のプリアンブル・シンボル・グループの送信に使用するサブキャリアを選択します。ただし、オーダードプリアンブル送信の場合、これはeNBによって指定されます。その後の3つのシンボルグループは、最初のシンボルグループの位置だけに依存するアルゴリズムによって決定されます。その次の繰り返しの最初のシンボルグループのサブキャリアを選択する際には、擬似ランダムホッピングが適用され、NCellIDと繰り返し回数が入力として使用されます。その後のシンボルグループのサブキャリアの選択は、やはりこの結果だけに依存します。

この周波数ホッピングアルゴリズムは、最初のサブキャリアの異なる選択が、重なり合うことがないホッピング方式につながるように設計されています。このため、輻輳が生じない異なるプリアンプルの数は、NPRACHに割り当てられたサブキャリアの数と一致します。NB-IoTについては、これ以外の分割は行われません。すなわち、LTEで使用されるプリアンプルインデックスのような概念はありません。

プリアンプルシーケンスは、サブキャリアの位置に依存するZadoff-Chuシーケンスに基づいて構築されます。変調と搬送波周波数へのアップコンバージョンは、LTEと同じ方式で行われます。

3.4 パワー制御

3.4.1 アップリンク

ULの送信パワーは、セル固有のパラメータ、選択されたRU、およびUEで測定されたパラメータによって決まります[11]。繰り返し回数が最大2回の場合、スロット*i*のパワーは以下の式で与えられます。

$$P_{\text{NPUSCH},c}(i) = \min \left\{ \begin{array}{l} P_{\text{CMAX},c}(i), \\ 10 \log_{10} (M_{\text{NPUSCH},c}(i)) + P_{\text{O_NPUSCH},c}(j) + \alpha_c(j) \cdot PL_c \end{array} \right\}$$

繰り返し回数が2回より多い場合、伝送パワーは一般的に $P_{\text{CMAX},c}(i)$ で与えられます。

$P_{\text{CMAX},c}(i)$ は、スロット*i*のセル固有の最大送信パワーです。上記の構成では、送信パワーがこのしきい値を超えることはできません。 $M_{\text{NPUSCH},c}$ は選択されたRUの帯域幅とサブキャリア間隔に依存します。 $P_{\text{O_NPUSCH},c}$ はRRCで通知されるいくつかのパラメータの組み合わせであり、トランスポートブロックがUL-SCHデータ用であるか($j=1$)、またはRACHメッセージ用であるか($j=2$)によって異なります。 PL_c は、UEによって推定された経路損失です。この係数は、 $\alpha_c(j)$ によって重み付けされます。この値はNPUSCHフォーマット1の場合はRRCで指定され、それ以外の場合は固定値1が適用されます。言い換えれば、この係数は、経路損失がどの程度強く補正されるかを示します。

3.4.2 ダウンリンク

DL送信パワーは、NRS送信パワーを表します。この値は、経路損失の推定のためにUEに伝達されます。この値は、NRSを伝送するすべてのリソースに対して、およびすべてのSFに対して一定です。

NPBCH、NPDCCH、NPDSCHに関しては、送信パワーは送信方式によって異なります。使用されるアンテナポートが1個だけの場合は、パワーはNRSの場合と同じであり、それ以外の場合は3 dB低くなります。

特殊なケースとして、インバンド動作モードが使用され、samePCIの値がtrueに設定された場合があります。この場合、eNBがNRSパワーとCRSパワーの比を追加で通知する場合があります。これにより、UEは、チャンネル推定にCRSも使用することができます。

4 セルアクセス

UEがセルにアクセスする際には、LTEと同じ原則に従います。UEは最初に適切な周波数でセルを探索し、関連するSIB情報を読み取って、ランダムアクセス手順を開始することにより、RRC接続を確立します。登録されていない場合は、この接続によりNAS層経由でコアネットワークへの登録が行われます。UEは、RRC_IDLE状態に戻った後、移動機発の送信データがある場合は、もう一度ランダムアクセス手順を使用するか、ページングされるまで待ちます。

4.1 プロトコルスタックとシグナリングベアラ

プロトコル層の一般的な原則は、LTEプロトコルで開始して、最小限にまで簡略化した後で、NB-IoTの必要に応じて拡張するというものです。これにより、実証済みの構造と手順を再利用しながら、不要なLTE機能によるオーバーヘッドをなくすことができます。このため、NB-IoTテクノロジーは、プロトコルスタックの観点からも、確立されたベースの上に築かれた新しいエアインタフェースと見なすことができます。

その一例として、ベアラ構造を上げることができます。シグナリング無線ベアラの一部は、LTEのものが再利用されています。RRCメッセージ用のSRB0はCCCH論理チャネルで送信され、RRCメッセージおよびNASメッセージ用のSRB1はDCCH論理チャネルを使用します。ただし、SRB2は定義されていません。

これに加えて、新しいシグナリング無線ベアラであるSRB1bisが定義されています。この無線ベアラはSRB1と同じ構成を使用して暗黙に構成されますが、PDCPがありません。この無線ベアラのチャネルは、セキュリティが有効化されるまでSRB1の役割を果たしますが、セキュリティが有効化された後はSRB1bisは使用されません。このことから、制御プレーンCIoT EPS最適化では、SRB1bisだけが使用されることがわかります。このモードでは、セキュリティが有効化されることはないからです。

