

LIDAR - 光検出と測距

まえがき：

50年以上前のレーザー技術の開発は距離の計算方法に飛躍的な進歩をもたらし、光検出および測距（LIDAR）システムを生み出しました。LIDARの原理はレーダーによって使用されるものとほとんど同じです。主な違いは、LIDARがレーザー信号を使用するのに対し、レーダーシステムは物体から反射される電波を検出することです。どちらの手法もオブジェクトの距離を決定するために同じタイプの飛行時間法を採用しています。しかし、レーザー光の波長は電波の波長よりはるかに短いため、LIDARシステムは優れた測定精度を提供します。LIDARシステムはまた、周波数成分や偏光など、反射光の他の特性を調べてオブジェクトに関する追加情報を明らかにすることもできます。

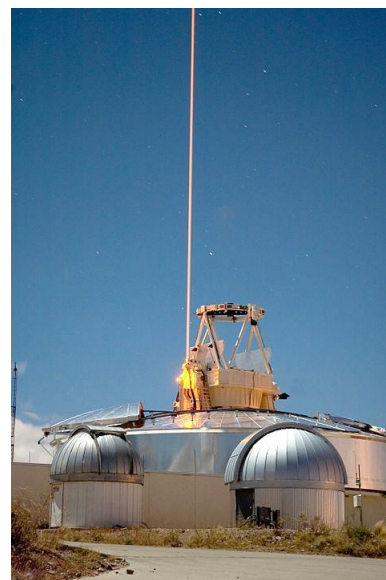
LIDARシステムは現在、ますます多様な用途に採用されています。これには、自動運転、地質学的・地理的マッピング、地震学、気象学、大気物理学、監視、高度測定、林業、ナビゲーション、車両追跡、測量、環境保護などが含まれますがこれらに限定されません。

LIDAR 構成：

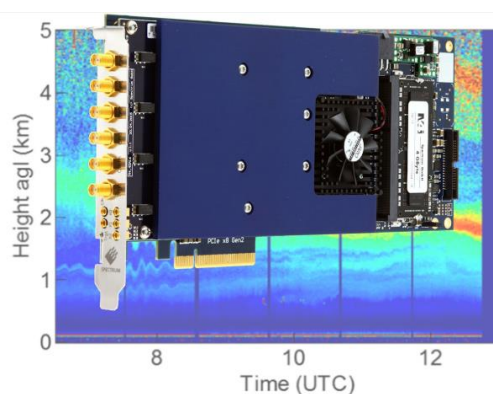
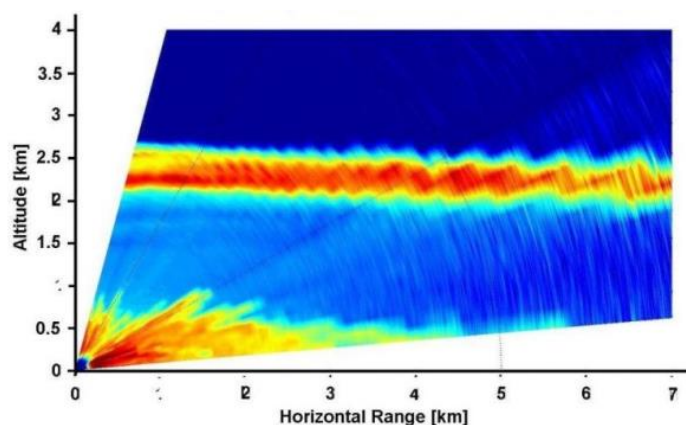
さまざまな用途に対応するために、LIDARシステムは幅広い設計と構成のものがあります。各システムは、適切な光学-電気（O/E）センサーおよび適切なデータ取得用エレクトロニクスを必要とします。光検出システムは、直接エネルギーが反射信号の振幅変化によ

