

デジタイザを使用して遠くの星の直径を測定する

クリーンな信号処理とナノ秒のデータ精度により、世界最大のチェレンコフ望遠鏡の前例のない感度が実現しました

はじめに：



カナリア諸島のラパルマ島にある MAGIC 望遠鏡は、高エネルギーのガンマ線を放出する宇宙物体、つまり超新星やブラックホールを観測するために作られました。天文学者はまた、2つの望遠鏡を使用して星の直径を測定し、ライフサイクル全体のプロセスを調査します。星の直径角は非常に小さくわずか数ミリ秒角であるため、これは地球に固定された望遠鏡では非常に困難な作業です。例えば、ニューヨークから見たエッフェル塔の上のコインのサイズのようなものです。世界最大の望遠鏡でさえそれらを直接測定することはできません。研究者は、数十メートルの距離にあるいくつかの望遠鏡からの光を組み合わせることによって物体の光強度を記録します。これは強度干渉計と呼ばれる手法です。ただし、信号は非常に弱いためスプリアスやクロストークが発生すると信号が埋もれてしまいます。いくつかのメーカーのデジタイザーボードを評価した結果、Spectrum Instrumentation 製 M4i.4450-x8 デジタイザーボード (A/D ボード) が選択されました。

Spectrum 製ボードの選択：

「これら Spectrum 製のカードは、テストしたすべてのボードの中で最も低いレベルのスプリアスとクロストークを持っているだけでなく、各ボードの性能も同じであることがわかりました」と、プロジェクトの電子開発を担当する Max Planck Institute for Physics の David Fink 氏は述べています。各望遠鏡からの信号の違いを比較することが目的のため個体差が無いことは非常に重要です。この技術は、光センサーからデジタルボードが取り付けられているコンピュータに至るまでの過程で拾われたものを含む関連信号とチャンネル間のクロストークに非常に敏感です。これらの Spectrum 製ボードを使用することで変動を正確に測定することができます。ナノ秒の時間スケールでの光強度の比較により、1970 年代にナラブリ干渉計で達成されたものよりも約 10 倍優れた前例のない感度が得られました。」

「Spectrum 製デジタルボードを選択する際のもう 1 つの重要な要素は、信頼性に対する優れた評判です。ボードは、スペインのカナリア諸島の 1 つであるラパルマ島の山の高いところにある 2 つの望遠鏡によって配置されているため、問題が発生した場合は新しいボードに交換するだけです。さらに、機器のダウンタイムと観測時間の損失が発生します。Spectrum 製品が 5 年間の保証を提供しているという事実は、ボードの品質と信頼性に対する信頼を示しています。最後に、Spectrum 社は、保証期間が経過した後もボードを修理できることを保証しました。システムの中心にある元のハードウェアが利用できなくなることで、システムを再開するための多大な労力に直面することが多いため、これは非常に安心です。」

大量のデータを処理するのに、システムは Spectrum 製の SCAPP ソフトウェア（Spectrum の並列処理用 CUDA アクセス）を使用します。これは、収集されたすべてのデータをデジタルから 8 または 16 プロセッサコアの PC の CPU ではなく、NVIDIA GPU グラフィックカードに転送する方法です。GPU グラフィックプロセッサには最大 5000 コアがあり、データ処理は CPU よりはるかに高速です。これにより、毎秒 500 メガサンプルの高解像度で記録を実行できます。

遠方の星の直径は、星から受け取った光の変化をデジタル化することによって測定されます。次に、相互相関が計算され平均化されて望遠鏡間の間隔の関数としての変動が決定されます。星が空を横切って移動すると、ジオメトリが変化します。形状の測定には複数の座標軸に沿った観測が必要です。

バックグラウンド：

イメージング大気チレンコフ望遠鏡（IACT）には大きな鏡があり、光子によって生成されたいくつかの光電子の信号に対して 1 ナノ秒オーダーの時間応答があります。これは、それらが光学干渉計の観察に理想的に適していることを意味します。可視波長に対する感度と IACT を使用した長いベースライン光強度干渉法のおかげで、数十からマイクロ秒角の角度分解能を実現できます。このプロジェクトでは、直径 17m の 2 つの IACT のカメラの上に簡単な光学セットアップを設置し、2 つの望遠鏡で測定された 3 つの異なる星の光子強度のコヒーレントな変動を観測しました。



M4i.4450-x8



MAGIC (Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov) と呼ばれるこのプロジェクトに関する研究所の論文へのリンクは次のとおりです。

<https://arxiv.org/abs/1911.06029>

干渉法の詳細については、<https://arxiv.org/abs/1204.3624> をご覧ください。

火山はラパルマ島の南に位置しているため、島の北部にある望遠鏡は現在、火山の噴火の脅威にさらされていません。

写真提供：MAGIC Collaboration、写真 1 は Robert Wagner、写真 2 は Giovanni Ceribella。



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。