プロトコルスタックはLTEと同じですが、機能はNB-IoTに最適化されています。

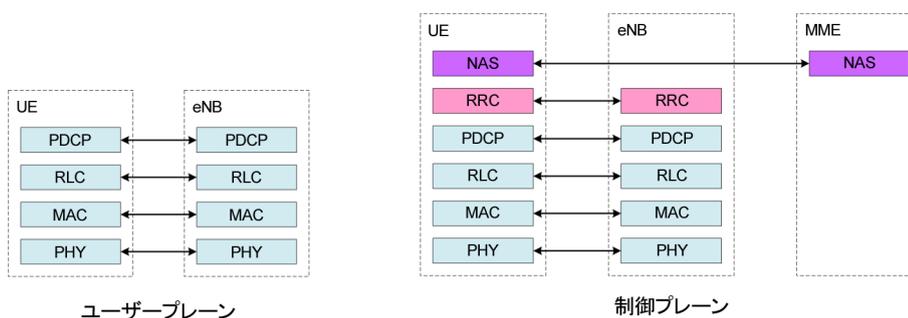


図4-1: NB-IoTのプロトコルスタック

4.2 システム情報

LTEの場合と同様に、システム情報は、セル内のすべてのUEに有効な情報をブロードキャストするために使用されます。システム情報のブロードキャストは、リソースを消費するだけでなく、すべてのUEのバッテリー消費にもつながるため、サイズも頻度も最小限に抑えられています。

そのために、システム情報ブロック(SIB)のセットが定義されています。これはLTEで定義されているSIBのサブセットです。これらを以下の表に示します。

システム情報ブロック	内容
MIB-NB	他のシステム情報の受信に必要な基本情報
SIBType1-NB	セルアクセスおよび選択、他のSIBのスケジューリング
SIBType2-NB	無線リソース構成情報
SIBType3-NB	同一周波数、異周波数のセル再選択情報
SIBType4-NB	同一周波数セル再選択に関連する隣接セル関連情報
SIBType5-NB	異周波数セル再選択に関連する隣接セル関連情報
SIBType14-NB	アクセス・バーリング・パラメータ
SIBType16-NB	GPS時刻および協定世界時(UTC)に関連する情報

SIBは、サフィックスNBで示されます。これらのSIBの定義では、情報要素のセットが縮小され、変更されていますが、内容のタイプはLTEと同一です。例えば、SIB16-NBは時刻情報を示します。インバンド動作の場合でも、UEはこれらのSIBだけを使用し、LTEからのものは無視します。

UEは、MIB-NB、SIB1-NB、およびSIB2-NB～SIB5-NBの有効なバージョンを必ず持つ必要があります。それ以外のもは、対応する機能が動作に必要な場合のみ有効である必要があります。例えば、アクセスバーリング(AB)がMIB-NBで指定されている場合、UEは有効なSIB14-NBを持つ必要があります。

システム情報の取得および変更手順は、RRC_IDLE状態でのみ適用されます。UEは、RRC_CONNECTED状態にある間は、SIB情報を読み取ることを期待されていません。変更が発生した場合、UEはページングまたは直接指示によって通知されます。また、eNBは、変更されたシステム情報を取得させるために、UEをRRC_IDLE状態にリリースする場合があります。

4.2.1 スケジューリング

MIB-NBおよびSIB1-NBの送信方法については、[第3.2章「ダウンリンク」](#)(10ページ)を参照してください。それ以外のSIB情報のスケジューリングは、SIBと同様の方法で行われます。SIB-NBメッセージはSIメッセージにグループ化され、別々のSIウィンドウで送信されます。異なるSIメッセージのSIウィンドウは重なり合うことはありません。メッセージの長さはSIB1-NBで指定され、すべてのSIメッセージで同一です。各SIBおよびSIメッセージの最大サイズは、680ビットです。

SIウィンドウ内では、SIメッセージは、トランスポート・ブロック・サイズに応じて、連続する2個または8個の有効なDL SFで送信され、何回か繰り返される場合があります。スケジューリング情報はSIB1-NBで指定されるので、NPDCCHでの指定は不要であり、SI-RNTIは必要ありません。

4.2.2 変更通知

「SIB1-NBの送信」(18ページ)ですでに説明したように、システム情報の変更は変更周期の時間境界でのみ可能であり、ページングメッセージで通知されます。例外として、アクセスバーリング(AB)の変更はSIB14-NBで指定されます。この情報は、任意の時点で変更できます。この例外が存在する理由は、ABパラメータは他のパラメータよりも短い時間で変更が必要になる可能性があるからです。もちろん、SIB16-NBについては、内容が定期的に変更されるので、ページングで変更が通知されることはありません。

SIB1-NBまたはSIメッセージの変更を通知するもう1つの方法として、値タグという概念があります。これに関連するsystemInfoValueTagというフィールドがMIB-NBに含まれています。この概念は、カバレッジ外の場所からカバレッジ内に戻ってきたUEと、長いDRXサイクルから復帰したUEに対して使用されます。このような場合、UEはページングメッセージを受信できないので、値タグをチェックします。SIBの変更があった場合、値タグが変更されます。ただし、UEが24時間を超えてカバレッジ外にあった場合は、いずれにせよシステム情報を読み取る必要があります。

4.2.3 SIB取得のまとめ

UEは最初に、NSSSからNCellIDを取得します。MIB-NBのschedulingInfoSIB1を読み取ることで、UEはSIB1-NBのサイズと繰り返し回数を知って、開始位置を判定することができます。SIB1には、他のSIB-NBメッセージの位置が示されています。最後にUEは、MIB-NBから得られたハイパーフレーム番号の下位2ビットを使用して、値タグの変更またはページングでSIBの変更が通知されたときに、SIB更新をチェックするタイミングを知ることができます。

4.3 セル選択とモビリティ

NB-IoTは、UEとネットワークの間の低頻度の短いメッセージのために設計されています。UEは、1つのセルに接続している間にこれらのメッセージを交換できると想定されています。このため、RRC_CONNECTED状態でのハンドオーバー手順は不要です。このようなセル変更が必要な場合、UEはまずRRC_IDLE状態に移ってから、別のセルを選択する必要があります。

RRC_IDLE状態では、同一周波数と異周波数の両方のセルに対するセル再選択手順が定義されています[12]。ここで同一周波数とは、180 kHzの搬送波を指します。すなわち、同じLTE搬送波に埋め込まれたインバンド動作で2つの搬送波が使用される場合でも、これは異周波数の再選択として扱われます。

