

◆ feature

ハイパースペクトルイメージング

ハイパースペクトルイメージング、 3つの異なる用途でその能力を発揮

アンディ・ランブレヒツ

VNIR(可視近赤外域)またはSWIR(短波長赤外域)の数百ものスペクトルバンド(分光帯)で画像を取得できる小型HSカメラは、現場での研究作業に貴重な存在となっている。

ハイパースペクトル(HS)カメラは、対象物によって反射した光を多数の狭いスペクトルバンドに分割する。バンドはすべて、個別に記録及び処理される。その結果、画像内の各ピクセルのスペクトルシグネチャが、カメラによって取得される。CMOSベースのチップ技術のおかげで、多くの用途に対して、高額な研究装置よりも標準カメラにはるかに近い価格で、HSイメージング装置を構築することができる(図1)。また、短波長赤外(SWIR)センサを採用した新しいカメラプロトタイプの開発も進められている。

こうしたチップを基に設計されたカメラは軽量かつ小型で、精密農業や医



図1 これらのハイパースペクトル(HS)イメージングセンサは、CMOSベースのチップ技術によって製造されている。(画像提供:imec)

療機器など、幅広い用途に適している。HSイメージングの商用市場を推進する主要要件は、フォームファクタ(携帯型、軽量)、広波長域への対応(可視域、NIR、SWIRの範囲)、ビデオレート以上の速度でのスナップショット撮影である。imecの統合型イメージング(Integrated Imaging)グループは、imec USAと共同で、HSイメージング

を新しい応用分野に適用し、その多用途性を実証した。

ネーデルランドのダ・ヴィンチ

レオナルド・ダ・ヴィンチの有名なフレスコ画である「最後の晩餐」が鑑賞できるのはミラノだが、米国美術史家のジャン・ピエール・イスブ氏(Jean-Pierre Isbouts)は、ベルギーのトンゲル修道院にある「最後の晩餐」の複製画の制作に、ダ・ヴィンチが関与した可能性があると考えている。この500年の間に、美術修復家らは加えた塗料が裸眼では見えないようにすることで、この絵画の細部を維持してきたため、この理論を支える証拠を実証するのは難しい。

そこでイスブ氏は、一筆一筆の化学組成を分析して、これまでに追加された塗料を識別し、絵画の最も古い層の検査を可能にする技術を求めて、imecに連絡を取った。ハイパースペクトル画像を、従来型カメラからの詳細画像と組み合わせることで、卓越した描画技法や、画家がどのように絵筆を持っ



図2 小型HSカメラによって、ダ・ヴィンチの「最後の晩餐」の複製画を150のスペクトルバンドで撮影した。(画像提供:imec)

て描いていたかといった独特の特徴が明らかになる。また、IR (赤外域) 以上のスペクトルバンドを使用すれば、修復されている可能性がある下層や亀裂を、さらに詳しく調べることができる。絵画を150のスペクトルバンドで撮影することにより、研究者らが分析を行うことのできる、大量のデータセットが得られた(図2)。

従来のHSカメラの課題の克服

ハイパースペクトルカメラはこのような用途に対してかなり有望だが、実験施設から持ち出すには大きすぎるとい問題が従来からあった。しかし、今回のようなケースでは、美術品を実験施設に移すと、費用がかかる上に移送中に傷つける恐れがあり、百害あって一利なしである。

imecのVNIR(可視近赤外域)ハイパースペクトルイメージングカメラ「SNAPSCAN」に更新を加えて、軽量化(光学系を除いて780g)、小型化(13×9×7cm)、効率化を図り、絵画は安全な場所に置いたまま、カメラを修道院に持ち込めるようにした。カメラは、100～200fps以上の撮影速度、フラットな信号対雑音比(S/N比)に加え、高い空間分解能(バンドあたり7メガピクセルRAWで、最大3650×2048ピクセル)とスペクトル分解能(NIR版で100バンド以上、VNIR版で150バンド以上)を備える。

