Bluetooth® LEの多様な通信モード

$ADVB_E$ – 拡張アドバタイズ

拡張アドバタイズ（$ADVB_E$）の理解

アドバタイズは、Bluetooth Low Energy（LE）が持つ基本的な通信手段のひとつです。

端末の探索やビーコン送信、汎用的なコネクションレス通信に利用されており、Bluetooth メッシュネットワーク[1]の基盤としても活用されています。

Bluetooth LE がコア仕様 V4.0 で最初に登場してから、アドバタイズは大きく進化を遂げ、現在ではさまざまな形式が定義されています。

同じ論理トランスポートである Advertising Broadcast（ADVB）には、2 つのバリエーションがあります。ひとつはレガシー アドバタイズ（$ADVB_L$）、もうひとつは拡張アドバタイズ（$ADVB_E$）です。

注意：本記事をお読みになる前に、前回の「レガシーアドバタイズ」を先にお読みいただくことをお勧めします。

ただし、拡張アドバタイズの概念は 1 つのリンク層論理トランスポートに明確に対応するもので はありません。この用語は、LE の無線チャネルの利用方法や関与するプロトコルデータユニット（PDU）、さらに異なる PDU タイプの組み合わせ方など、多様なアドバタイズ機能や特徴の集合を指します。拡張アドバタイズは ADVB 論理トランスポートを使う場合もあれば、Periodic Advertising Broadcast（PADVB）や Periodic Advertising with Responses（PAwR）といった 2 つの別の論理トランスポートを基盤とする場合もあります。本記事では、ADVB 論理トランスポートで使われるエクステンデッドアドバタイズに焦点を当てて解説します。

[1] 現在の Bluetooth Mesh（V1.1）では、レガシーアドバタイズが伝送手段として使われています。

概要

Bluetooth コア仕様 v5.0 で拡張アドバタイズが登場しました。これは、従来のアドバタイズに関するさまざまな課題を解決するために導入されたものです。

従来のアドバタイズは、3 つのプライマリ アドバタイズ チャネルのみを使用しており、Bluetooth デバイスの急速な増加によりチャネルが混雑し、ユーザー体験に影響を及ぼすリスクがありました。

また、従来のアドバタイズで送信できるアプリケーションのデータ量は、非常に小さな PDU やフィールドという制限を受けます。

さらに、アドバタイズ機器やスキャナーの送受信動作が協調されていないため、メリットとデメリットが存在します。アプリケーション データの転送速度が遅くなったり、目的地へのデータ到達の信頼性が低下したり、消費電力効率が悪化する場合があります。

これらの課題を受けて、より優れたアドバタイズ方式を目指したくつかの設計目標が生まれました。

1. 接続なしで通信する方式においてにおいて、3 つのプライマリ アドバタイズ チャネルへの依存を減らす。
2. アプリケーションがより大きなデータを簡単に転送できるようにする。
3. アドバタイズデータを受信したい機器が自己のスキャンスケジュールを、アドバタイズ機器の送信スケジュールに同期できるようにする。

これらの目標のうち三つ目は、周期的アドバタイズと呼ばれる拡張アドバタイズの特別な形式によって達成されました。こちらの内容は本シリーズの別の記事で詳しく説明します。

最初の二つの目標と、それらが拡張アドバタイズ設計に与えた影響は、ADVB 論理トランスポートで利用される拡張アドバタイズと特別な周期的バリエーションの両方に関係しています。

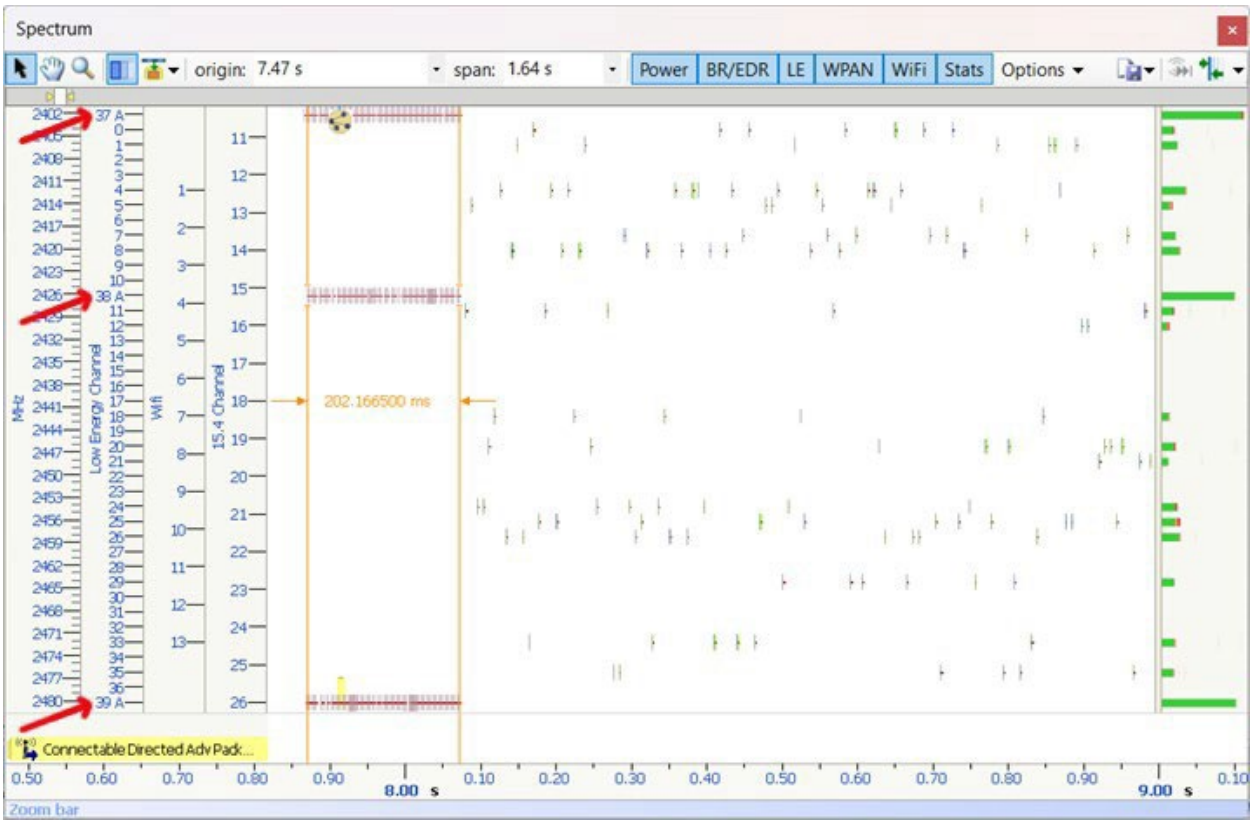

図1 Ellisys Bluetooth 解析ソフトウェア の Spectrumビュー：プライマリ アドバタイズチャネルのADVパケット

アドバタイズ モード

従来のアドバタイズでは、さまざまなアドバタイズ PDU が定義されており、それぞれ特定のアドバタイズモードに対応しています。例えば、ADV_IND PDU は 接続型でスキャン可能な無指向性と関連しています。

拡張アドバタイズでは、AdvMode というフィールドと、ターゲット デバイス アドレス フィールド（TargetA）の有無によって、アドバタイズ モードが直接示されます。TargetA が存在する場合は 指向性アドバタイズが行われ、存在しない場合は 無指向性アドバタイズとなります。

接続型のアドバタイズは、低デューティサイクルモードまたは（例：迅速な再接続を可能にする）ハイデューティサイクルモードで実行できます。

表1は、$ADVB_E$ が対応するアドバタイズ モードとバリエーションを表しています。

アドバタイズモード	無指向性	指向性	ハイデューティサイクルモード対応
非接続型でスキャン不可 (Non-connectable and and non-scannable)	Yes	Yes	No
接続型 (Connectable)	Yes	Yes	Yes
スキャン可能 (Scannable)	Yes	Yes	No

