

気になる論文コーナー

大脳皮質の酸素化、血流および細胞内カルシウム動態の超高速分光イメージング

Ultra-Fast Multispectral Optical Imaging of Cortical Oxygenation, Blood Flow, and Intracellular Calcium Dynamics
[M. B. Bouchard, B. R. Chen, S. A. Burgess and E. M. C. Hillman: Opt. Express, 17, No. 18 (2009) 15670-15678]

露出脳のマルチスペクトルイメージングでは、拡散反射光の分光特性からヘモグロビンの酸素化、脱酸素化、血流量等の変化を画像化することが可能であり、近年、脳神経活動、脳機能障害やバイアビリティの評価に応用する試みが広くなされている。従来のマルチスペクトルイメージングでは、狭帯域干渉フィルターを装填した回転フィルターホイールを利用する分光方式が採用されることが多く、高フレームレートでの分光画像取得が困難である。本論文では、LED光源を用いた高速マルチスペクトルイメージングシステムを提案している。

提案システムでは、狭帯域フィルターとLEDを組み合わせた2つの異なる中心波長を有する光源により露出脳表面をパルス変調照明し、拡散反射光をCCDカメラにより同期撮影している。ヘモグロビンの酸素化-脱酸素化と全ヘモグロビン量のイメージングを行うために、光源の中心波長としてヘモグロビン等吸収点波長のひとつである530 nmと、酸素化-脱酸素化による吸光度差が大きい470 nmの波長を選択している。また、CCDカメラ前面に500 nmのロングパスフィルターを挿入し、波長470 nmのLED光源の代わりに490 nmのLEDを励起

光源として利用することで、あらかじめ脳組織に投与したカルシウム感受性色素により生じる波長520 nmの蛍光と全ヘモグロビン量を同時に観察する光学系を併せて提案している。

実験では、ラット後肢に電気パルス刺激を与えた際の脳表層の酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビン、全ヘモグロビンの変化を連続的に観察している。2波長の吸光度の違いを利用することで動脈血管と静脈血管の識別を行い、静脈内を流れる赤血球の移動距離と所要時間から血流速度を算出している。さらに、神経活動に伴う細胞内カルシウム蛍光のスパイク状の時間変化を捉えており、露出脳を対象としたマルチスペクトルイメージングの多機能化に成功している。(図4, 文献32)

本論文では原理確認のための基礎的な動物実験の結果のみを示しているが、血流量とヘモグロビンの酸素化-脱酸素化の変化をもとに脳酸素代謝量の評価も可能であると思われる。今後は、神経-血管カップリング機構の詳細な検討が行われることに期待したい。

(西館 泉)

シリンジカルレンズを用いて長方形に照明するLED道路灯用の光学素子

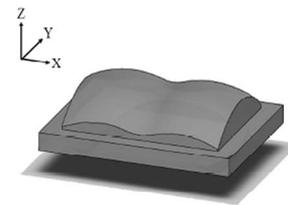
Rectangular Illumination Using a Secondary Optics with Cylindrical Lens for LED Street Light
[H. Chen, J. Lin, H. Chiu: Opt. Express, 21, No. 3 (2013) 3201-3212]

道路を効率的に照明する方法として、道路の形状に沿って長方形に照明することが考えられる。最近、LEDからの光を、複数のシリンジカルレンズ形状をもつ光学素子により、7:3のアスペクト比をもつ長方形に照明できることが報告された。著者らは、光学素子として、LEDの発光面に平行な平面をxy平面とし、それに直交する方向をz方向とし、光学素子のxz断面をとったとき、y方向に軸をもつシリンジカルレンズをx方向に2つ並べた形状となるようにした。さらに、光学素子のyz断面をとったときは、x方向に軸をもつ1つのシリンジカルレンズとなるように設計し、試作した。これにより、x方向の発散角が70°で、y方向の発散角が30°となる。照度の均一性(平均値/最小値)は1.28以下となり、十分な均一性を実現できることが

実測された。(図15, 文献20)

LEDと光学素子を組み合わせ、照明の形状がコントロールできれば、無駄の少ない照明が実現でき、今後の応用展開が興味深い。

(大野 博司)



作製された光学素子の鳥観図

顔認証へ向けた代替相関面による定量規準の最適化

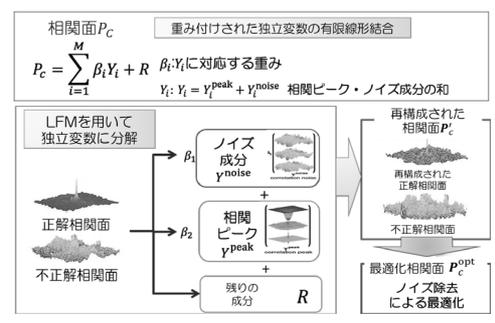
Decision Optimization for Face Recognition Based on an Alternate Correlation Plane Quantification Metric
[A. Alfalou, C. Brosseau, P. Katz and M. S. Alam: Opt. Lett., 37, No. 9 (2012) 1562-1564]

