



Ellisys Expert Note | EEN_BT11

Rev. A

Audio Grabber を用いたオーディオの遅延計測

はじめに

本エキスパートノートでは、Ellisys **Audio Grabber**（図 1）と、Ellisys Bluetooth アナライザのソフトウェアとハードウェアに搭載されているオーディオ解析関連機能を組み合わせて、Bluetooth オーディオシステムに内在する遅延を評価する方法について説明します。

Audio Grabber は、Ellisys Bluetooth アナライザの全モデルの PRO, ENT エディションで利用できる小さなアクセサリです。アナログ・オーディオ信号と I2S（Inter-IC Sound）デジタル・オーディオ入力を含むオーディオの遅延を、Bluetooth のオーディオデータ、HCI（Host Controller Interface）データや、Wi-Fi、I2C、UART などのアナライザが記録する全てのデータと高精度に同期して測定することができます。



図 1 - Audio Grabber Accessory

Audio Grabber はアナライザのロジック・ポートに直接、またはアダプタを介して接続します。Bluetooth Tracker や Bluetooth Vanguard には直接接続できますが、Bluetooth Explorer（BEX400）にはアダプタを使用する必要があります。

Audio Grabber は 2 系統のモノラル アナログ入力/1 系統のステレオ入力（L と R）、ライン入力（3.5 mm TRS）、マイク、またはラインとマイクのミックス入力に対応しています。アナログ・オーディオ I2S デジタル・オーディオに変換し、アナライザのオーディオ・ビューとタイミング・ビューに同期した時間で表示します。この 2 チャンネルのオーディオ入力（現在はデジタル形式）は、ロジック入力 0、1、2（それぞれ信号 SCK、WS、SD0）に物理的に接続されています。これらの入力は、アナライザソフトウェアの Recording Options ダイアログの Wired タブで設定する必要があります。便宜上、これらの入力は Audio Grabber のボードに印刷されています。

2 つの MIC 入力（L/R）は、通常、MIC の近くに置くことができるイヤホンからオーディオを記録するときに使用します。

Audio Grabber には 3 つの LED があり、L/R の MIC のアクティビティ、Audio Grabber が接続されているアナライザのロジック・コネクタから電源が供給されていることを示します。

Audio Grabber 用アダプタとロジック・ケーブルの使用法

Audio Grabber 用アダプタ（図 2）は、Ellisys アナライザの PRO, ENT エディションに標準添付されているロジック・ケーブル（図 4）を使用することで、I2S デジタル・オーディオ、UART、I2C や SPI などの一般的なオーディオ制御プロトコル、ロジック信号などを必要に応じて同期して記録することができます。ロジック・ケーブルの接続方法については、“ロジック・ケーブル - Bluetooth Tracker と Vanguard” の項を参照してください。

注意：Bluetooth Explorer のロジック・コネクタは Audio Grabber のロジック・コネクタよりもサイズが大きいため、Bluetooth Explorer アナライザでは必ずアダプタを使用する必要があります。

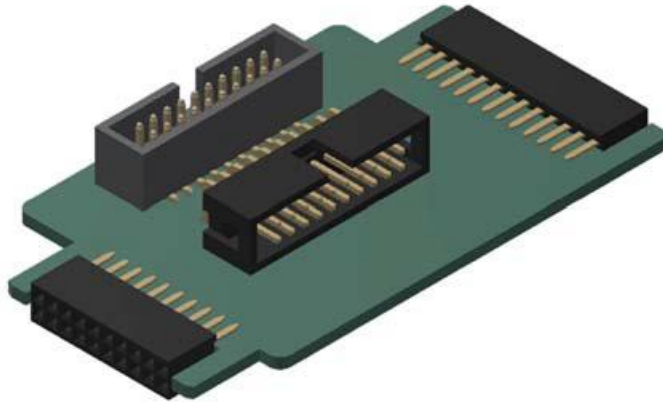


図 2 - Audio Grabber 専用アダプタ

図 2 を見てください。左側のコネクタは Bluetooth Tracker または Vanguard のロジック・ポートに接続します。右側のコネクタは Bluetooth Explorer のロジック・ポートに取り付けます。中央には 2 つのコネクタがあり、奥のコネクタは BV1 / BTR1 用（BEX400 用は使用不可）のロジック・ケーブルを挿入するためのもので、もう一方は Audio Grabber（図 3 参照）を接続するためのものです。



図 3 - Audio Grabber をアダプタに挿入した状態

図 4 はロジック・ケーブルです。これはリードが色分けされたソケット付きのバラ線で構成されたパッシブ ケーブルで、アナライザの Recording Options – Wired タブで信号を割り当てることができます。I2S に加えて、UART（HCI および汎用）、SPI（HCI および汎用）、単純なロジック信号（Tracker, Vanguard が最大 16, Explorer は最大 12）、I2C、SWD、UCI（UWB 信号用コマンド・インターフェース）の同期した記録を容易にします。ピン配置については、“ロジック・ケーブル - Bluetooth Tracker / Vanguard” および “ロジック・ケーブル - Bluetooth Explorer” のセクションを参照してください。