セルを見つけるために、UEは最初にNRSの受信パワーと品質を測定します。これらの値は、SIB-NBで提供されるセル固有のしきい値と比較されます。S基準では、両方の値がこれらのしきい値を超える場合、UEは自身がそのセルのカバレッジ内にあると見なします。UEがあるセルのカバレッジ内にある場合、UEはそのセルにキャンプします。

受信NRSパワーによっては、UEがセル再選択を開始することが必要な場合もあります。UEはこのパワーを再選択しきい値と比較します。このしきい値は、同一周波数と異周波数で異なる可能性があります。必要なすべてのパラメータは、実際に接続しているセルから受信されます。他のセルのSIB-NBを読み取る必要はありません。

S基準を満たすすべてのセルに対して、UEはもう1つのしきい値に対する余剰パワーを基準とするランクを付けます。この過程では、セル再選択があまり頻繁に起きないように、ヒステリシスが追加されます。また、同一周波数のケースでは、セル固有のオフセットが適用されることもあります。LTEと異なり、異なる周波数の間の優先順位はありません。UEは最終的に、適切なセル(正常なサービスを受けられるセル)の中から、ランクが最も高いものを選択します。

UEがRRC_CONNECTED状態から出る際には、キャンプするセルを見つけるために同じ搬送波を選択するとは限りません。UEが最初に適切なセルを見つけるために使用する周波数は、RRCConnectionReleaseメッセージで示される場合があります。この周波数で適切なセルが見つからなかった場合のみ、UEは別の周波数でセルを探することができます。

4.4 ランダムアクセス手順

RACH手順のメッセージフローはLTEと同じですが、パラメータが異なります[13]。

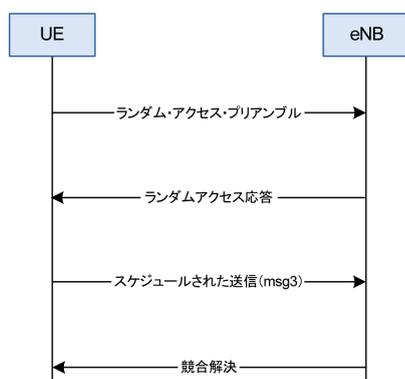


図4-2: RACH手順のメッセージフロー。各メッセージは、UEのカバレッジ・エンハンスメント・レベルに応じて繰り返されます。

NB-IoTでは、RACH手順は常に競合ベースであり、プリアンブルの送信から始まります。詳細については、[第3.3.4章「ランダム・アクセス・チャンネル」](#)(21ページ)を参照してください。eNBからの対応するメッセージの後で、競合解決プロセスを開始するために、スケジュールされたメッセージであるmsg3が送信されます。関連する競合解決メッセージが最後にUEに送信されることによって、RACH手順が正常に完了したことが示されます。

プリアンブルを送信する際に、UEはまず送信時刻からRA-RNTIを計算します。次にUEは、PDCCHで、RA-RNTIでスクランブルされたDCIフォーマットN1を探します。これには、ランダムアクセス応答メッセージが指定されています。UEは、このメッセージが応答ウィンドウ内にあると想定します。このウィンドウは、最後のプリアンブルSFから3 SF後に始まります。ウィンドウの長さはSIB2-NBで指定され、CEによって異なります。

プリアンブル伝送が失敗した場合、すなわち関連するランダムアクセス応答(RAR)メッセージが受信されなかった場合、UEはもう一度プリアンブルを送信します。これが最大回数まで行われます。最大回数もCEレベルによって異なります。最大回数に達しても成功しなかった場合、次のCEレベルが設定されていれば、UEはそのレベルに進みます。合計アクセス試行回数に達した場合、対応する失敗がRRCに報告されます。

UEはRARで、一時C-RNTIに加えて、タイミング進行コマンドを受け取ります。このため、次のmsg3はすでに時間調整されています。これはNPUSCHでの送信のために必要なことです。さらに、RARではmsg3に対するULグラントが提供されます。これには、msg3伝送に関連するすべてのデータが含まれています。

以降の手順はLTEと同様に行われます。すなわち、UEは識別情報を送信し、この識別情報が指定された競合解決が受信されると、ランダムアクセス手順は正常に完了します。

4.5 接続制御

異なるテクノロジーへのハンドオーバーをサポートしないシステムの場合、RRCの状態モデルはきわめて単純になります(図4-3)。



図4-3: RRCの状態とその遷移

LTEと同様に、状態はRRC_IDLEおよびRRC_CONNECTEDの2種類だけです。ただし、関連するUTRAおよびGSM状態への遷移はありません。これらのテクノロジーへのハンドオーバーは、サポートされていないからです。LTEへのハンドオーバーもありません。LTEは、異なるRATと見なされるからです。

4.5.1 RRC接続確立

RRC接続確立のメッセージフローは、LTEシステムの場合と同じです。

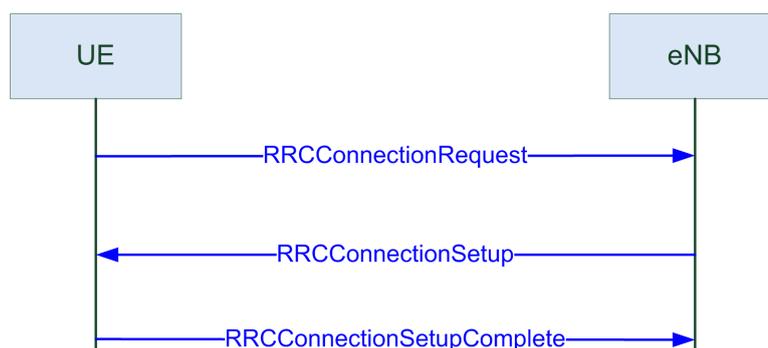


図4-4: RRC接続確立。メッセージフローはLTEと同様ですが、内容が異なります

UEは、RRCConnectionRequestで、ネットワークへの接続を要求することと、その目的を指定します。この確立理由は、移動機発シグナリング、移動機発データ、移動機着アクセス、および例外レポートに制限されます。