表1 $ADVB_E$ が対応するアドバタイズモードとバリエーション

拡張アドバタイズは接続型とスキャン可能の両方を同時に備えることはできません。

スキャン可能という概念は $ADVB_E$ にも $ADVB_L$ と同様に適用され、Flagsと呼ばれる AD タイプ内のビットを用いた同じ方法で示されます。アプリケーションデータの扱い方は異なりますが、その詳細は後ほど説明します。

デバイス ロール（役割）

$ADVB_E$ を使用する際に想定されるデバイス ロールは、従来のアドバタイズと同様です。これらは本シリーズの前回の記事で取り上げましたが、参考のためここでも再掲します。

- **ブロードキャスター** – このロールでは、デバイスはパケットを送信しますが受信しません。そのため、ブロードキャスターに接続することはできません。
- **オブザーバー** – オブザーバーはブロードキャスターに対応するデバイスです。アドバタイズ パケットを受け取り、追加情報を求めるために応答することは可能ですが、ブロードキャスターと接続することはできません。
- **ペリフェラル** – GAPペリフェラルはアドバタイズ パケットを送信し、使用中のアドバタイズ イベントの種類に応じて接続要求やスキャン要求などのパケットを受け取ることができます。
- **セントラル** – GAP セントラルは GAP ペリフェラルの対であり、スキャンによってアドバタイズパケットを受信し、イベントタイプに応じて接続リクエストやスキャンリクエストを送信することもできます。

パケット、PDU、無線チャネル

ADVBE は ADVBL と同じリンクレ層パケット フォーマットを使用しますが、PDU は全く異なるセットを採用しています。全ての ADVBE PDU は同じペイロード形式を共有しており、Bluetooth コア仕様ではこれを共通拡張アドバタイズ ペイロード フォーマット（CEAPF）と呼びます。CEAPF 内のすべてのフィールドがすべてのアドバタイズ モードに関連するわけではなく（AdvMode フィールドで示されています）、リンク層の仕様では、それぞれのアドバタイズ モードごとに各 CEAPF フィールドの含有や省略のルールがまとめられています。

$ADVB_E$ はまた、無線チャネルの利用方法も従来とは異なります。詳細は次のセクションで解説します。

チャネルオフロード

従来のアドバタイズでは、チャネル インデックス 37、38、39 のパケットが送信されます。

アドバタイズ PDU は4種類あり、そのうち3種類は AdvDataフィールドに最大31バイトのアプリケーション データ(タイプと長さのサブフィールドを含む)を格納できます。AdvDataフィールドが最大となるパケットは47バイト(376ビット)の長さで、シンボルレートが1マイクロ秒あたり1の場合、376マイクロ秒のエアタイムが必要です。これは一見短い時間のように思えるかもしれませんが、同じPDUのコピーが通常3つのチャネルで連続して送信され、アドバタイズ間隔が20ミリ秒と短い場合もあるため、エアタイムとチャネル占有時間はすぐに相当な量になります。

拡張アドバタイズでは、ADV_EXT_IND と呼ばれる PDU タイプが定義されています。この PDU はプライマリ アドバタイズ チャネルでのみ送信可能で、その点では従来の ADV_IND PDU と同様です。

ADVBE は、プライマリ アドバタイズ チャネルでアプリケーション データの送信をサポートしていないため、ADV_EXT_IND には AdvData が含まれません。これにより、プライマリ アドバタイズ チャネルのエアタイム消費が抑えられます。その代わり、アプリケーション データは 37 の汎用チャネルで送信される他の種類の PDU で届けられます。

スキャン デバイスは常にプライマリ アドバタイズ チャネルからパケット探索を始め、ここで ADV_EXT_IND PDU を受信します。そして、ここからが本題です。ADV_EXT_IND PDU には AuxPtr というフィールドが含まれており、これは AUX_ADV_IND という別の種類の PDU が含まれた関連パケットを指します。AUX_ADV_IND PDU は 37 の汎用チャネルで送信され、AdvData フィールドを持つことができます。

AuxPtr には複数のサブフィールドがあり、それらの情報からスキャン デバイスは、どの無線チャネルで関連する AUX_ADV_IND PDU が送信されるか、またそのタイミングがいつかを把握できます。このタイミングは、AuxPtr フィールドを持つ ADV_EXT_IND PDU の受信開始時刻からのオフセットとして示されます。

これらの PDU の名称から、さらに専門的な用語がうかがえます。別の PDU 内で AuxPtr によって参照される拡張アドバタイズ PDU は auxiliary PDUと呼ばれ、参照する AuxPtr フィールドを含むパケットは *superior PDU* と呼ばれます。

図 2 は、ADV_EXT_IND PDU とAUX_ADV_IND PDU の関係を示しています。

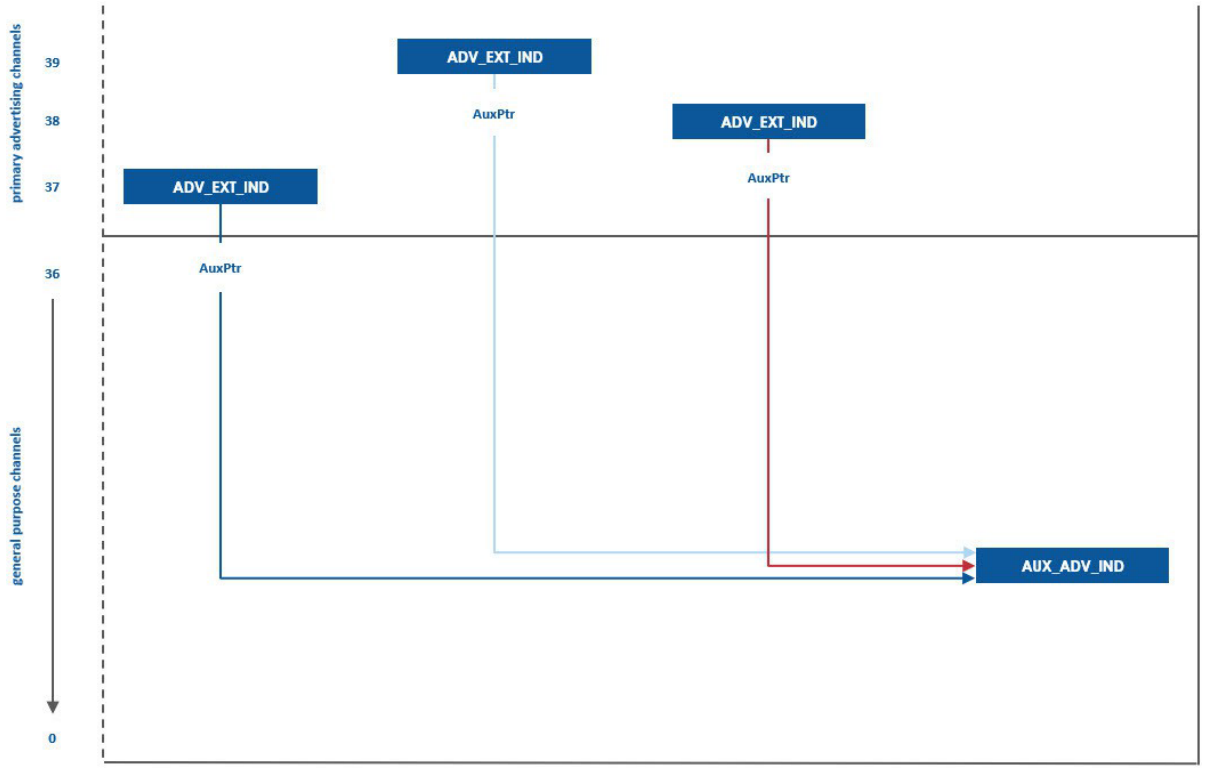

図2 AuxPtr フィールドによって AUX_ADV_IND PDU とリンクされた ADV_EXT_IND PDU

図2では、1 つのアドバタイズイベント内で、3 つの ADV_EXT_IND PDU がそれぞれプライマリ アドバタイズ チャネル上に送信されています。これら 3 つの ADV_EXT_IND PDU は全て、少し遅れて汎用チャネルの 1 つで送られる同じ AUX_ADV_IND PDU を指しています。