って測定されるインコヒーレント、またはドップラー効果によって引き起こされるような反射信号の周波数のシフトまたは位相が観察されるコヒーレントのいずれかです。同様に、光源は、断続的なパルス列が伝送される低電力マイクロパルス設計または高エネルギー設計となります。マイクロパルスシステムは、「アイセーフ」操作が重要な用途（測量や地上ベースの車両追跡など）に最適です。一方、高エネルギーシステムは、通常、長距離および低レベルの反射が発生する場所に配置されます。（大気物理学や気象学研究など）。

各LIDARシステムは、反射されたレーザー信号を検出し、それらを電気信号に変換するために適切なセンサーを使用する必要があります。最も一般的なセンサーの種類は、光電子増倍管（PMT）と固体フォト



@Wikipedia スターファイア光学実験場



ディテクタ（フォトダイオードなど）です。一般に、PMT は可視光が使用されるアプリケーションで使用され、フォトダイオードは赤外線システムで一般的です。しかしながら、両方のセンサタイプが広く使用されており、その選択は検出する光特性、要求される性能レベルおよびコストに大きく依存します。最も重要なのは、センサーは信号を取得し、分析ための高速電気信号を生成するということです。

LIDAR アプリケーションの大多数で、シグナルキャプチャカードの最も一般的なフォームファクタは PCIe です。これは、最近のほとんどの PC に直接取り付けすることができます。PCIe は多くのデジタイザベンダーが提供するフォームファクタです。強力で使いやすいデータ収集システムを作成するのは簡単な方法です。PCIe バスは非常に高速のデータスループットを提供するため、信号集録、データ転送、解析の機能は、他の従来型の集録システムよりもはるかに高速です。Spectrum Instrumentation 社など一部のベンダは、DigitizerNETBOX、小型の LXI/Ethernet ベースのユニット、または PXIe などの業界標準フォームファクタも提供しています。これらは、スペースの制約や移動中の LIDAR などの振動問題がある移動環境に適しています。

LIDAR パフォーマンスクラス：

LIDAR アプリケーションの場合、3 つの別々のパフォーマンスクラスがあります。

最速の光パルスの場合非常に高速の信号の捕捉と解析のためには、カードは最大 5GS/s のサンプリングレートと 1 GHz 以上の高帯域幅を必要とします。この信号に対応するデジタイザは、PCIe および PXIe プラットフォームではカードあたり最大 4 チャンネル、LXI プラットフォームでは最大 24 チャンネルを提供する Spectrum Instrumentation 22xx シリーズがあります。このカードは、ナノ秒またはナノ秒以下の範囲のパルスを生成する高速センサーでの作業に最適です。さらに、5 GS/s の高速サンプリングレートにより、1 ナノ秒以下の分解能でのタイミング測定が可能になります。ドップラー効果によって生じるような小さな周波数シフトを検出して測定する必要がある状況に最適です。

低レベルの信号と高感度：

広い信号ダイナミックレンジと非常に高い感度が必要とされる時、カードは数百 MS/s のサンプリングレートとマッチング帯域幅でミリボルト範囲に落ちる振幅を持つ信号を取得できる必要があります。垂直解像度は高い必要があり、16 ビットが優先されます。

例としては、500MS/s で 14 ビットの分解能、または 250MS/s で 16 ビットの分解能の Spectrum M4i.44xx シリーズがあります。これらのボードは、 ± 200 mV $\sim\pm 10$ V の範囲でプログラム可能なフルスケールゲイン範囲も備えているため、低レベルの信号と小さな振幅の変動を観察して測定する必要があるアプリケーションに適しています。

費用対効果の高いミッドレンジパフォーマンス：

3 つ目のクラスは、高感度を必要とするが厳しいタイミング要件の無いアプリケーション用です。Spectrum 社の M2p.59xx シリーズが提供する最大 100MS/s のサンプリングレートおよび 16 ビット垂直解像度は、このアプリケー

ション分野に適合します。これらのボードは、高い信号感度が不可欠な長距離 LIDAR アプリケーションで、また高密度のマルチチャンネル記録が必要な状況でも使用されます。

LIDAR アプリケーションで必要とする高度なデジタイザ機能 :