NB-IoTではすべてのトラフィックが遅延を許容すると想定されているので、遅延を許容するトラフィックに対する確立理由は存在しません。確立理由の他に、UEはマルチトントラフィックとマルチキャリアサポートの能力も通知します。これらの機能は、[第4.6章「UE能力伝送」](#)(31ページ)に示すように、一般的には固有の手順で通知されますが、ここでこれらの能力を先に通知する必要があるのは、eNBがこれらの能力をこの手順で後に用いられるULグラントに適用できるようにするためです。

RRCConnectionSetupメッセージによる応答で、eNBはシグナリング無線ベアラ(SRB1)、最大2つのデータ無線ベアラ(DRB)、プロトコルの構成を通知します。最後に、UEは、RRCConnectionSetupCompleteメッセージで、選択したPLMNおよびMMEを通知します。この際に、最初のNASメッセージを乗せることができます。

接続でユーザープレーンCIoT EPS最適化がセットアップされた後で、セキュリティおよびRRC接続再構成手順が、LTEと同じ方法で、NB-IoTに制限された機能で実行されます。また、このケースに対するRRC接続再確立手順が定義されています。制御プレーンCIoT EPS最適化に対しては、上記の手順は適用されません。

eNBは、接続をリリースする際に([第4.5.2章「RRC接続リリース」](#)(31ページ)を参照)、UEをサスペンドすることもできます。この場合、UEはRRC_IDLE状態に移行し、現在のASコンテキストを記憶します。UEは後で、そのコンテキストを使用して、RRC_CONNECTED状態を再開することができます。無線ベアラは自動的にセットアップされ、更新されたキーでセキュリティが有効にされます。さらに、ASコンテキストの一部を変更することができます。この方法で、頻度の低い小さいデータパケットの送信のオーバーヘッドを大幅に削減できるのは明らかです。

以下の図に、RRC接続の再開を示します。

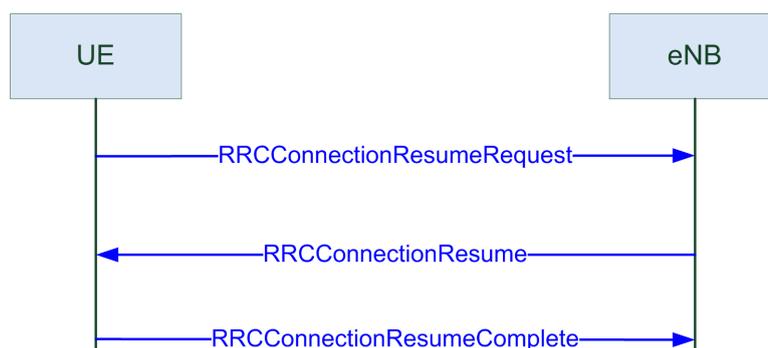


図4-5: RRC接続の再開要求をeNBが承認した場合

再開要求が適用できるのは、UEでユーザープレーンIoT EPS最適化が設定され、少なくとも1つのDRBが設定されている場合に限りです。eNBは、RRCConnectionResumeRequestを受信すると、この要求を承認するか、通常のRRC接続セットアップを開始するかを決定します。再開要求を承認しなかった場合、eNBは接続要求に戻ります。

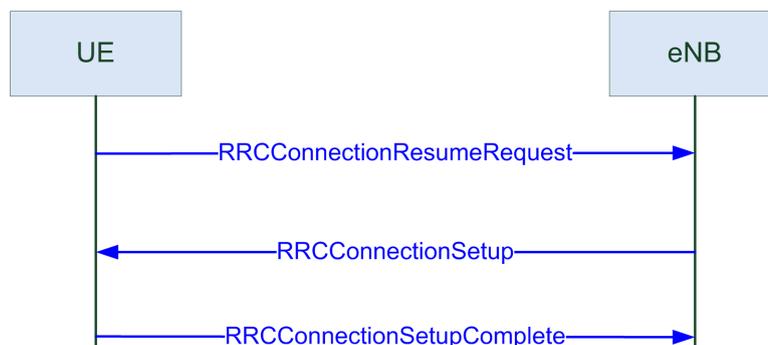


図4-6: RRC接続の再開要求をeNBが承認しなかった場合

この場合、UEは記憶したASコンテキストをリリースし、このASコンテキストをその後の接続で再開することはできなくなります。

eNBが、アクセス・クラス・バーリングがアクセスに適用されることをMIB-NBで示し、SIB14-NBをブロードキャストした場合、UEは、移動機発シグナリングまたはデータのための接続を求めるときに、RRC接続を確立または再開しようとする前に、アクセスバーリングのチェックを行う必要があります。市販されているUEのアクセスクラスは、0～9です。SIB14-NBには、各アクセスクラスに対応するビットを持つビットマップが含まれています。特定のアクセスクラスに対応するビットがセットされている場合、そのセルへのアクセスは規制されています。この場合、UEはSIB14-NBの更新を待って、もう一度実際のバーリングステータスをチェックする必要があります。このアクセスバーリングのチェックは、SIB14-NBの設定に応じて、一部の例外データに関してスキップすることが可能です。

空きリソースがないなどの理由で、接続または再開要求が拒否された場合、eNBはRRCConnectionReject応答を代わりに返します。この場合、UEは拒否メッセージで通知された時間だけ待つ必要があります。これにより、eNBは、何らかの理由で多数のUEがネットワーク接続を同時に開始した場合に、過剰な混雑を防ぐことができます。再開手順を拒否する場合、eNBは、現在のUEコンテキストをリリースするか、次の再開要求のために保持しておくかを指示します。

4.5.2 RRC接続リリース

RRC接続リリースは、eNBから開始されます。図4-7を参照してください。



図4-7: RRC接続リリース(常にeNBから開始)

ユーザープレーンCIoT EPS最適化の場合、eNBはここで、rrcSuspendフラグを使用して接続の中断を指示することができます。この場合、UEはASコンテキストを記憶し、先ほど説明したRRC接続再開を要求することができます。そうしない場合は、ASコンテキストは削除され、UEがRRC接続をもう一度取得するには、最初からRRC接続セットアップを実行する必要があります。