拡張アドバタイズは、AdvData を汎用チャネルで 1 つの PDU として送ることで、プライマリ アドバタイズ チャネルでの電波利用負荷を軽減します。従来方式のように、同じデータを 3 つの PDU に分けて送信する必要がありません。

より大容量のアプリケーションデータ

拡張アドバタイズにより、アプリケーションは従来方式では不可能だった大容量データのやり取りが　可能となります。1 回のアドバタイズイベントで最大 1,650 バイトまで転送でき（コントローラーの機能による）、この大幅な進化には 2 つの機能が貢献しています。

AdvData の最大サイズ

共通拡張アドバタイズペイロードフォーマットは図 3 に示されています。

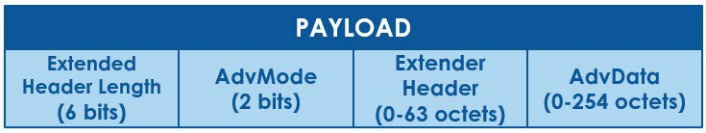

図 3 共通拡張アドバタイズペイロードフォーマット

AdvData の最大サイズは 254 オクテットですが、これは可変長フィールドであり、最大長は可変長の Extended Header フィールドの大きさによって決まります。LE 1M PHY 上で非接続型・非スキャン型・無指向性の拡張アドバタイズを行う場合、Extended Header に含まれるフィールドのルールにより、Extended Header はわずか 3 オクテットとなり、AdvData フィールドには最大 251 バイトが使用可能です。これは従来のアドバタイズでの AdvData の最大サイズ 31 バイトと比べて、はるかに大きな容量です。

フラグメント化と PDU チェーン化

拡張アドバタイズは、単に AdvData のサイズを増やすだけでなく、より大量のアプリケーションデータを送信できるように設計されています。最大 1,650 バイトまでのアプリケーションデータを分割し、1 つの AUX_ADV_IND PDU で送信した後、連続した AUX_CHAIN_IND PDU のシリーズでデータを連結して転送できます。AUX_ADV_IND PDU は AuxPtr フィールドで最初の AUX_CHAIN_IND PDU にリンクされ、さらに各 AUX_CHAIN_IND PDU は同様の方法で次の PDU へと連結されます。

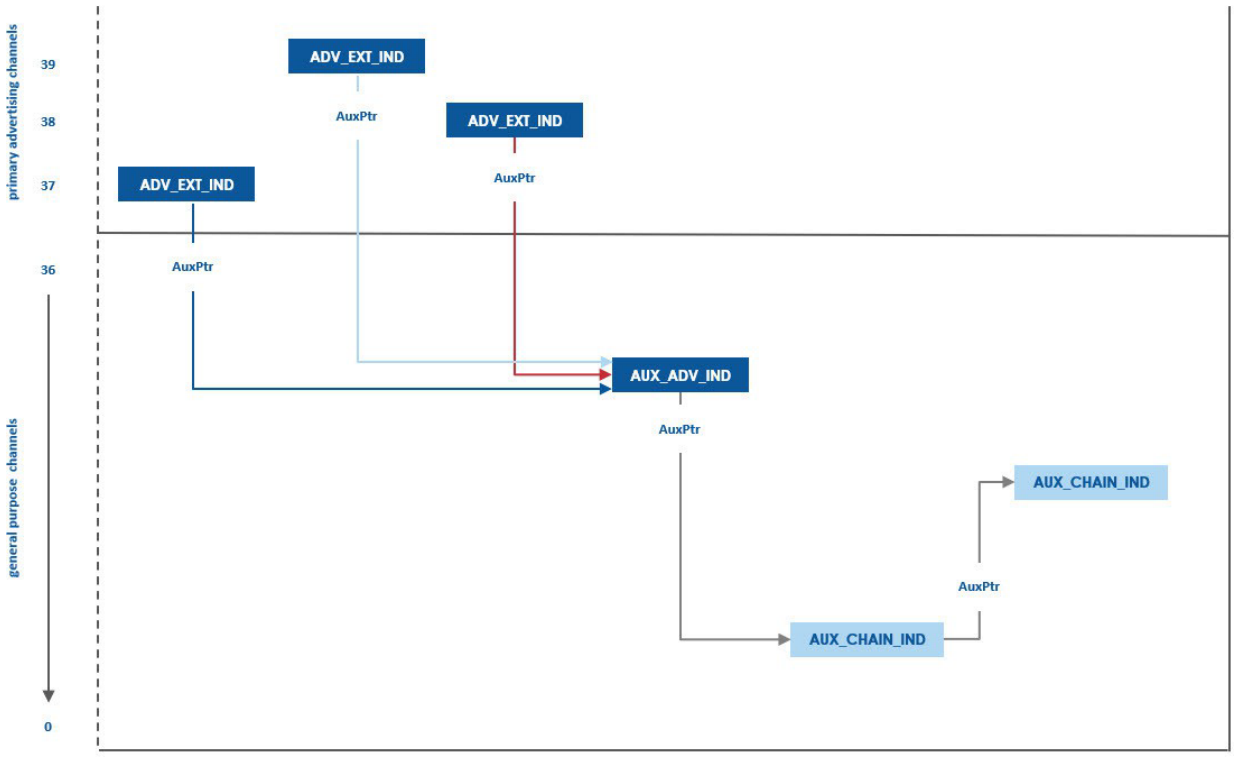

図 4 拡張アドバタイズ PDU のチェーニング

図 4 の最初の AUX_CHAIN_IND PDU は、AUX_ADV_IND から参照されるauxiliary PDU であり、同時に AuxPtr フィールドが指す 2 番目の AUX_CHAIN_IND PDU の superior PDU でもあります。

スケジューリングとチャネル選択

$ADVB_E$ のスケジューリング規則では、標準のアドバタイズ イベントに加えて、拡張アドバタイズ イベントという概念が導入されています。アドバタイズ イベントは主にプライマリ アドバタイズ チャネルでの通信に関係し、従来のアドバタイズと同様の方法で定義されます。一方、拡張アドバタイズイベントは、プライマリチャネル上のパケット送信と汎用チャネル上での auxiliary PDUの送信の両方を含みます。拡張アドバタイズ イベントは関連するアドバタイズ イベントと同時に開始し、最後の auxiliary PDU（例：AUX_ADV_IND やAUX_CHAIN_IND）が送信された時点で終了します。