オーディオの遅延

オーディオ・ストリームのレンダリング、例えば L と R のステレオ ストリームのようなわずかな差異でさえ、ユーザー・エクスペリエンスの低下につながる可能性があるため、理想的には、オーディオ システムは、ほぼ完璧な同期でオーディオ・ストリームをユーザーに配信する必要があります。

オーディオの遅延は、オーディオ信号が入力から出力までシステムを通過するのにかかる時間として定義できます。このようなシステムは、劇場や野外コンサート会場のように音速が影響するような大規模なものから、電子デバイス、コンポーネント、モジュールのように様々な処理や転送要件から遅延が発生するような小規模なものまであります。

ここでの目的として、オーディオのデジタル表現とアナログ表現がさまざまな遅延の影響を受ける、コンポーネントレベルまたはモジュールレベルの信号処理や 2 台の通信デバイスを含む実装などの、小規模な実装に重点を置いています (図 5 参照)。デジタル・アナログ・コンバータ (DAC) とアナログ・デジタル・コンバータ (ADC) を通して発生する遅延は、オーディオ システムにおける遅延分析の焦点となることが多く、データのバッファ、デジタル信号処理タスク、他のソフトウェアプロセス、さらには無線通信も遅延の原因となり得ます。

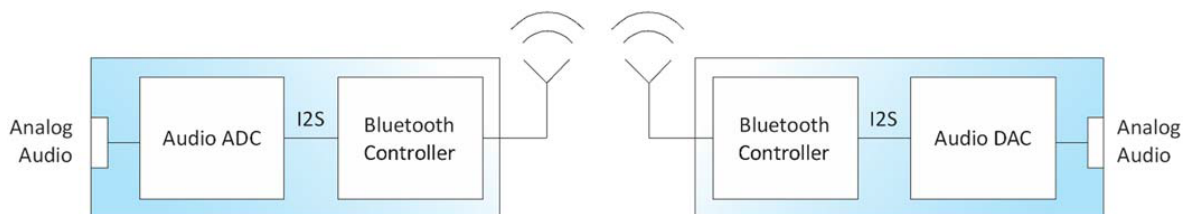


図 5 – シンプルなオーディオ システムのブロック図

Bluetooth オーディオ

Bluetooth は、電話や音楽用の BR/EDR (Classic Bluetooth) から、Bluetooth Low Energy LE Audio や、ブロードキャストとユニキャスト（接続指向）の両方のトポロジーをサポートする単独のコーデック LC3 を使用する新しいアプローチまで、オーディオ用の多種多様なアプリケーションを提供します。

これらのアプリケーションは、1 人のユーザーが複数の同期ストリームを聴く、複数のユーザーが同じブロードキャストを共有する、複数のユーザーが異なる同期ブロードキャストを共有する（言語固有のケースなど）、双方向オーディオなど、多くのユースケースに対応できます。

図 6 は、多数の LE オーディオ・ストリームを記録した Ellisys アナライザの画面です。この場合、LE プロトコル・オーバービュー（アイソクロナス・トラフィックのみを表示するようフィルタリング）とスペクトラム・ビューも表示される。オーディオ・ストリームは、オーディオ・ビューの青い線で示されています。この記録には、主にブロードキャスト・アイソクロナス・ストリーム（BIS）が含まれますが、ユニキャスト・ストリームやクラシック Bluetooth オーディオも含まれる場合があります。この場合、これらのストリームは無線で記録されますが、Audio Grabber 経由で入力された時間同期されたアナログおよび I2S デジタル・ストリーム、またはアナライザのロジック・ポート経由で直接記録された I2S デジタル・ストリームが同時に記録されることもあります（これらもオーディオ・ビューに表示されます）。さらに、HCI 経由で伝送される 1 つまたは複数のオーディオ・ストリームを記録することもできます。体系的な解析を実現します。