デジタイザには、オンボードメモリの効率的な使用を可能にし超高速のトリガ機能を提供するさまざまな取得モードが含まれているため、重要なイベントを見逃すことはありません。これらのモードには、タイムスタンプ付きのマルチおよびゲートトリガ、FIFO ストリーミング、FPGA ベースの高速ブロック平均化が含まれます。

大量のデータを処理する方法 :

1 つ目の方法は、単純にホスト PC の CPU でデータを処理します。この従来のアプローチは簡単なソリューションを提供します。ユーザーは、ベンダの API に基づいて独自の解析プログラムを作成することも、SBench 6、MATLAB、LabVIEW などのサードパーティ製計測ソフトウェアを使用することもできます。この場合、全体のパフォーマンスと測定速度は CPU のリソースによって制限されます。要求の厳しいアプリケーションでは、CPU が処理能力を他の PC システムと共有し、データ転送を制御するため問題となります。

2 番目のアプローチは FPGA テクノロジ (Field Programmable Gate Array) を使用します。これは強力なソリューションですが、はるかに高いコストと複雑さが伴います。大規模 FPGA は高価で、カスタムファームウェアを作成するには、デジタイザ用の FDK、FPGA ベンダからのツール、および特殊なハードウェアプログラミング (ハードウェア記述言語) のスキルが必要です。誰もがファームウェアを作成することができるわけではなく、熟練した開発者でさえ長い開発サイクルで行き詰まることがあります。さらに、このソリューションはデジタイザ上にある FPGA によって制限されます。たとえば、利用可能なブロック RAM が使い果たされた場合それ以上のことはできません。

3 番目のアプローチは、Spectrum Instrumentation 社によって作成された新しいものです。SCAPP と呼ばれ、NVIDIA の CUDA 規格に基づいた標準の GPU (グラフィックプロセッサユニット) を使用します。GPU は、CPU を介さずにデジタイザと直接接続します。これにより、数百さらには数千のプロセッシングコア、数ギガバイトのメモリ、最大 12 テラフロップスの計算速度で、GPU の巨大なパラレルコアアーキテクチャが信号処理に利用できるようになります。CUDA カードの構造は、並列データ処理用に設計されているため分析には完璧に機能します。これは、データ変換、デジタルフィルタリング、平均化、ベースライン抑制、FFT ウィンドウ関数、さらには FFT 自体も並列処理が容易なため、理想的です。例えば、1k コアと 3.0 TFLOPS 計算速度を備えた GPU は、連続データ変換、多重化、ウィンドウイング、FFT、および FFT ブロックサイズ 512k の 2 チャンネルで毎秒 500 メガサンプルの平均化を実行することができます。またそれは何時間も走らせることが可能です。

SCAPP



SCAPP のアプローチを FPGA ベースのソリューションと比較すると、トータルコスト (TCO) が大幅に削減されます。必要なのは、適合する CUDA GPU とソフトウェア開発キットだけです。ただし、最大のコスト削減はプロジェクト開発期間です。サプライヤの FDK、FPGA ファームウェア構造、FPGA 開発環境、およびシミュレーションツールを理解しようとするのに何週間も費やす代わりに、ユーザーは、わかりやすい C 言語で書かれたサンプルを使って共通のデザインツールを使うことですぐに作業を開始できます。



Spectrum Instrumentation 社について

Spectrum 社は、Spectrum Systementwicklung Microelectronic GmbH として 1989 年に設立され、2017 年に Spectrum Instrumentation GmbH に改名されました。最も一般的な業界標準 (PCIe、LXI、PXIe) で 500 を超えるデジタイザおよびジェネレータ製品を作成するモジュール設計のパイオニアです。これら高性能の PC ベースのテスト & メジャーメントデザインは、電子信号の取得・生成および解析に使用されます。同社はドイツの Grosshansdorf に本社を置き、幅広い販売ネットワークを通じて世界中に製品を販売し、設計エンジニアによる優れたサポートを提供しています。Spectrum 社の詳細については、www.spectrum-instrumentation.com を参照してください。