汎用チャネルの選択は実装に委ねられていますが、Bluetooth コア仕様では”衝突を避けるため十分なチャネルを確保すること”を推奨しています。

アドバタイズ

拡張アドバタイズ イベントの例は図 5 に示されています。

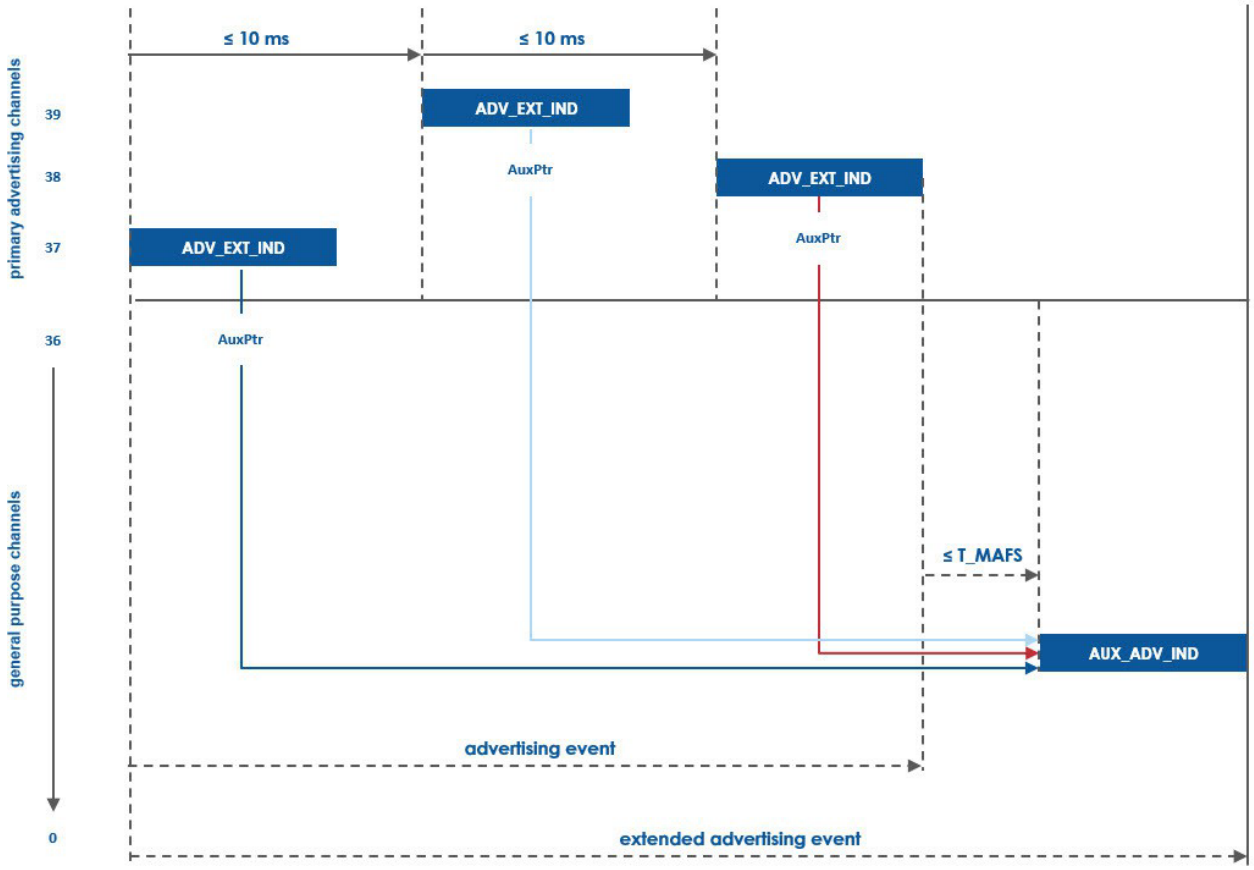

図 5 アドバタイズイベントと拡張アドバタイズイベント

連続する ADV_EXT_IND PDU の送信は 10 ミリ秒以内の間隔で行われます。プライマリ チャネルの順序は、イベントごとにランダム化可能です。図 5 に示されている AUX_ADV_IND PDU のような最初の auxiliary PDU の送信は、直前の ADV_EXT_IND PDU の終了後、わずかな時間で行われます。この時間は Bluetoothコア仕様で T_MAFS（Minimum AUX Frame Space）と呼ばれており、デフォルト値は 300µs です。

スキャニング

アクティブ スキャンの仕組みは、拡張アドバタイズでも従来のアドバタイズでも共通です。違いは、使用される PDU の種類とチャネルにあります。

拡張アドバタイズがスキャン可能な形式で行われている場合、一般用途チャネルのいずれかで AUX_ADV_IND PDU を送信した後、アドバタイズ デバイスは同じチャネルでスキャンリ クエスト PDU（AUX_SCAN_REQ）を受信できるように待機します。スキャンリクエストを受信すると、アドバタイズ デバイスは同じチャネルで AUX_SCAN_RSP PDU にて追加情報を返答します。

スキャン リクエストとレスポンスのPDU は、デフォルト（現在）で 150 µs のフレーム間隔で区切られています。

コネクション確立（Initiating）

接続型のアドバタイズが行われている場合、スキャナーは AUX_ADV_IND PDU に対して、デフォルトで 150 µs の短いフレームスペースの後に AUX_CONNECT_REQ PDU で応答することで接続をリクエストできます。同じフレームスペースが経過すると、アドバタイザーは AUX_CONNECT_RSP で応答します。

アドバタイズセット

拡張アドバタイズには、”アドバタイズ セット” と呼ばれる機能があります。アドバタイズ セットを利用すると、1 台のデバイスで最大 16 個までのアドバタイズを同時に稼働させることができ、各セットは独自のアドバタイズ間隔などのパラメータで管理されます。拡張ヘッダーの AdvDataInfo フィールドには、PDU がどのセットに属するかを示す Advertising Set ID（SID）というサブフィールドが含まれています。

物理層

レガシー アドバタイズ PDU は LE 1M PHY のみで送信可能です。一方、ADV_EXT_IND PDU はプライマリ アドバタイズ チャネルのみで使用され、LE 1M または LE Coded PHY のいずれかで送信でき、LE Coded PHY を使うことで通信範囲が最大 4 倍に広がる可能性があります。

拡張アドバタイズ PDU は汎用チャネルで送信される場合、LE 1M、LE 2M、または LE Coded PHY のいずれかを利用できます。

アプリケーション上の注意点

設定

ホスト・コントローラー・インターフェース（HCI）は、LE Set Extended Advertising Parameters コマンドを定義しており、これを使うことでアドバタイズ セットの動作を制御するパラメータを設定できます。たとえば、アドバタイズ セット ID（SID）を指定して、それぞれ異なる SID を持つ複数のセットを作成できます。

ホストが指定できる追加のパラメータとしては、必要なアドバタイズ イベントの種類（例：接続型やスキャン可能かどうか）アドバタイズ間隔の最小・最大範囲、さらにどのチャネルで ADV_EXT_IND PDU を送信するかを制御するプライマリ チャネル マップなどがあります。プライマリ アドバタイズ チャネル用の PHY や、汎用チャネル送信用に異なる PHY も指定可能です。

API によっては、HCILE Set Extended Advertising Parameters コマンドのすべての項目に直接アクセスできるとは限りません。デバイスのスケジューラは、可能な場合に推奨範囲内からアドバタイズ間隔を自動的に選択します。

アプリケーションデータ

アプリケーションは HCILE Set Extended Advertising Data コマンドを 1 回以上呼び出し、アドバタイズ セットに必要なデータを設定します。従来のアドバタイズ同様、データはタイプ識別子・長さ・値フィールドで構成される AD タイプコンテナとしてカプセル化する必要があります。

HCI コマンド 1 回で送信できるデータは最大 251 バイトですが、アプリケーション側でより大きなデータを分割し、複数回コマンドを発行することができます。その際、Operation パラメータで各呼び出しが最初の フラグメントか、中間、または最後のフラグメントかを指定します。開発者は、API によって複数回の HCI 呼び出しを意識せず、1 回の関数コールで全データを渡せるよう上位抽象化されている場合があることに気づくでしょう。

互換性

従来のアドバタイズのみ対応の古いデバイスにも検出されるようにするには、従来のアドバタイズと拡張アドバタイズを交互に行う必要があります。

信頼性

$ADVB_E$ を利用したデバイス間でアドバタイズとスキャンのスケジュール調整がないため、レガシー アドバタイズ時と同様の課題が発生します。アドバタイズ間隔やスキャン間隔の値は慎重に設定する必要があります。レガシー アドバタイズに関しては Ellisys Expert Education Series の記事でさらに詳しく説明されています。とはいえ、AuxPtr フィールドにあるオフセット情報により、汎用チャネルでの補助パケットのスキャンを正確にスケジューリングできます。