この手順が完了した後、UEはRRC_IDLE状態に入ります。

4.6 UE能力伝送

UEがネットワークに接続した時点では、eNBには、UEがどのリリースに基づいて製造されており、そのリリースで定義されているどのオプション機能をサポートしているかはわかりません。この情報を取得するために、UE能力伝送手順が定義されています。図4-8を参照してください。

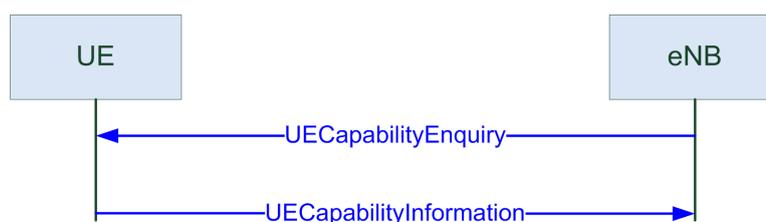


図4-8: UE能力伝送

UE能力伝送は、常にeNBから開始されます。UEには、eNBがこの情報をすでにネットワークまたは前のセッションから得ているかどうかはわからないからです。

能力としては、UEがどのリリースに基づいて製造されているか、UEのカテゴリ、サポートされるバンドのリスト、複数のベアラをセットアップする能力が含まれます。また、UEは、マルチキャリア動作と、ULでのマルチトーン伝送をサポートするかどうかを通知することもできます。また、RoHCコンテキストセッションの最大数と、サポートされるプロファイルも含まれる場合があります。

このメッセージは通常、対応するLTEメッセージよりもはるかに小さくなります。これは、NB-IoTでサポートされるもの以外のすべてのLTE機能（その他のアクセステクノロジー、キャリアアグリゲーションなど）が除外されるからです。

4.7 ページング

ページングは、RRC_IDLEモードで、UEに対してRRC接続を開始したり、システム情報の変更を通知したりするために使用されます。

ページングメッセージは、NPDSCHで送信され、ページング対象のUEのリストと、ページングが接続セットアップ用かシステム情報の変更通知かを示す情報が含まれています。UEは、リストに自身のIDが含まれていることを検出すると、ページングされたことを上位レイヤーに転送し、その応答としてRRC接続を開始するコマンドを受け取る場合があります。システム情報が変更された場合、UEはSIB1-NBの読み取りを開始し、そこからどのSIBをもう一度読み取る必要があるかに関する情報を得る場合があります。

RRC_IDLE状態のUEは、ページングに関しては一部のSFだけを監視します。これはページング機会(PO)と呼ばれ、無線フレームのサブセットであるページングフレーム(PF)に含まれています。カバレッジエンハンスメントの繰り返しが適用される場合、POは繰り返しの中での最初の伝送を指します。PFとPOは、SIB2-NBに指定されているDRXサイクルと、USIMカードで指定されるIMSIから決定されます。DRXは、DL制御チャネルの不連続な受信であり、バッテリー寿命を延ばす役割を果たします。サイクルの無線フレーム数としては、128、256、512、1024がサポートされます。これは1.28 s～10.24 sの時間間隔に相当します。

PFとPOを決定するアルゴリズムはIMSIにも依存するため、ページング機会はUEごとに異なり、時間的に均一に分布します。DRXサイクル内に複数のページング機会がある場合でも、UEがモニタする必要があるのはそのうちの1つだけです。ページングはすべての機会です繰り返されるからです。

拡張DRX(eDRX)の概念は、NB-IoTにも適用可能です。このためには、ハイパーフレームが使用されます。詳細については、[第3.2.1章「フレームおよびスロット構造」](#)(11ページ)を参照してください。eDRXがサポートされる場合、UEがページングメッセージを監視しない時間間隔は大幅に延長可能であり、最大3時間近くに及びます。これに対応して、UEは、どのHFNと、そのHFN内のどの時間間隔(ページング時間ウィンドウ(PTW))でページングを監視するかを知る必要があります。PTWは、開始および終了SFNで定義されます。PTW内のPFとPOの判定は、非拡張DRXと同じ方法で行われます。

5 データ転送

第2.2.1章「コアネットワーク」(5ページ)で説明したように、データ転送には、制御プレーンCIoT EPS最適化と、ユーザープレーンCIoT EPS最適化の2種類の方法があります。MMEには、それぞれの最適化がサポートされるかどうかを示されます。移動機発データの場合、UEはサポートされるオプションの1つを選択できます。移動機着データの場合、MMEが最適化を選択しますが、アタッチ手順でネットワークに通知されるUEのプリファレンスが考慮される場合もあります。

5.1 制御プレーンCIoT EPS最適化

制御プレーンCIoT EPS最適化の場合、UEとeNB間のデータ交換はRRCレベルで行われます。DLのRRCConnectionSetupメッセージまたはULのRRCConnectionSetupCompleteメッセージには、データを乗せることができます。それだけでは不十分な場合、DLInformationTransferとULInformationTransferの2種類のメッセージを使用してデータ転送を継続できます。

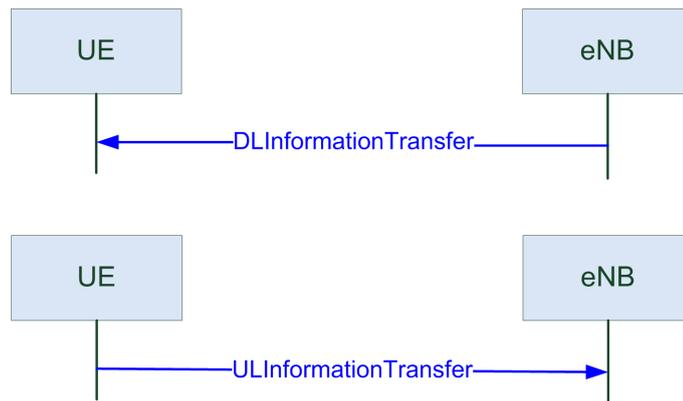


図5-1: UEとeNBの間のNAS専用情報の転送

これらすべてのメッセージには、NAS情報を含むバイト配列が含まれています。この場合、これはNB-IoTデータパケットに対応します。このため、これはeNBに対しては透過的であり、UEのRRCは、受信したDLInformationTransferの内容を、上位レイヤーに直接転送します。eNBとMMEの間では、dedicatedInfoNASはS1-MMEインタフェース経由で交換されます。