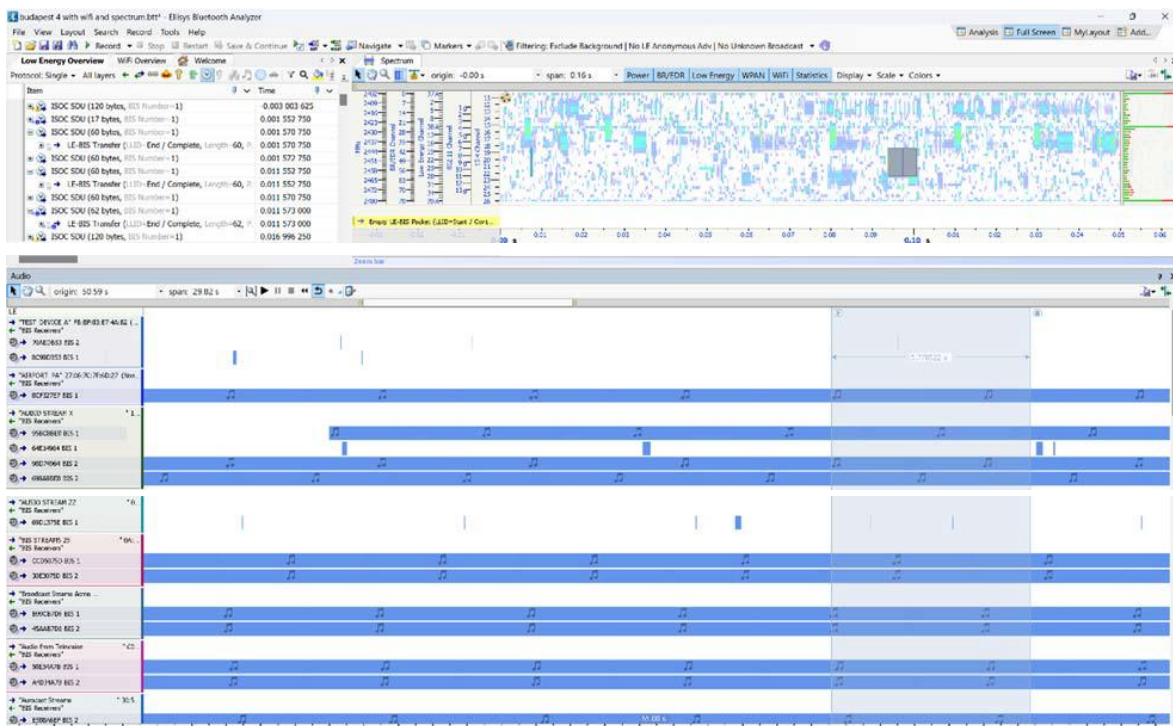


図 6 – 多数のブロードキャストと音声ストリームの例

Inter-IC サウンドとは？

I2S（Inter-IC Sound）は比較的シンプルな通信バスで、DAC、ADC、DSP、バッファなどの集積回路間でデジタル・フォーマット（PCM）のオーディオを接続するために使用されます。I2S は、2 つのオーディオ機器間の外部リンクとして使用されることもありますが、この目的のための標準ケーブルはなく、一般的な方法ではありません。

I2S バスは、シリアル・クロック（SCK）、ワード・セレクト・ライン（WS）（フレーム・シンク（Frame Sync）と呼ばれることもある）で構成され、LOW で左チャンネルのデータが有効になり、HIGH で右チャンネルのデータが有効になります。クロック・レートは、サンプル・レートやチャンネルあたりの使用ビット数、チャンネル数に依存します。

オーディオエンジニアによる Ellisys Bluetooth アナライザの使用

Ellisys の Bluetooth アナライザはその豊富な機能を持って、オーディオ品質の特性評価、伝送特性の最適化、遅延測定、スタック問題のプロトコルデバッグ、再送信の特性評価、電力とバッテリーの最適化、ワイヤレス共存の研究など、世界中のオーディオエンジニアに広く使用されています。

ユーザーは、デジタル・フォーマット（PCM I2S）、Bluetooth や Wi-Fi 経由の無線、ホスト・コントローラー・インターフェイス（HCI）経由、Audio Grabber によるアナログ・ソースなど、さまざまな形式でオーディオを同時に記録できます。これらの様々なデータはすべて完璧なタイミングで同期され、様々な論理形式、テキスト形式やグラフィカルなフォーマットでユーザーに表示されます。音声データは、サードパーティーのアプリケーション、例えば Audacity（フリーのオープンソースオーディオエディター、<https://www.audacityteam.org> 参照）でさらに深く分析するためにエクスポートすることができます。

記録されたオーディオ データの内容を理解するために、図 7 をご覧ください。これは、Bluetooth 無線データと HCI 通信を同時に記録したものです。コントローラの両側のオーディオを記録することは、非常に便利です。デバイスフィルタを適用して、通信している 2 つのデバイスに焦点を絞った後、プロトコル フィルタを両方のデータに適用することでオーディオ データに焦点を当てます。コマンドとオーディオ データは、オーディオ・ビューに表示されます。オーディオ・ビューでは、録音中または保存されたデータでオーディオをライブ再生したり、オーディオのセクションをループ再生したりでき、タイミング測定や他のビューとの連携を行い、さらに WAV ファイルへのエクスポートが可能です。