$ADVB_E$ は $ADVB_L$ より多くの無線チャネルを使用しますが、依然としてプライマリ アドバタイズ チャネルで送信されるパケットをスキャニング デバイスが受信できるかどうかに依存しています。拡張アドバタイズの ADV_EXT_IND PDU にはアプリケーションデータは含まれていませんが、LE 1M PHY を使いアプリケーションデータを持つ auxiliary PDU と組み合わされる場合、最大 192 ビットのパケットとなり、プライマリ アドバタイズ チャネルでの送信時間はわずか 192µs です。これにより、衝突によるパケットロスの可能性が低減されます。

セキュリティ

データの機密性

Bluetooth Core Specification バージョン 5.4 で導入された暗号化アドバタイズ機能は、拡張アドバタイズと併用できます。

この機能では、アドバタイズ デバイスは、盗聴から保護したいすべてのデータフィールドを単一の複合ADタイプシーケンスとして暗号化し、その結果得られた暗号データを”Encrypted Data” という AD タイプに格納します。

この機能では、信頼できるデバイス同士で暗号化キーの情報を安全に共有する方法が定義されています。暗号化キーのパラメータを取得したスキャニングデバイスのみが、AdvData PDU フィールド内の暗号化データフィールドの値を復号できます。

プライバシー

アドバタイズやスキャンなどに利用されるリンク層の PDU には、送信デバイスのアドレスが記載されるフィールドが含まれることが多いです（例：アドバタイズ PDU の AdvA など）。デバイスアドレスの記載が必須の場合もあれば、任意の場合もあります。アドレスは識別子として機能するため、基本的には静的である必要があります。

同じ静的なデータを繰り返し送信するデバイスは、追跡されやすくなります。セキュリティの観点では、これはプライバシー上の問題とみなされます。

この Bluetooth デバイスアドレスに関連する問題を解決するため、仕様書ではプライベートアドレスと呼ばれる特別な種類のアドレスが定義されています。プライベートアドレスは自動的に一定間隔で更新されます。更新頻度は実装によって異なりますが、基本仕様では約 15 分ごとの変更が推奨されています。

デバイスのプライバシーを保護しつつ、信頼できるデバイスによる確実な識別を可能にする必要がある場合、解決可能なプライベート アドレス（RPA）と呼ばれる特殊なプライベート アドレスが定義されます。RPAを使用する場合、デバイスには、信頼性が高く不変の識別子として機能する隠しIDアドレスも存在します。RPAと併用する場合、IDアドレスは決して公開されませんが、2つのデバイスがペアリングされている場合に限り、デバイスはRPAをIDアドレスに変換（解決）することができます。

プライベート アドレスが変更されるたびに、暗号化されたアドバタイズ データ暗号化手順への入力の一つであるナンス（nonce: number used once、一度だけ使用される数値）も変更され、したがって暗号化されたデータの値も変更されることに注意してください。これもデバイスのプライバシー保護に役立ちます。

Ellisys Bluetooth アナライザ活用例

Bluetooth の拡張アドバタイズは少し複雑ですが、Ellisys Bluetooth アナライザシステムを使えば、作業がずっと簡単になります。図 6 のトレースをご覧ください。

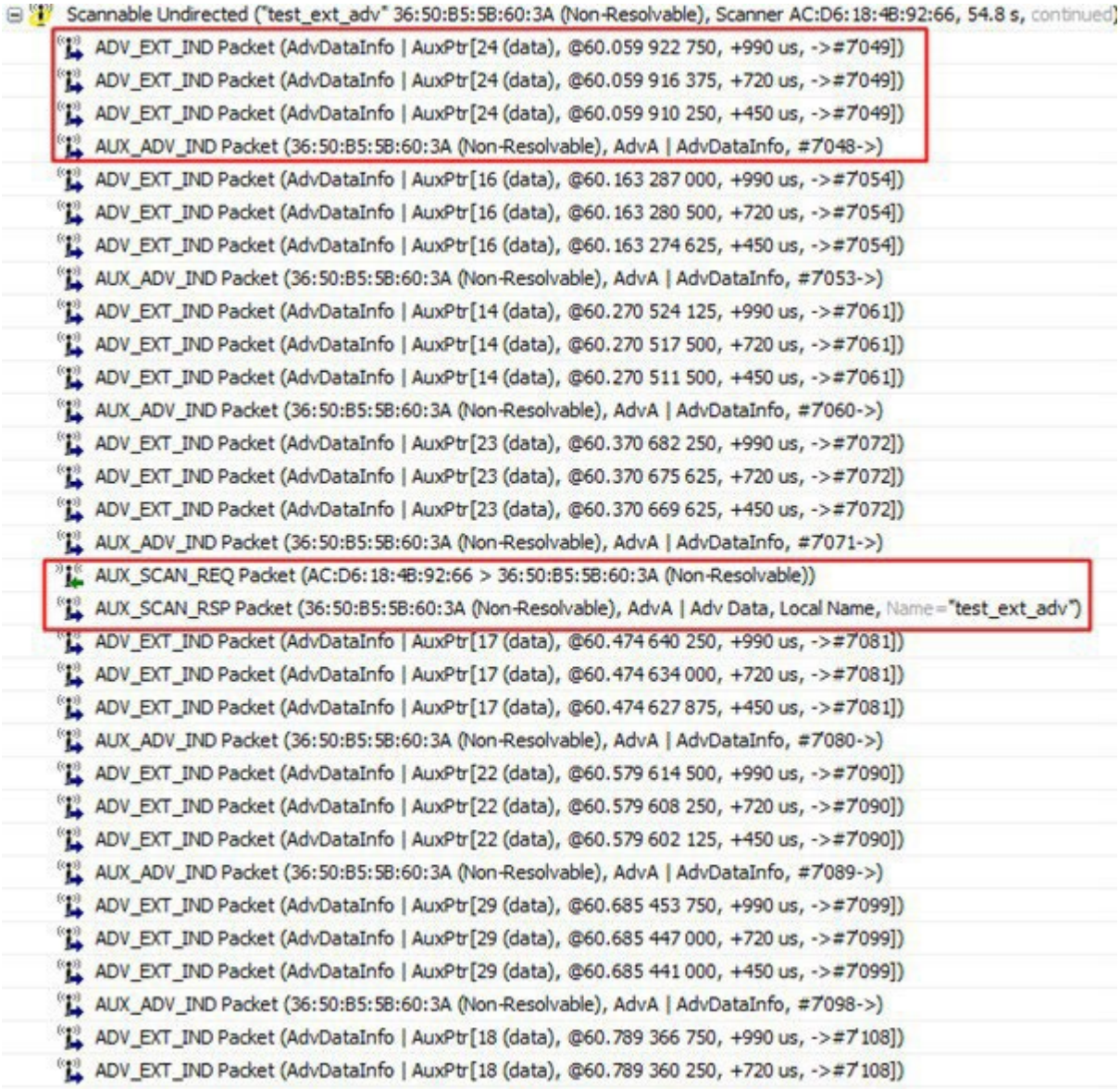

図 6 Ellisys Bluetooth アナライザソフトウェアでの拡張アドバタイズ表示例

上記の図 6 は、Ellisys Bluetooth® Vanguard™システムで取得されたトレースを示しています。このトレースには、拡張スキャン アドバタイズ中にアドバタイザー[2] が送信した複数の PDU が記録されています。3 つのプライマリ アドバタイズチャネルごとに 1 つずつ、3 つの ADV_EXT_IND PDU がグループとなって並び、その後に AUX_ADV_IND auxiliary PDU が 1つ続いています。