このデータ転送方法では、ASレベルでのセキュリティは適用されません。また、RRC接続の再構成は行われなため、RRC接続セットアップの後または再開手順の途中で、ただちに転送を開始することができます。もちろん、RRC接続は、後でRRC接続リリースを使用して終了する必要があります。

5.2 ユーザープレーンCIoT EPS最適化

ユーザープレーンCIoT EPS最適化の場合、データは通常のユーザープレーン上でネットワーク内を転送されます。すなわち、eNBはデータをS-GWに転送するか、このノードからデータを受信します。UEがあまり複雑になるのを避けるために、同時に構成できるDRBは1つまたは2つに制限されています。

次の2つのケースを区別する必要があります。前のRRC接続がリリースされたときに再開操作の可能性が指定された場合（第4.5.2章「RRC接続リリース」(31ページ)を参照）、図4-5に示すように、再開手順で接続を要求することができます。この再開手順が成功した場合、更新されたキーでセキュリティが確立され、無線ベアラは前の接続と同じ方法でセットアップされます。再開が指定された前のリリースが存在しない場合、または再開要求がeNBに承認されなかった場合、セキュリティと無線ベアラは、次のセクションに示す方法で確立する必要があります。

5.2.1 データ接続の確立と構成

図4-4または図4-6に示すようにRRC接続をセットアップした後の最初のステップは、ASレベルのセキュリティの確立です。これは、初期セキュリティアクティベーション手順で行われます。



図5-2: ASレベルセキュリティの確立

eNBは、SecurityModeCommandメッセージで、SRB1およびDRBに適用される暗号化アルゴリズムと、SRB1を保護するための完全性保護アルゴリズムをUEに通知します。LTE用に定義されているすべてのアルゴリズムが、NB-IoTにも採用されています。このメッセージでは、SRB1bisが自動的にSRB1に変化し、その後の制御メッセージに使用されます。

セキュリティがアクティブ化された後、RRC接続再構成手順を使用して、DRBがセットアップされます。



図5-3: RRC接続再構成手順

eNBは、再構成メッセージで、無線ベアラをUEに通知します。これには、RLCと論理チャネルの構成が含まれています。後者には、実際の要件に応じてデータ伝送のバランスを取るために使用される優先度が含まれています。PDCPが設定されるのはDRBだけです。SRBではデフォルト値だけが使用されるからです。

これに含まれるMAC構成には、バッファーステータスレポート(BSR)、スケジューリング要求(SR)、時間調整、DRXが指定されます。最後に、物理構成によって、データをスロットと周波数にマップするために必要なパラメータが指定されます。

5.2.2 マルチキャリア構成

RRCConnectionReconfigurationには、ULとDLの追加の搬送波、すなわち非アンカー搬送波の設定が含まれている場合があります。

DLで非アンカー搬送波が指定された場合、UEはすべてのデータをこの周波数で受信します。例外として、同期、ブロードキャスト情報、ページングは、アンカー搬送波でのみ受信されます。使用可能なDL SFを示すビットマップが指定される場合があります。非アンカー搬送波には同期およびブロードキャスト情報が不要なので、データ用のSFの数を大幅に増やすことができます。

非アンカー搬送波が構成された場合、UEは、RRC_CONNECTED状態にある間はこの搬送波だけをリッスンします。このため、UEに必要なレシーバチェーンは1つだけです。

ULにも同じ原則が適用されます。追加のUL搬送波が構成された場合、UEはその搬送波だけをデータ送信に使用します。この搬送波とアンカー搬送波で同時に送信が行われることはありません。

DLとULのどちらについても、UEはRRC_IDLE状態にリリースされたときにはアンカー搬送波に戻ります。

図5-4にスケジューリングの例を示します。

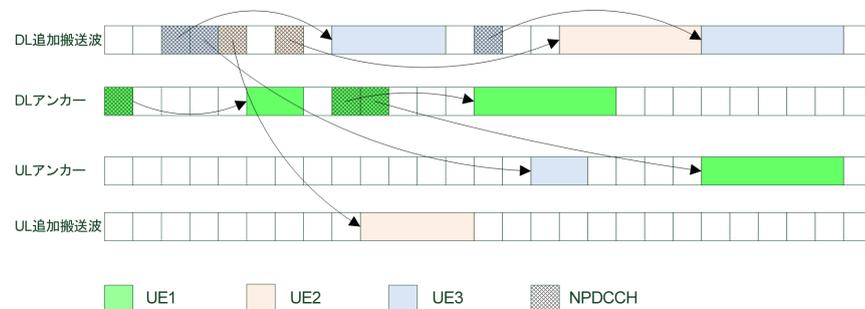


図5-4: 3台のUEのスケジューリングの例。各四角形は1個のサブフレームを示します。

UE1にはアンカー搬送波が構成され、UE2にはDLとULで別の搬送波が、UE3にはDLのみで別の搬送波が構成されます。この図では、単純にするため、次のセクションで説明するNPDCCH周期と、DLデータ用に使用できないSFは考慮されていません。この図は、単なる図式的な説明として参照してください。

インバンド動作の場合でも、割り当てられるDL搬送波は表3-1に示されている値には制限されません。この制限が当てはまるのは、NPSS、NSSS、NPBCHを伝送する搬送波、すなわちアンカー搬送波として使用される可能性があるものだけです。指定されたDL周波数では、すべての搬送波が使用可能です。