その結果、ダ・ヴィンチの絵画を分析するための適切な画像をわずか数時間で取得することができた。このカメラは、取得パラメータ、照明、対象物にもよるが、約200ms～20sの速度で動作するためである。イスブ氏は、描かれている人物の頭部のイメージングに特に関心を寄せていた。ダ・ヴィンチがこの絵画の制作に関与したとす



図3 雑多な背景の中で850nmで撮影されたニシキヘビの画像(反転され、飽和されている)。(画像提供:imec)

れば、おそらくは最も重要な人物の細部を描いたのだらうというのが、同氏の理論だった。カメラは、ほんの数分で画像を記録することができるが、課題は、正しいキャリブレーション、設定、フォーカスを定めることである。このカメラよりもはるかに大きい既存の科学用HSカメラと比べて、その作業は非常にスムーズだった。研究者らがこの新しいSWIRセンサを現場で使用したのは、この実験が初めてだった。

ニシキヘビの捕獲

HSイメージングのもう1つの実験が行われたのは、外来ニシキヘビによってエバーグレーズの在来動物が脅かされているフロリダ州である。外来ニシキヘビには天敵がおらず、現時点の生息数は3万～30万匹と推定されており、エバーグレーズの哺乳動物の深刻な減少につながっている。アライグマ、フクロネズミ、ボブキャット、キツネは90%減少し、ヒメヌマチウサギは完全に絶滅した。

狩猟者らは現在、道路や土手に沿って徒歩または車両でニシキヘビの捜索を行っているが、ニシキヘビは植物の

中に溶け込んでうまくカモフラージュされ、人間の目ではほとんど識別できない。また、冷血動物であるため、サーマルカメラでは検出できない。米セントラルフロリダ大(University of Central Florida:UCF)の教授でimecの科学者であるロナルド・ドリガーズ氏(Ronald Driggers)は、この問題をimecに提起し、imec、UCF、米エクステンディッド・リアリティ・システムズ社(Extended Reality Systems:ERS)、米フロリダ大(University of Florida)の間の協力を提案した。ERSは小さな地元企業で、光学センサでエバーグレーズ内のニシキヘビを検出する方法を熱心に探していた。

imec USAでカメラシステム&計算イメージング(Camera Systems & Computational Imaging)グループを統括するオルジュ・ファージ氏(Orges Furxhi)とそのチームは、ニシキヘビのスペクトル指紋を測定した。まずは捕獲したもので測定し、続いて植物を背景に野生のもので測定した。次に、この測定値を使用して、シングルバンドのカメラとニシキヘビを検出するためのアルゴリズムを設計した。同チームはその後、このカメラとアルゴリズムがニシキヘビ検出に有効であることを実証している(図3)。ベルギーのimecのチームにより、ヘビと背景の追加画像を記録するための、リアルタイム画像対応のマルチスペクトルカメラも提供された。チームはこのデータを基に、ニシキヘビ自動検出のためのディープラーニングネットワークを構築した。

このスペクトル測定により、ニシキヘビは、可視域(400～700nm)ではエバーグレーズの自然背景に非常にうまく溶け込むことが明らかになった。しかし、NIR(700～1000nm)では、ニシキヘビの皮膚の反射率は低いまま