各 ADV_EXT_IND PDU に表示されている情報には、AuxPtr フィールドの詳細な内容も含まれています。最初のグループ（ハイライト部分）では、チャネル 24 で auxiliary PDU が受信されることがわかります。また、アドバタイズイベントの終わりが近づくにつれて、各 ADV_EXT_IND PDU でタイミングオフセットが予想通り徐々に短くなり、補助パケットの送信時間に近づいていく様子も確認できます。

[2] 拡張アドバタイズパケットは、Nordic Semiconductor 社の nRF54L15DK を用いて生成されました。

このグループから ADV_EXT_IND PDU のいずれかを選択すると、Ellisys システムは図 7 に示すように、さらに詳しい情報を表示します。

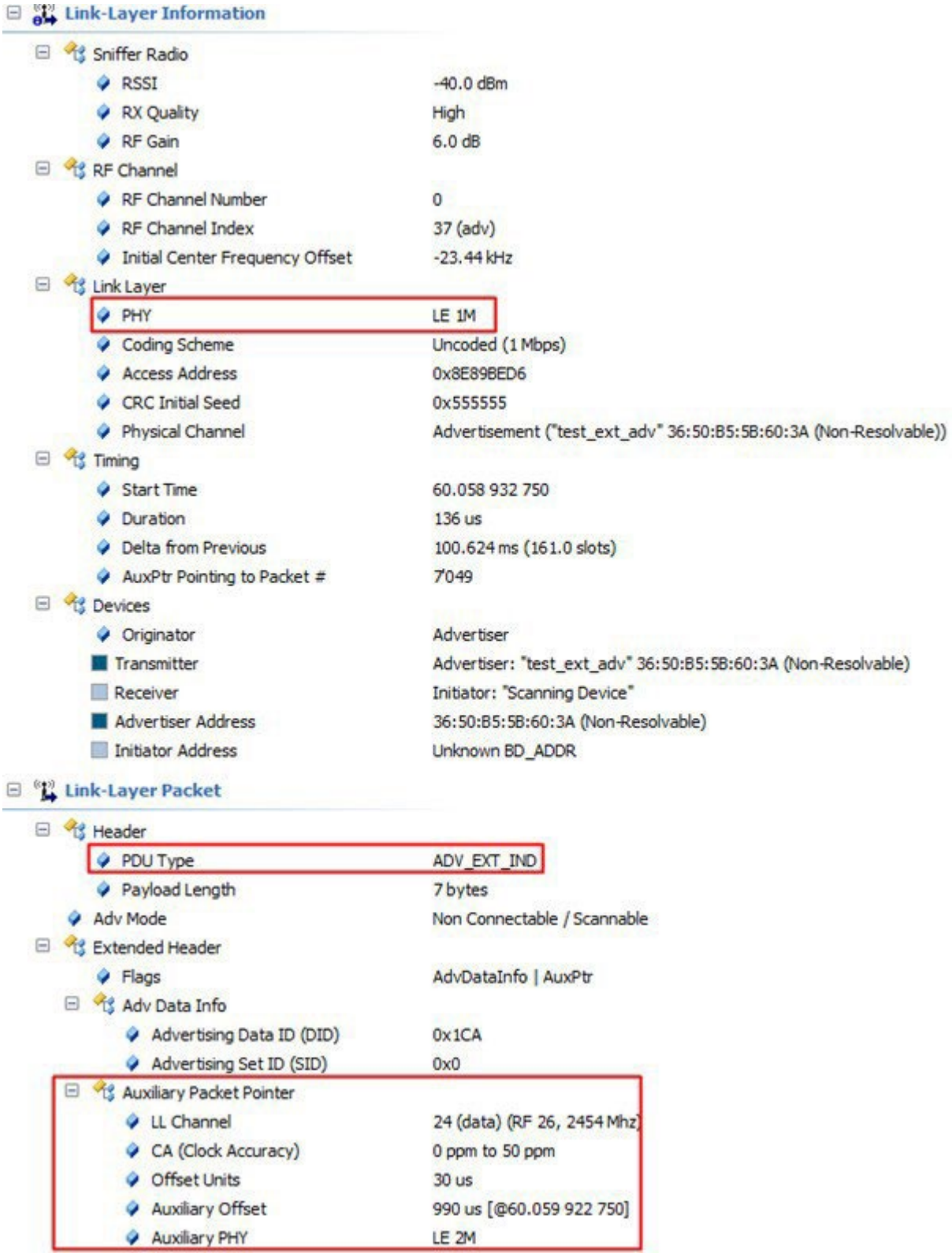

図 7 Ellisys Bluetooth アナライザ ソフトウェアでの ADV_EXT_IND PDU

図 7 では、ADV_EXT_IND PDU が LE 1M PHY で動作していることが示されていますが、AuxPtr フィールドから auxiliary PDU は LE 2M PHY を利用することがわかります。