この構造により、各UEが狭帯域幅のトランスミッター／レシーバーチェーンを1つしか持っていないなくても、NB-IoTブロードバンドネットワークを構築することができます。同期、DLでのブロードキャスト、ULでのNPRACHリソースのオーバーヘッドを、1つまたは少数の搬送波ペアに限定し、他の搬送波は完全にデータ伝送に利用できます。受信と送信が同時に行われることはなく、常にそれぞれ1つのバンドに制限されるため、UEは帯域幅180 kHzのトランスミッター／レシーバーチェーンを1つ持つだけですみます。

5.2.3 制御チャネルの受信

RRC接続された状態では、UEはUE固有の検索空間(USS)だけを監視して、ULグラントおよびDL割り当てを取得します。再構成メッセージには、最大繰り返し回数が含まれています。これは、1～2048の範囲の2の累乗です。ただし、実際の繰り返し回数は、以下の表に示すように、もっと小さい可能性があります。

最大繰り返し回数 R_{max}	実際の繰り返し回数
1	1
2	1, 2
4	1, 2, 4
≥ 8	$R_{max}/8$, $R_{max}/4$, $R_{max}/2$, R_{max}

実際の繰り返し回数が最大回数よりも少ない場合、残りのSFは、異なるNPDCCHを別のUEに送信するために使用できます。例えば、最大繰り返し回数が4の場合、すべてのSFで1台のUE向けのDCIを伝送するか、2台のUEにそれぞれ2つのSFを使用するか、または各SFをそれぞれ異なるUEに使用することができます。もちろん、UEはこれらすべての候補を監視する必要があります。

再構成メッセージには、NPDCCH周期を記述するパラメータも含まれています。この周期の開始に対して、USSは先頭から始まるか、周期の長さの1/8、1/4、または3/8のオフセットで始まります。

5.2.4 ULデータチャネルの送信

DCIフォーマットN0は、NPUSCHでの送信に対するULグラントを表し、すべての関連パラメータが含まれています。1つのトランスポートブロックを複数回繰り返すことができます。繰り返しの配列は、1つのRUに対応するサブキャリアの数、サブキャリアの間隔、繰り返し回数に依存します。これについては、まず図5-5の例を使用して説明します。

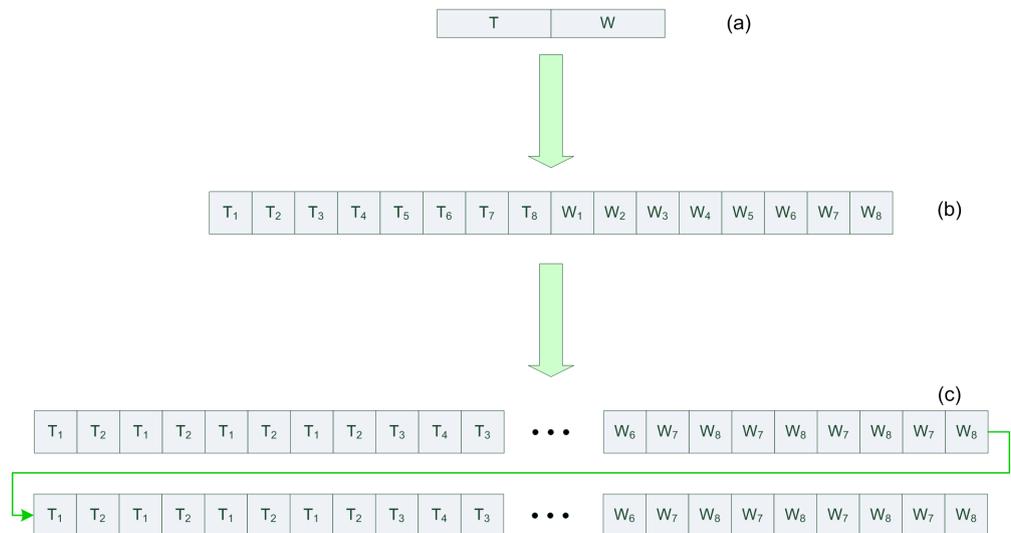


図5-5: 繰り返しのあるNPUSCH伝送の配列。繰り返しが無い場合、(b)に示すスロットシーケンスが送信されます。

サブキャリア間隔が15 kHzの場合、テストワード(TW)と呼ばれるトランスポートブロックが2つのRUで送信されます(a)。この場合、各RUのフォーマットは、3つのサブキャリアと8スロットから構成されます(b)。合計8回の繰り返しが適用されます。図5-5で、T_nは最初のRUのn番目のスロットを示し、W_mは2番目のRUのm番目のスロットを示します。

最初のステップでは、T₁とT₂の2つのスロットが送信されます。このペアがさらに3回繰り返され、これらのスロットは合計4回送信されます。その後、次の2つのスロットに対して同じ手順が実行されます。上記の手順が、W₇とW₈のペアが4回送信されるまで続けられます。最後に、現時点でTWの繰り返しは4回なので、送信シーケンスがもう一度繰り返され、繰り返し回数は8回となります。

一般的には、サブキャリア間隔が15 kHzの場合、2つのスロットの最初の繰り返しは必ず行われます。サブキャリア間隔が3.75 kHzの場合は、繰り返しはすべてのスロットで別々に行われます。最初の繰り返しの合計回数は、合計繰り返し回数の半分で、上限は、RUのサブキャリアが複数ある場合は4、1つしかない場合は1です。したがって、上記の例では、32回の繰り返しがある場合、シーケンス生成は図5-5の(c)に示すようになります。ただし、このシーケンス全体があと7回繰り返されます。

シーケンスは、連続するスロットのセットにマップされるのが普通です。例外は、多数の繰り返しが発生した場合です。正確には、送信が256 ms続いたら、40 msのギャップを置いてから、NPUSCH送信が継続されます。このギャップが必要なのは、UEがNPUSCHで送信している場合、同時にDLチャネルを受信することはできないので、eNBとの同期が失われる可能性があるからです。このギャップの間に、同期が再調整されます。