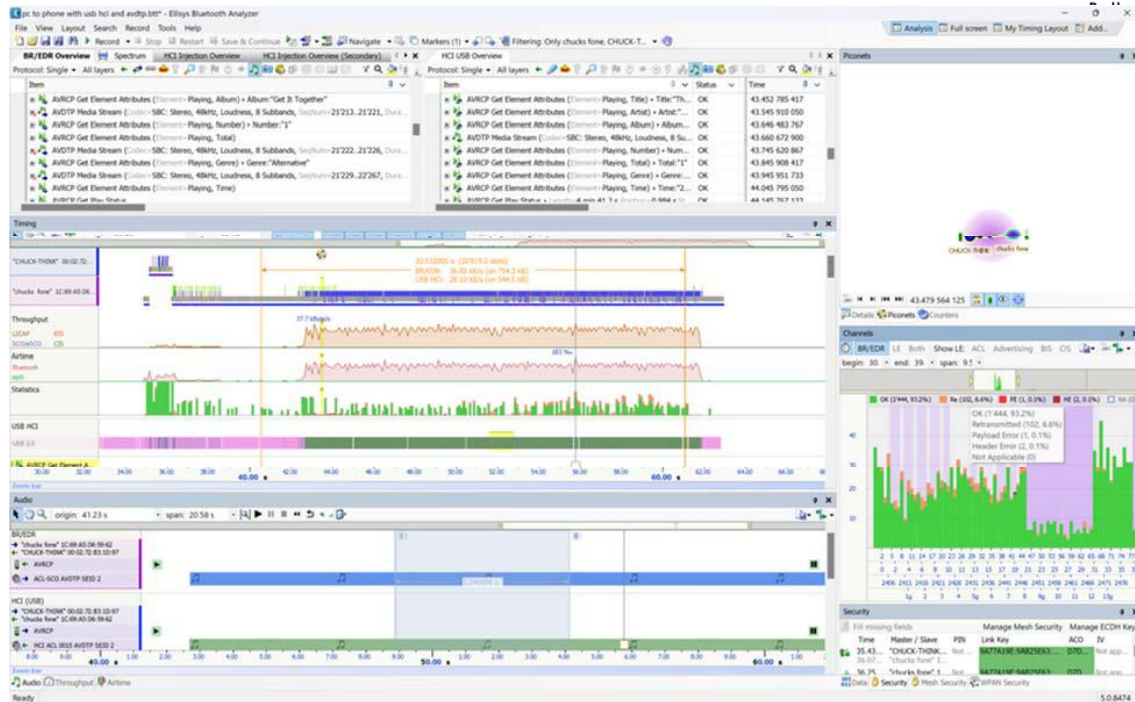


図 7 - Audio データの表示例

チャンネル・ビュー（図 7 の右下）は、干渉や再送などの動的な回避を含む、チャンネルごとのデータの品質を表します。Wi-Fi も記録され、タイミング・ビューにも一緒に表示されます（ここでは Wi-Fi オーバービューは表示していません）。すべてのデータは、スループット情報、通信時間利用率、およびさまざまな統計情報とともに、タイミング・ビューで完全に同期して表示されます。

Ellisys アナライザは、LE オーディオの記録品質を向上させるためのテスト機器グレードの LC3 コーデックを含む LC3 AutoDetect（標準機能）や、暗号化後の最も早いインスタンスのアイソクロナス通信の記録や、LTK を事前に入力することなく暗号化されたままの LE オーディオのデータ記録を可能にする独自の高性能処理技術である tZERO™ Tracking（Bluetooth Vanguard の標準機能）など、高度でユニークなオーディオ解析機能を搭載しています。

図 8 では、複数の I2S デジタル・ストリームとクロック（SCK）およびワード・セレクト（WS）ラインの典型的な記録例を示しています。タイミング・ビューとオーディオ・ビューです。これらのストリームは、（ロジック・ケーブルを使用して記録された）ネイティブデジタルの場合もあれば、Audio Grabber の 3.5mm ジャックまたは MIC 入力から記録されたアナログ・オーディオの場合もあります。各ビューの下部にある関連時間表示とタイミングカーソルに注目してください。

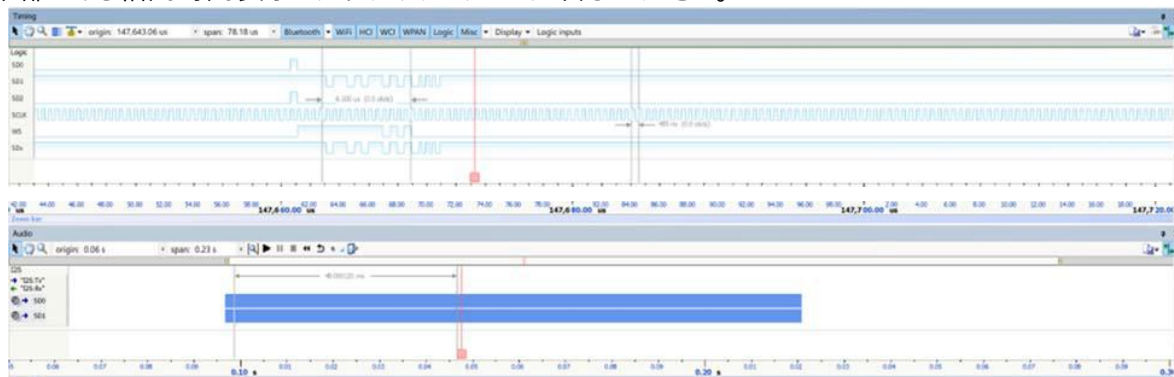


図 8 - デジタル オーディオ データのタイミング・ビューとオーディオ・ビューの例

Audio Grabber のセットアップ

Audio Grabber を使用する手順 :