AUX_ADV_IND PDU を選択すると、Ellisys アナライザがその詳細を図 8 のように表示します。

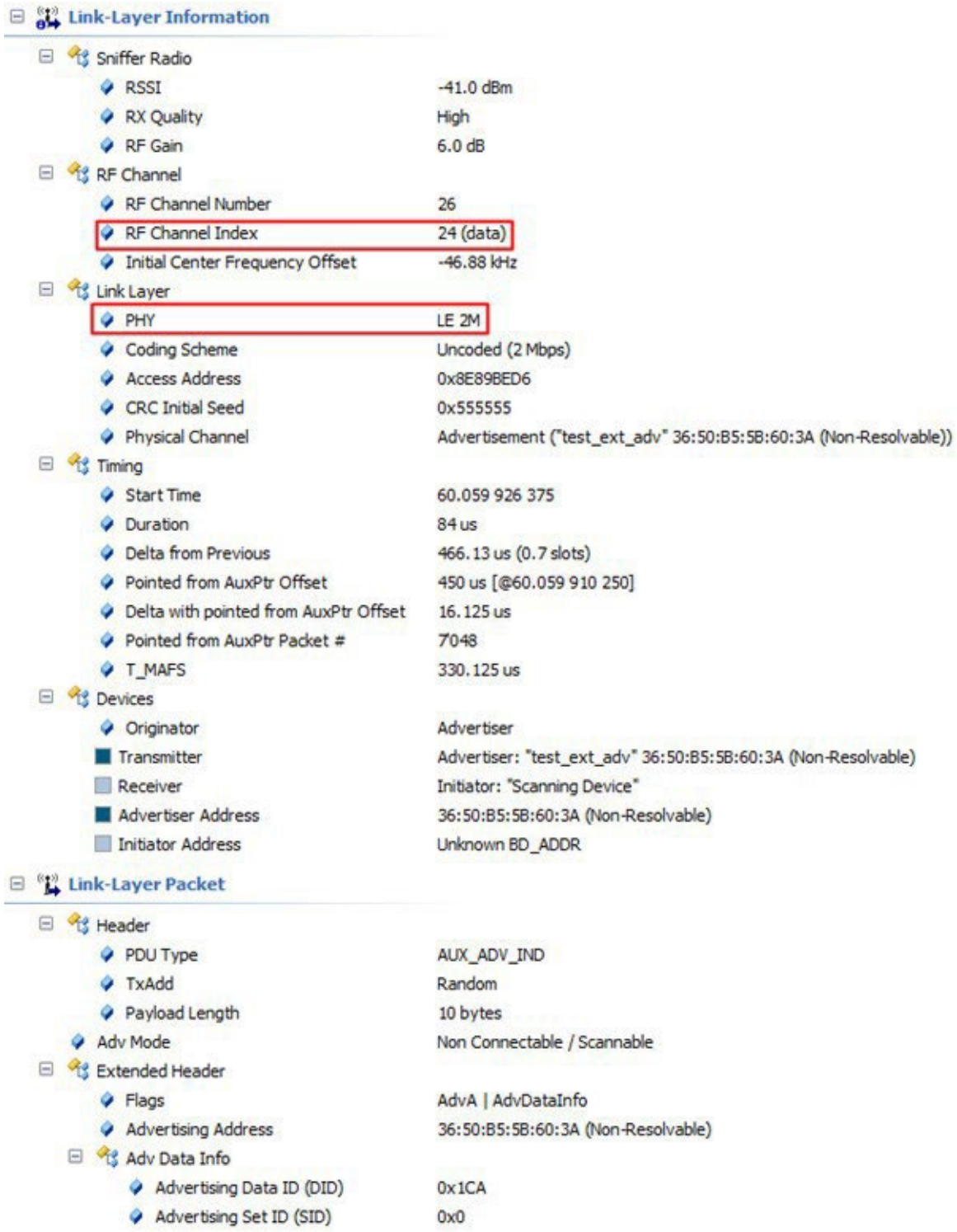

図 8 Ellisys Bluetooth アナライザ ソフトウェアでの AUX_ADV_IND PDU の例

予想通り、PDU はチャネル 24 で LE 2M を用いて送信されたことが確認できます。

図 6 に戻ると、スキャナーがアクティブスキャンを実施し、アドバタイズ側が応答している様子が確認できます。この動作に関連する 6 つの PDU の流れは、下記の図 9 で示されています。