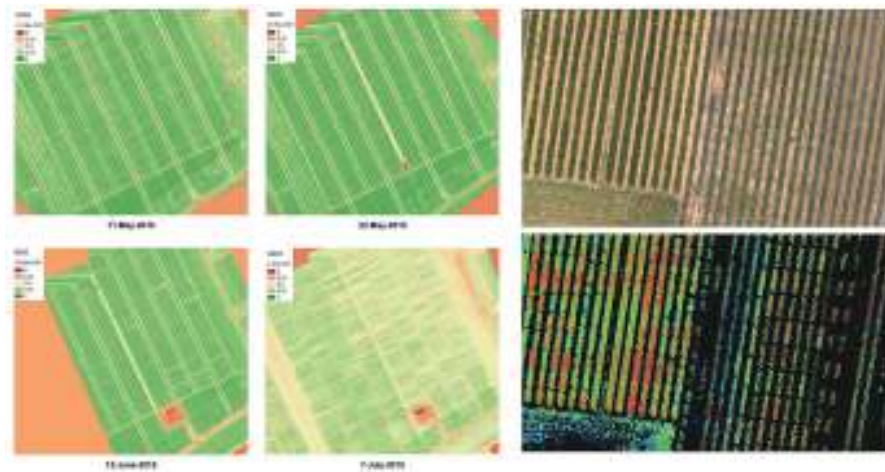


図4 ベルギーのイチゴ農場のオルソ補正されたハイパースペクトル航空画像。NDVI画像(左)とクロロフィル指数マップ(右)によって、精密農業に関する決断がサポートされる。(画像提供：VITO及びpcfruit)



図5 スナップスキャンカメラは、高分解能の静止HS画像を撮影する。(画像提供: imec)

だが、背景の反射率は高くなる。この反射率の差により、検出のための十分なコントラストが得られる。

フランドル地方の技術を 活用した精密農業

増加の一途をたどる世界人口に食料を供給するための持続的な方法が、専門家らによって追求される中、精密農業は、世界的な関心を集める話題となっている。この問題を対象としたあるプロジェクトでは、フランドル地方の複数の研究施設が連携し、ジャガイモや果物の栽培における「スマートな作物保護」のための共通テスト基盤を構築した(図4)。ドローンやトラクター

にHSカメラを装備することにより、火傷病(特にナシに見られる、細菌性の植物伝染病)などの植物病を、より迅速に、よりのめを絞った正確な形で検出することができる。

HSカメラそのものに加えて、高品質なデータを研究者らに供給するためのキャリブレーションに注意が払われる。ソフトウェアは、ある程度までは用途に依存しない。例えば、火傷病を識別するためのソフトウェアは、その目的のために特別に設計されているわけではなく、ソフトウェアの最大の目的はただ、カメラによって生成されるデータの品質を確保することにある。ソフトウェアは個々の画像を読み出し

て、1枚のHS画像に統合する。同時に、センサの感度が除去され、照明の違いが除去される。

用途に応じた 適切なHSカメラの選択

すべての用途に対し、まず選択したのは汎用カメラである。どのような種類のカメラが必要なのか事前にわからない場合は特に、スペクトルバンド数が最大のカメラを使用することが推奨される。最大限のデータセットで開始することで、研究者らは現場に戻ることなく、ソフトウェアを使用して、スペクトルバンド数を減らした場合に画像がどのようになるかをシミュレーションすることができる。そうした作業の後に、対象バンドのみを含む、用途に特化したセンサを開発することができる。

静止画像に対しては、スナップスキャンカメラを使用することができる(図5)。これらのカメラ内のセンサは、非常に高分解能の画像をスキャンして生成する(150を超えるスペクトルバンドで最大7メガピクセル)。しかもこのHSカメラは、定型的な情報(普通の写真と同様に、画像内のピクセル数)においてだけでなく、スペクトルバンド数においても高分解能である(VNIR光を記録する場合で150バンド、SWIRならば100バンド)。スナップスキャンカメラは、対象物があまりにも頻繁に動く場合に対しては推奨されない。その場合は、イメージセンサの個々のピクセルで16の異なるスペクトルバンドを切り替え、より低い分解能での直接録画が可能で、別のセンサを使用する。

著者紹介

アンディ・ランブレヒツ(Andy Lambrechts)は、ベルギーのimecでハイパースペクトルイメージング及びレンズフリーイメージングを担当するプログラムディレクター。

URL:imec-int.com

LPWJ