1. 専用アダプタ (図 2) を用いて Audio Grabber を取り付ける場合は、必要に応じてロジック・ケーブル (図 4) をアダプタに接続し、そうでない場合はステップ 2 に進みます。
注意 : Bluetooth Explorer の場合、ロジック・コネクタのサイズが合わないため、アダプタを使用する必要があります。Bluetooth Tracker と Vanguard の場合はオプションです。このアダプタはロジック・ケーブルを取り付けることができ、追加の I2S バス、他の通信規格 (例 : UART、SPI、I2C SWD)、ロジック信号の記録に使用できます。詳しくは “ロジック・ケーブル - Bluetooth Tracker / Vanguard” または “ロジック・ケーブル - Bluetooth Explorer” を参照してください。
2. Audio Grabber をアダプタなしで使用する場合は、アナライザのロジック・コネクタに接続します。アダプタを使用する場合は、Audio Grabber をアダプタに接続し (図 3)、アダプタをロジック・コネクタに接続します。
3. ロジック・ケーブルを使用する場合は、Audio Grabber 専用の入力ピン 0、1、2 を除き、ロジック・ケーブルを目的の入力端子に接続します。
4. Recording Options で、図 9 に示すようにプライマリオード I2S 入力を割り当てます。Audio Grabber へのアナログ入力は I2S に変換され、Audio Grabber PCB に示されているように、また図 9 の下部に書かれているように、I/O 0 (SCK)、1 (WS)、2 (SD0) に物理的に接続されています。Audio Grabber の入力遅延は 375 μ s です。

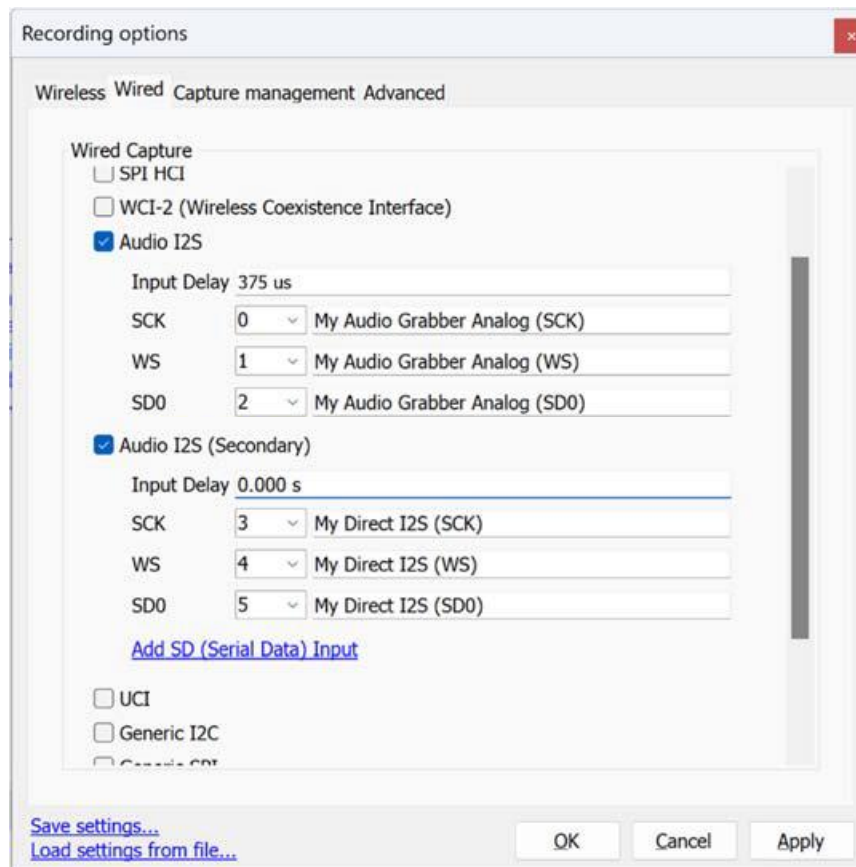


図 9 – Audio Grabber 用の Audio I2S 入力と入力遅延の Recording Options 設定例

非常に便利なことに、オーディオ I2S の記録設定では、入力遅延を指定することが可能です。この設定は、Audio Grabber で予想される ADC の入力遅延を補正するために使用されます。アナログ入力をアナライザが使用するデジタル I2S フォーマットに変換する際、ADC には予想される入力遅延があります。ユーザーは、デジタル・オーディオの時間ではなく、アナログ・オーディオの時間を知りたいので、入力遅延は、アナライザソフトウェアによって表示されるタイムスタンプがアナログ・オーディオの実際の時間と一致するように、この ADC の入力遅延を補正します。Audio Grabber の入力遅延は、375us と正確に特徴付けられています。

Audio Grabber の設定は、図 10 に示すように、Help メニューからアクセスできる "About" ボックスの "Analyzer" タブで "Configure" リンクをクリックすることで確認、編集することができます。

- 2024 年 1 月時点では、BEX400, BTR1 のみが使用可能で BV1 では使用できません。ライン/マイク入力の構成を変える場合、BEX400, BTR1 が必要です。なお、この構成は Grabber に記憶されるますので、BEX400, BTR1 を用いて設定したものは、同じ設定で BV1 でも使用できます
- 最新の情報は、ガイロジック株式会社（0422-26-8211, bt@gaillogic.co.jp）までお問い合わせください。