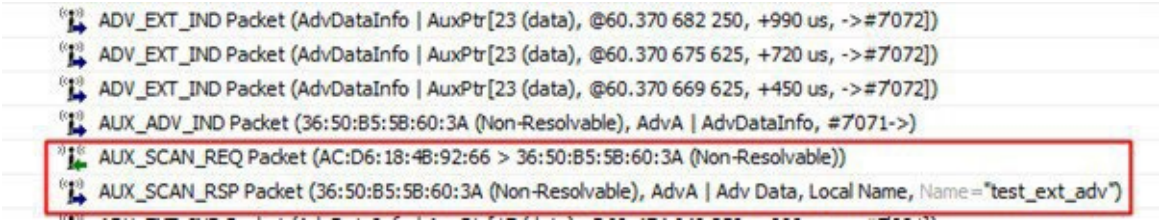

図 9 Ellisys Bluetooth アナライザ ソフトウェアによるアクティブスキャンの様子

ADV_EXT_IND PDU から、auxiliary PDU がチャネル インデックス 23 を使用することが分かります。

Ellisys ツールで AUX_SCAN_REQ および AUX_SCAN_RSP PDU を選択することで、この内容が正しいことが確認できます。

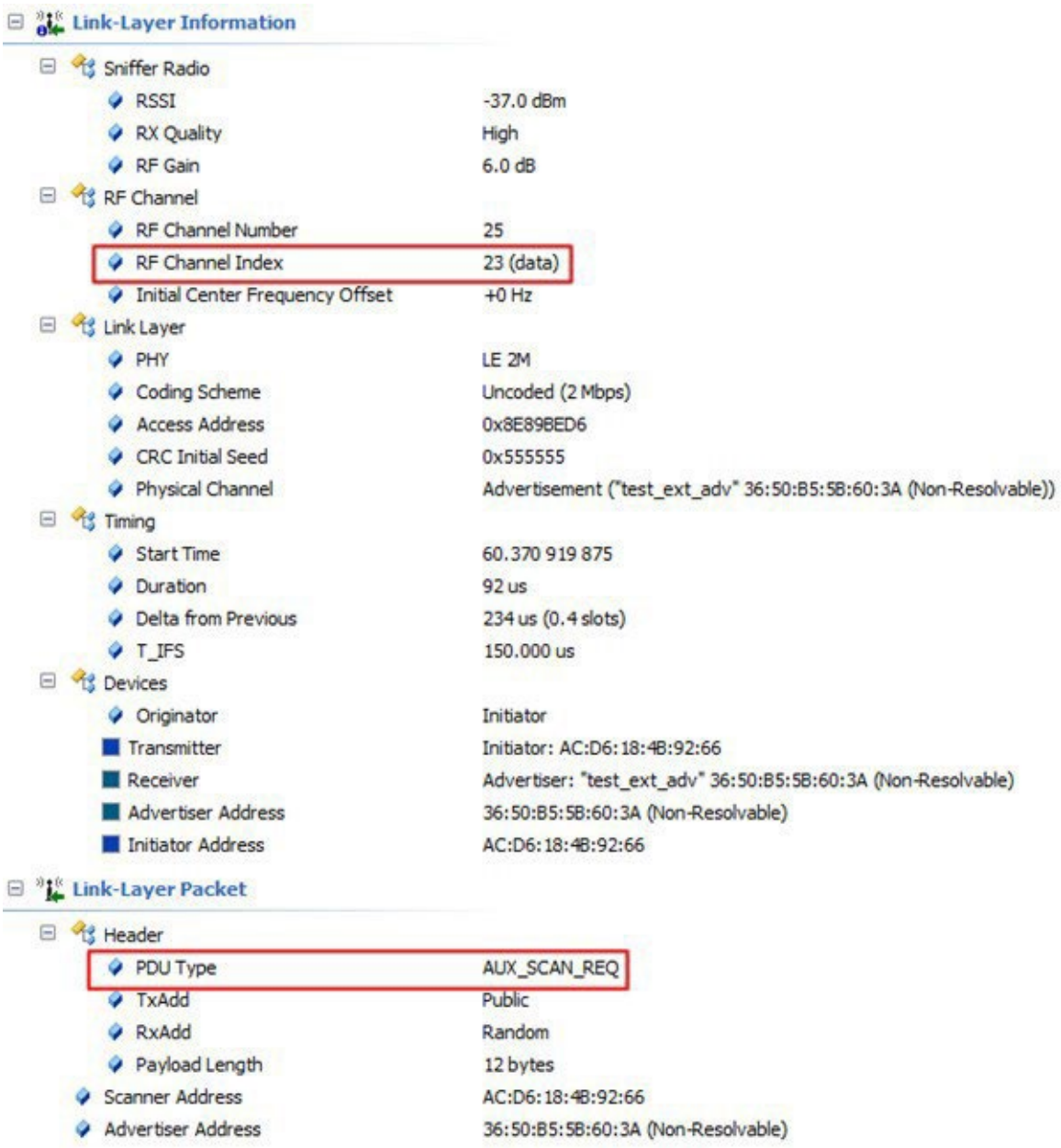

図 10 Ellisys Bluetooth アナライザーソフト上で、期待されるチャネルの AUX_SCAN_REQ

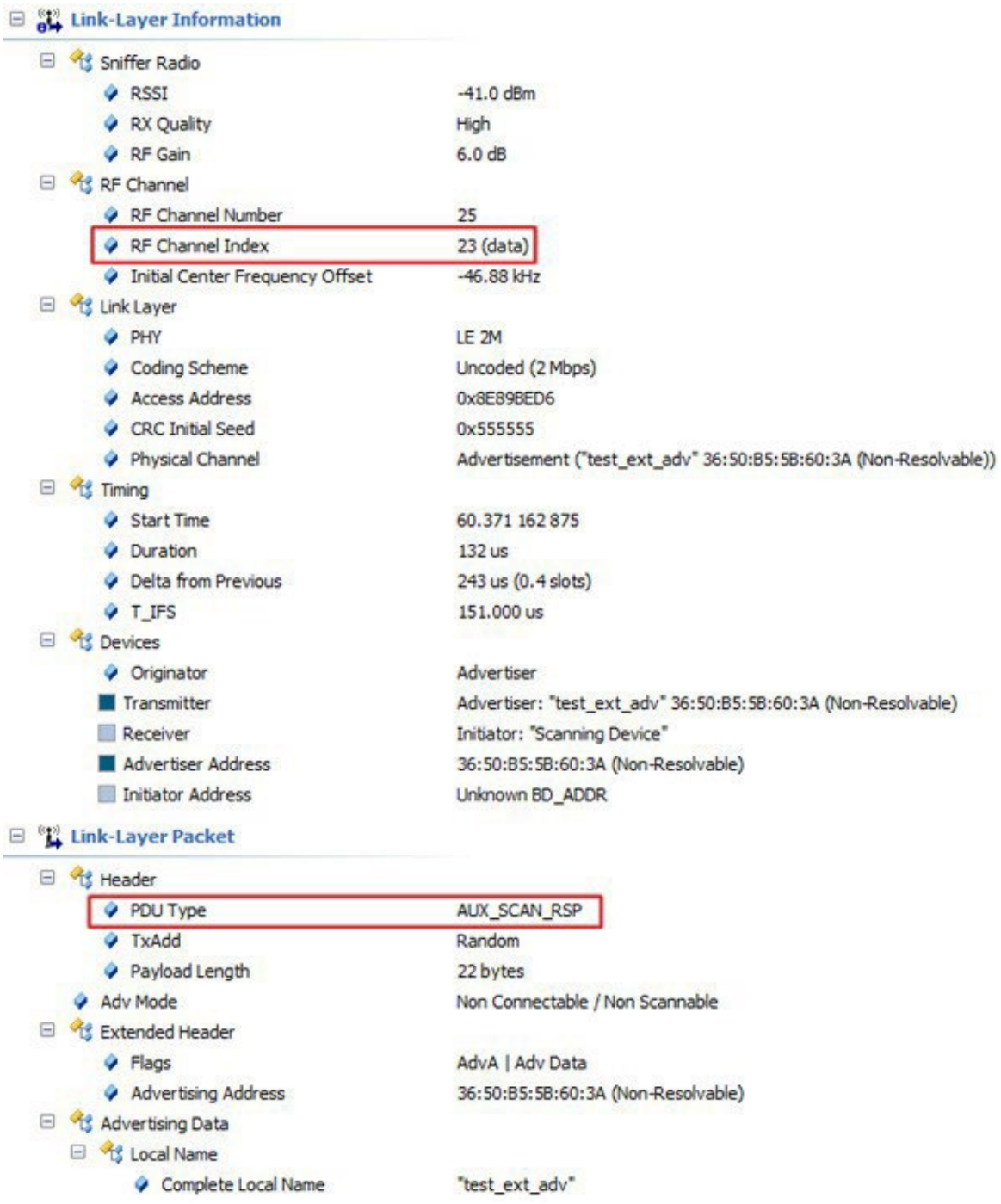

図 11 Ellisys Bluetooth アナライザ ソフトで想定チャネル上の AUX_SCAN_RSP

通信モードの特性

本シリーズの第 1 回の記事 “Bluetooth LE の多様な通信モード” では、通信モード同士を比較する際に役立つ特性のセットを紹介しました。ここでは ADVB$_E$（拡張アドバタイズ）の特性表を掲載します。

特性	コメント
トポロジー	無指向性：1 対多 指向性：1 対 1
送信機と受信機	アドバタイズイベントの種類やデバイスのロールによって異なります。詳細は上記の “デバイスロール（役割）” セクションを参照してください。
アプリケーションデータの方向	アプリケーションデータは、アドバタイズ デバイスからスキャニング デバイスへの一方向送信
接続型か 非接続型か？	非接続型
データとタイミング	非同期通信
受信側の同時処理	無指向性アドバタイズ パケットは、同時に無制限のスキャニングデバイスが受信可能 指向性アドバタイズの場合、送信パケットは特定のスキャニングデバイスのみが応答
無線チャネル	ADVB$_E$ では、Bluetooth LE の 40 チャネルすべてが利用可能
スケーラビリティ	無指向性アドバタイズは、理論上無限のデバイスへ到達可能 ADVB$_E$ は拡張性おいて非常に優位 ADVB$_E$ は、ADVB$_L$ と比べて 1 回のアドバタイズイベントごとにより多くのアプリケーション データを送信可能
PHY の選択	プライマリ アドバタイズ チャネルで送信されるパケットは、LE 1M やより長距離のLE Coded PHY も利用可能です。 汎用チャネルで送信されるパケットは、LE 1M、LE 2M、LE Coded を使用可能

表 2 ADVB$_E$ の 特性

ご存知でしたか？

最後に、拡張アドバタイズについての興味深く役立つ追加情報をいくつかご紹介します。

Bluetooth コア仕様バージョン 6.0 で”Decision-Based Advertising Filtering（DBAF）”という新しい機能が導入されたことをご存知でしたか？

プライマリ アドバタイズ チャネル（ADV_EXT_IND）で送信される拡張アドバタイズ PDU にはアプリケーション データが含まれていません。受信した ADV_EXT_IND PDU に関連するアプリケーション データを受け取るには、デバイスは AuxPtr フィールドで示された汎用チャネルを次にスキャンする必要があります。しかし、このauxiliary PDU を探して時間やエネルギーを費やしても、中身のデータが必要な情報でない場合があります。この現象は distraction（気が散る、邪魔）と呼ばれています。

汎用チャネルでデータ パケットをスキャンしている間は、プライマリ アドバタイズ チャネルのスキャンができず、その結果 ADV_EXT_IND PDU を取り逃す可能性があります。

このような気の散りは、遅延・信頼性・エネルギー効率に悪影響を及ぼす場合があります。

DBAF は、コア仕様で”ADV_DECISION_IND”と呼ばれる Decision PDU を導入することでこれらの課題を解決します。Decision PDU は、ADV_EXT_IND PDU の代わりにプライマリ アドバタイズ チャネルで送信され、補助アドバタイズ パケットの内容に関する情報を事前に提供できます。強化されたスキャン フィルタ ポリシーにより、スキャニングデバイスのコントローラーが AuxPtr で示されたチャネルをスキャンするかどうかをより賢く判断できるようになります。この仕組みにより、無駄なスキャンを防ぎ、プライマリアドバタイズチャネルの監視により多くの時間を使うことが可能になります。

Bluetooth コア仕様のバージョン 5.4 以降、LE Coded PHY でアドバタイズする際に使える符号化パラメータで “S” を選択できるようになったことをご存じでしたか？

LE Coded PHYは伝送距離を延長する技術であり、Sと呼ばれるパラメータ（値は2または8）と組み合わせて使用されます。このパラメータは、LE 1M PHYと比較して伝送距離がどれだけ向上するかを決定するため重要です。S=2の場合、伝送距離は約2倍になり、S=8の場合、約4倍になります。ただし、これには代償が伴います。S=2の場合、伝送距離は2倍になりますが、アプリケーション データの転送速度は半分になります。

コア仕様 v5.4 以前は、LE Coded PHY でアドバタイズする際に S の値を指定することはできませんでした。しかし、Advertising Coding Selection 機能の導入により、アドバタイズ アプリケーションが通信範囲とデータ転送速度のトレードオフを柔軟に調整できるようになりました。

Bluetooth コア仕様 v6.0 で導入された Monitoring Advertisers 機能は、拡張アドバタイズだけでなく従来のアドバタイズにも適用されることをご存じでしたか？

その通りです！この機能により、拡張アドバタイズも従来アドバタイズと同様のメリットを受けられます。スキャン フィルタ ポリシーで重複するアドバタイズ パケットを除外する設定ができますが、Monitoring Advertisers 機能を活用すれば、関心のあるデバイスが通信範囲に出入りする際にスキャナーへ通知することが可能です。

シリーズ次回予告

本記事では、Bluetooth LE の拡張アドバタイズ（ADVBE）通信モードについて解説しました。次回の記事では、Bluetooth LE の定期アドバタイズ（PADVB）通信モードを取り上げます。