5.2.5 DLデータチャネルの受信

DCIフォーマットN1は、データシンボルがNPDSCHで送信される場所と方法を指定するDL割り当てを示します。この原則は、ULに関する基本的な同じです。図5-5を参照してください。ただし、データパケットが最初にRUにグループ化されることはありません。繰り返しが無い場合、データパケットは連続的にスロットにマップされ、NPDSCHのSFで送信されます。

繰り返しがあある場合、マッピングはマルチトーンULの場合と同様になります。最初に2スロットのデータが1つのSFにマップされ、繰り返し合計回数まで繰り返されます。この場合も上限は4回です。次に、同じ方法ですべてのSFが送信されるまでマッピングが継続されます。最後に、この構造全体が、必要な繰り返し回数に達するまで繰り返されます。

例外は、DLデータにSIB-NB情報が含まれる場合です。この場合、スロットは図5-5(b)の例のように連続的に送信され、このブロック全体が適切な回数だけ繰り返されます。

多数の繰り返しがああるNPDSCH送信の場合、RRCによって送信ギャップが設定されることがあります。ギャップが発生する繰り返し回数と、その発生周期および長さは、RRCConnectionReconfigurationメッセージによって指定されます。ギャップが発生した場合、NPDSCH送信は、ギャップの後で次に利用可能なSFまで延期されます。このギャップは、MIB-NBまたはSIB-NB情報を伝送するNPDSCHには適用されません。

6 まとめと今後の見通し

リリース13で規定されたNB-IoTテクノロジーで、3GPPは、代表的なマシンタイプの通信用に設計された新しいセルラー・エア・インタフェースを作成しました。これは、発生頻度の低い小さいデータパケットに最適化されていて、その目的に不要なセルラー機能は省略されています。これにより、UEをコストパフォーマンスの高い方法で維持して、少ないバッテリー電力で動作させることができます。

データ伝送の帯域幅は、180 kHzと小さく抑えられています。一方で、マルチバンド構成により、広い周波数スペクトラムが使用できます。シグナリング部分を1つまたは少数のNB-IoT搬送波に限定して、残りの搬送波を完全にデータ転送に利用することができます。これにより、1台のUEのトランスミッターとレシーバーの帯域幅を比較的狭く抑えながら、かなり広い帯域幅をデータ転送に利用することができます。

NB-IoTの開発は、リリース14でも続けられます[14]。現在の計画によると、NB-IoTの拡張として、位置決定方法、ソフトウェアアップデートやグループ全体に関連するメッセージなどに必要なマルチキャストサービス、モビリティとサービスの継続性、およびNB-IoTテクノロジーのアプリケーション分野を広げる追加の技術的詳細の追加が予定されています。Rohde & Schwarzでは、関連する技術解説記事を引き続き提供していく予定です。当社Webサイトで、これらドキュメントの最新版がお読みいただけます。

7 参考資料

- [1] 3GPP TR 45.820 V13.1.0, November 2015; Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT)
- [2] 3GPP TS 23.272 V13.3.0, March 2016; Circuit Switched (CS) fallback in Evolved Packet System (EPS)
- [3] 3GPP TS 23.401 V13.6.1, March 2016; General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
- [4] 3GPP TS 23.682 V13.5.0, March 2016; Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications
- [5] 3GPP TS 36.331 V13.2.0, June 2016; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification
- [6] 3GPP TS 36.300 V13.4.0, June 2016; Overall description
- [7] 3GPP TS 36.101 V13.4.0, June 2016; User Equipment (UE) radio transmission and reception
- [8] 3GPP TS 36.201 V13.2.0, June 2016; LTE physical layer; General description [9] 3GPP TS 36.211 V13.2.0, June 2016; Physical channels and modulation
- [10] 3GPP TS 36.212 V13.2.0, June 2016; Multiplexing and channel coding [11] 3GPP TS 36.213 V13.2.0, June 2016; Physical layer procedures
- [12] 3GPP TS 36.304 V13.2.0, June 2016; User Equipment (UE) procedures in idle mode
- [13] 3GPP TS 36.321 V13.2.0, June 2016; Medium Access Control (MAC) protocol specification
- [14] 3GPP RP-161324 3GPP Work Item Description Enhancements of NB-IoT

8 その他の情報

本書に関するご意見やご提案がございましたら、以下のメールアドレスまでお寄せください。

TM-Applications@rohde-schwarz.com

9 ローデ・シュワルツについて

Rohde & Schwarz(本社:ドイツ・ミュンヘン)は、エレクトロニクスを専門とする独立した企業グループです。試験／測定、放送、無線信号の検出／位置特定、セキュアコミュニケーションの分野で業界をリードするソリューションを提供しています。設立から80年以上にわたり、グローバル企業として70カ国以上で独自のサービスネットワークを展開しています。

持続可能な製品デザイン

- 環境適合性とエコロジカルフットプリント
- エネルギー効率と低エミッション
- 長寿命化と所有コストの最適化



ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

- 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2-8-12
Attend on Tower 16階
TEL:045-477-3570 (代) FAX:045-471-7678
- 大阪オフィス
〒564-0063 大阪府吹田市江坂1-23-20
TEK第2ビル8階
TEL:06-6310-9651 (代) FAX:06-6330-9651
- サービスセンター
〒330-0075 埼玉県さいたま市浦和区針ヶ谷4-2-11
さくら浦和ビル4階
TEL:048-829-8061 FAX:048-822-3156

E-mail: info.rsjp@rohde-schwarz.com

<http://www.rohde-schwarz.co.jp/>

本社(ドイツ)

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Mühldorfstraße 15 | D - 81671 München
TEL: + 49 89 4129 - 0 FAX: + 49 89 4129 - 13777
www.rohde-schwarz.com

本アプリケーションノートと付属のプログラムの使用にあたっては、Rohde & Schwarz Webサイトのダウンロードエリアに記載されている条件に従ってください。

R&S®は、Rohde & Schwarz GmbH & Co. KGの登録商標です。商品名は、各所有者の商標です。