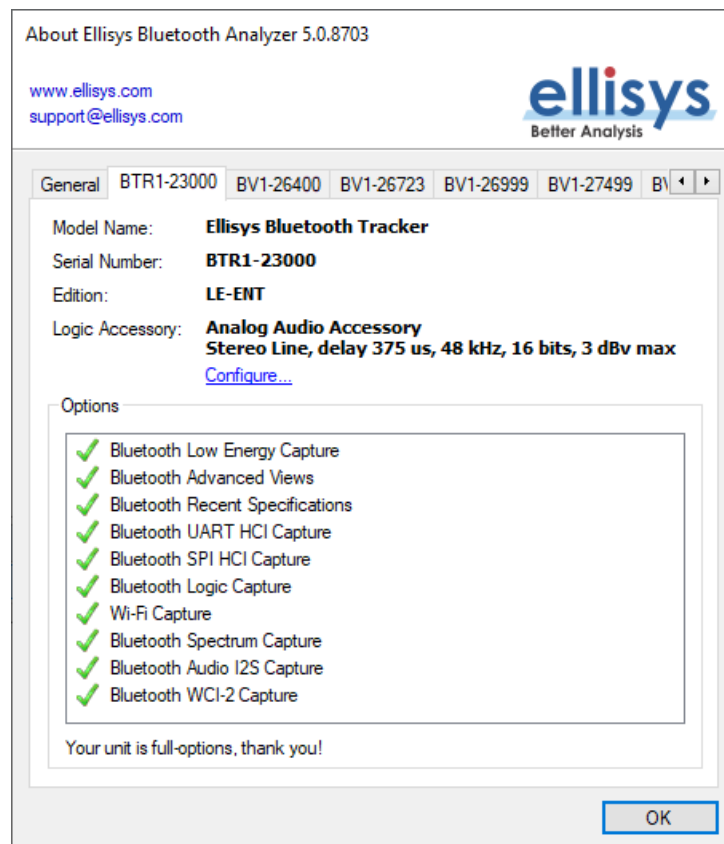


図 10 – Help – About メニューの Audio Grabber 設定画面リンク例

Audio Grabber の構成は図 11 に示すように選択することができます。現在、構成はステレオ・ライン、左マイク/右ライン、左ライン/右マイク、ステレオ・マイクの 4 つから選ぶことができます。

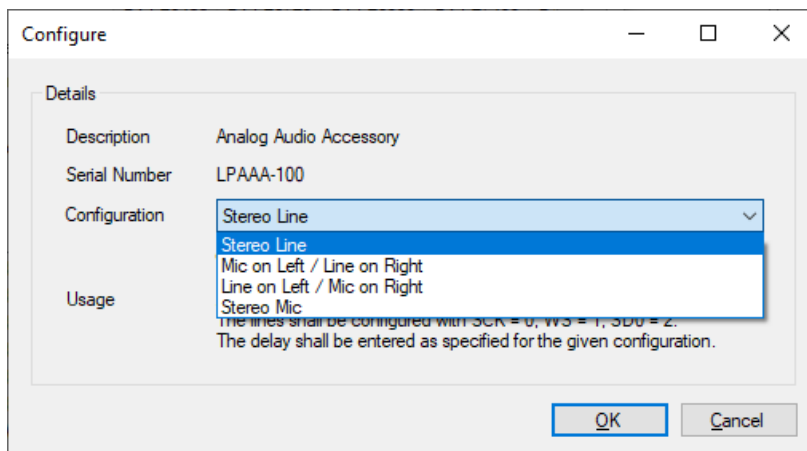


図 11 - Audio Grabber 設定画面

典型的な遅延の測定

Audio Grabber がなくても、アナライザはデジタル・オーディオ・ストリーム（1 つまたは複数）の記録を行うことができます（図 12 参照）。

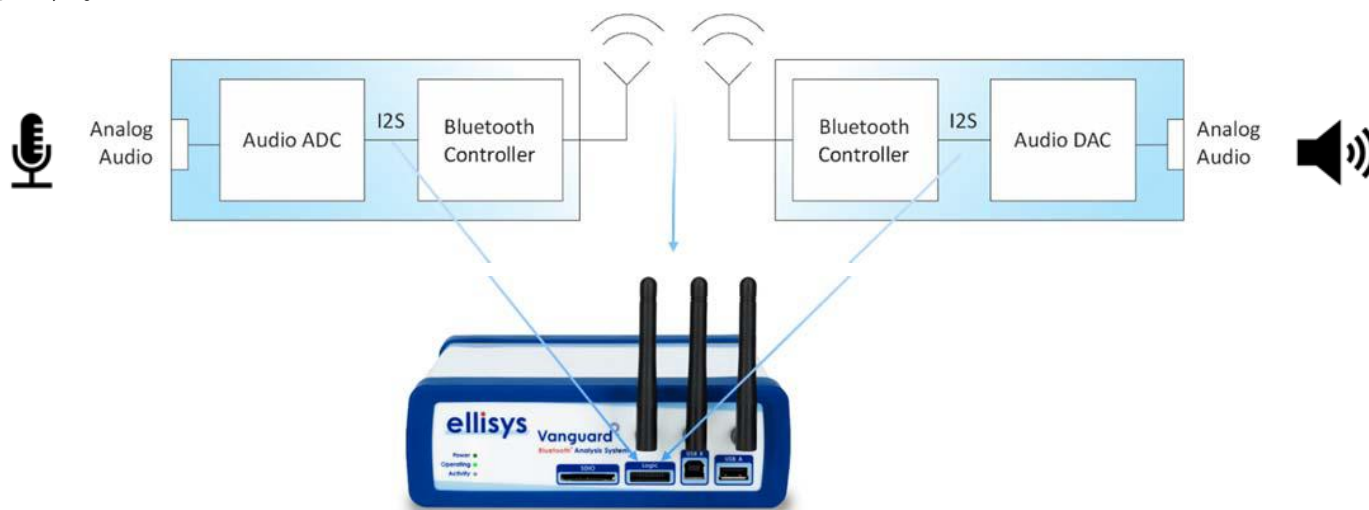


図 12 – デジタル・オーディオと Bluetooth 無線記録のセットアップ

Audio Grabber を使用すると、アナログ・オーディオを解析に加えることができ、ADC や DAC コンポーネントを介した遅延測定が可能になります（図 13 参照）。

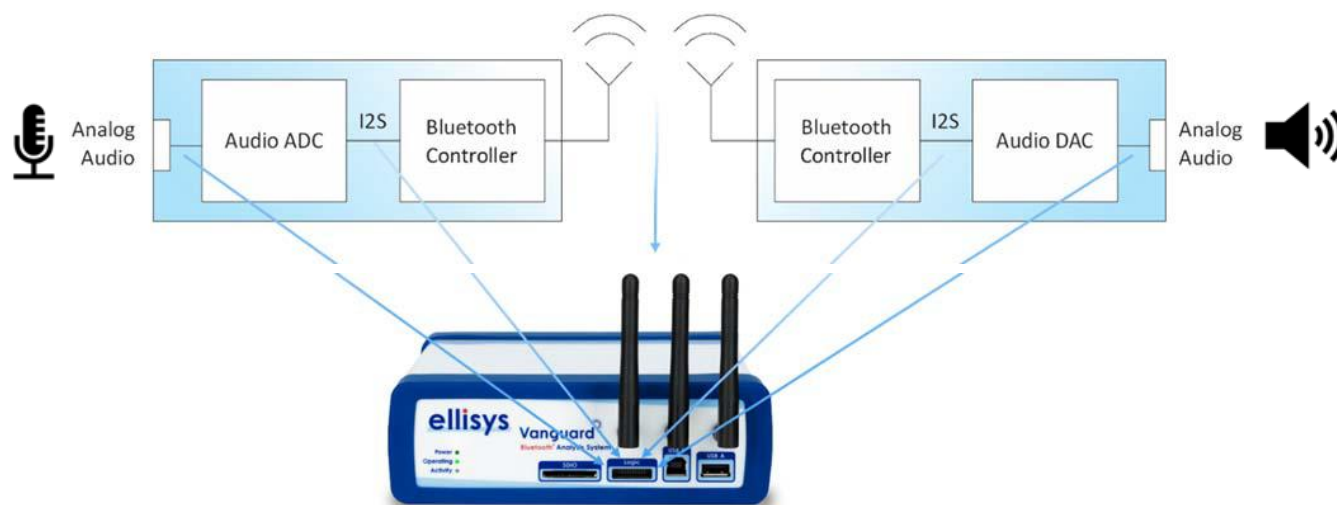


図13 - Audio Grabberを用いた2つのデジタル・オーディオとBluetooth無線記録のセットアップ

オーディオのエクスポート

アナライザが記録したすべてのオーディオ データは、図 14 に示すように、File - Export メニューからエクスポートできます。記録された各オーディオ データは、個別に WAV 形式でエクスポートされます。

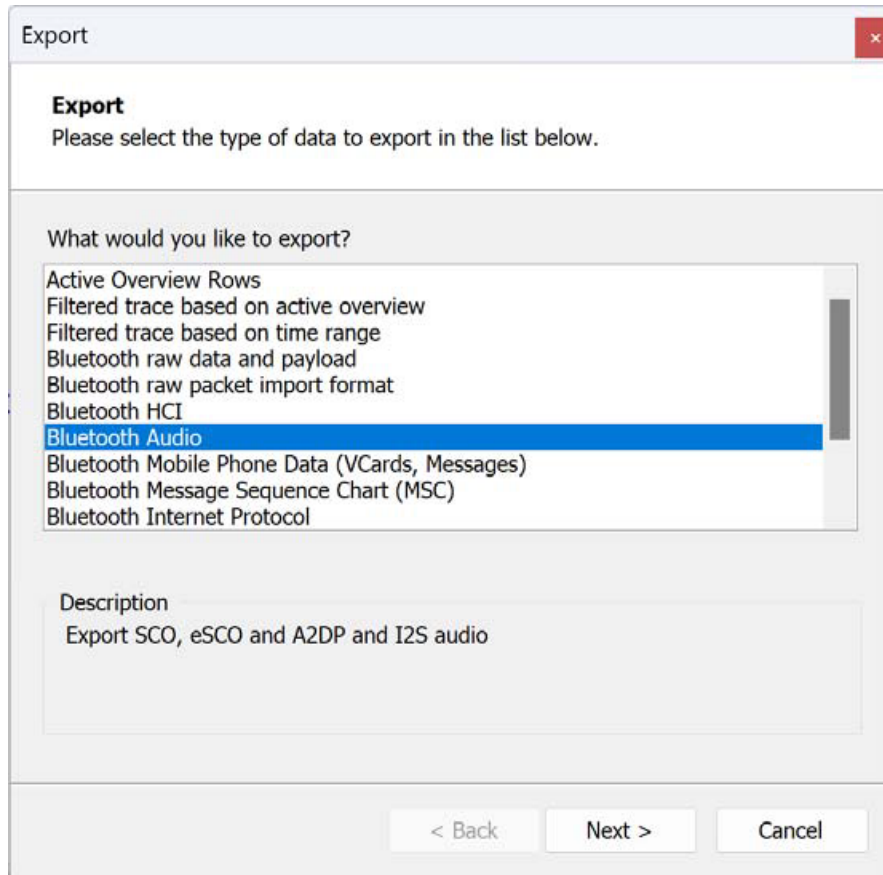


図 14 – エクスポート メニュー (Bluetooth Audio 選択時)

ロジック・ケーブル – Bluetooth Tracker / Vanguard

Bluetooth Tracker および Vanguard アナライザのロジック・インターフェースは 20 ピン（10 ピン×2 列）のソケットで、PRO、ENT エディションに標準添付されるロジック・ケーブルと嵌合します。

ロジック・ケーブルはアナライザのロジック用コネクタに正しく接続できるようにキーが付いています。

図 15 に Bluetooth Tracker / Vanguard のロジック・ケーブルのピン配置とケーブルの色、キーの位置を示します。

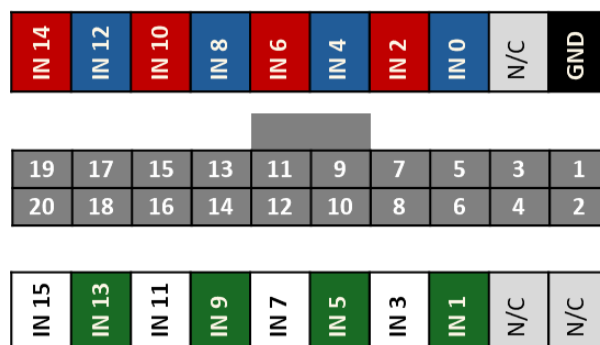


図 15- Bluetooth Tracker / Vanguard のロジック・ケーブルのピン配置

ロジック・ケーブル – Bluetooth Explorer

Bluetooth Explorer アナライザのロジック・インターフェースは 26 ピン（13 ピン×2 列）のソケットで、PRO、ENT エディションに標準添付されるロジック・ケーブルと嵌合します。

ロジック・ケーブルはアナライザのロジック用コネクタに正しく接続できるようにキーが付いています。

図 16 に、Bluetooth Explorer のロジック・ケーブルのピン配置とケーブルの色、キーの位置を示します。

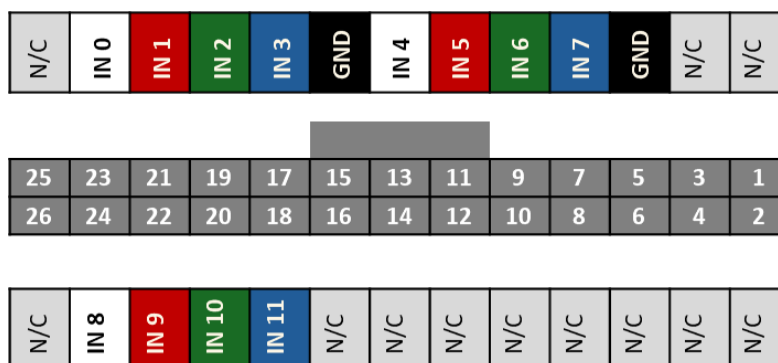


図 16 - Bluetooth Explorer のロジック・ケーブルのピン配置

本文書について

本文書は、" EEN_BT11 Measuring Audio Latencies (Rev. A - Updated 2023-12)" を翻訳したものです。原文、本文書及び Ellisys 製品に関するお問い合わせは、Ellisys 日本総代理店 ガイロジック株式会社 (0422-26-8211, es@gailogic.co.jp) までご連絡ください。

その他の翻訳版エキスパートノートは、https://www.gailogic.co.jp/db/bt/expert_notes をご覧ください。

Bluetoothプロトコル・アナライザ販売窓口 (ガイロジック株式会社)

 0422-26-8211  es@gailogic.co.jp  <https://www.gailogic.co.jp/db/bt>

Copyright© 2021 Ellisys.全ての権利はEllisysに帰属します。Ellisys、Ellisysロゴ、Better Analysis、Bluetooth Explorer、Bluetooth Tracker、Bluetooth Vanguard、Ellisys Grid、Bluetooth QualifierはEllisysの商標であり、一部の管轄区域では登録されている可能性があります。Bluetooth®のワードマークおよびロゴは、Bluetooth SIG, Inc. が所有する登録商標であり、Ellisysによるこれらのマークの使用はライセンスに基づくものです。Wi-Fi®およびWi-Fi Allianceのロゴは、Wi-Fi Allianceの商標です。その他の商標および商号は、それぞれの所有者に帰属します。ここに記載されている情報は例示を目的としたものであり、設計の参考にすることを意図したものではありません。具体的な設計指針については、最新の技術仕様書を参照してください。