近年、セキュリティやヒューマンインターフェースなどの観点から、顔認証が注目されている。顔認証の多くはソフトウェアで実用されているが、より高速化が可能な光相関器の研究が盛んに行われている。これまでは信号対雑音比(SNR: signal to noise ratio)や相関ピーク対全エネルギー比(PCE: peak to correlation energy)などの判定基準によって相関フィルターの最適化を行うことで、識別能力の向上を目指した研究が多かった。しかし、相関フィルターの最適化は判定基準が相関値のみに制限されることや、光学系での処理が必要であるなどの課題がある。この研究では、相関面に相関ピーク、ノイズ、残りの成分の線形関数モデル(LFM: linear functional model)を適用し、さらに特異値分解(SVD: singular value decomposition)に基づくLFM-SVDアルゴリズムを提案することで、FAR(false alarm rate)を減少させた。LFM-SVDアルゴリズムによる最適相関面取得までの流れを図に示す。このアルゴリズムは、相関面を独立変数に分解し、再構成する過程の中で相関面のノイズを除去し、相関面 P_c^{opt} として最適化することで、FARの大幅な減少を実現できる。Pointing head pose image database (PHPID) から得た二者の52枚、計104枚の画像を用いて、従来の手法であるヴァンダーラフト相関アルゴリズムと分割フィルターにより相関シミュレーションを行うと、誤検知率が0%のときに認証率15%だが、提案するLFMSVDアルゴリズムを利用した

場合、誤検知率が0%のときには認証率70%となり、認証率55%の向上を実現した。(図3, 文献12)

相関面を分解して認証率を上げることは、光学系の変更がなくさまざまな相関フィルターに利用できるため利点がある。すでに顔認識ソフトウェアが商用利用されている中で、このような手法を組み込んだ光相関システムにより、従来のソフトウェア以上の速度や精度が実証されることを期待したい。

(渡邊恵理子)



LFM-SVDアルゴリズムによる最適化相関面取得までの流れ

空間・波長領域ランダム分離投影によるハイパースペクトル画像の圧縮センシング

Compressive Hyperspectral Imaging by Random Separable Projections in Both the Spatial and the Spectral Domains
[Y. August, C. Vachman, Y. Rivenson and A. Stern: Appl. Opt., 52, No. 10 (2013) D46-D54]

波長方向に多くの情報をもつハイパースペクトル (HS) 画像は、通常のカラー画像に比べて膨大なデータ量となるが、波長方向の冗長性は大きいため、適切な圧縮技術を適用することにより効率的なデータ圧縮が期待できる。一方、圧縮センシング (compressive sensing: CS) は、サンプリング定理の制限を超えた少ない観測データからでも元画像の復元を行える技術として、近年注目されている技術である。この CS を利用したイメージングシステムとして、ランダムパターンを表示した DMD (digital mirror device) 等へ物体像を投影し、その反射光強度をフォトディテクターで観測することで、元画像を得ることが可能な観測システム (シングルピクセルカメラ) が提案されている。このシングルピクセルカメラを HS 画像の取得へ適用する手法として、DMD からの反射光の集光点にグレイティングを設置し、分光したパターンにランダムな強度変調を施すアパーチャを透過させることで、HS 画像の CS データを観測するシステムが提案されているが、このシステムで得られた観測データから元の HS 画像を復

元するためには、膨大な行列計算が必要になる。そこで本論文では、この膨大な行列計算を削減する手法として、観測行列を小さい行列のクロネッカー積で表現できるような観測系とすることで、計算量の削減を実現する手法を提案している。この提案手法では、観測行列のランダムネスが劣化するため、画像復元に必要な観測データ数は多少増加するが、画像復元に用いる行列のサイズは、 256×256 画素の画像では、 256^4 から 256^2 へと縮小させることが可能になると述べている。また、計算機シミュレーションによって手法の有効性について検証し、高い圧縮効率を実現できること、波長方向については、空間方向よりも圧縮効率が良いことを確認している。(図 9, 文献 47)

本論文は、HS 画像を直接圧縮したデータとして観測するシステムについての研究であり、圧縮のリアルタイム処理等が期待できるだけでなく、セキュリティ応用など幅広い応用が期待できる技術といえる。(鈴木 裕之)

微小光機能システム構築のための界面二分子層を利用した多次元液滴構造の形成

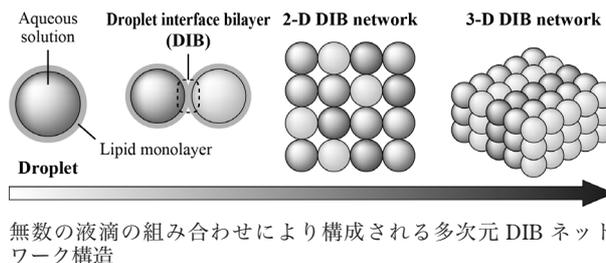
Novel Technologies for the Formation of 2-D and 3-D Droplet Interface Bilayer Networks
[Y. Elani, A. J. deMello, X. Niud and O. Ces: Lab Chip, 12, No. 18 (2012) 3514-3520]

マイクロスケール程度の寸法をもつ液滴表面に自律的に形成された脂質単分子層が示す吸着力を利用して複数の液滴を組み合わせる液滴界面二分子層 (droplet interface bilayer; DIB) 法は、人工細胞等に関連する研究領域において、熱的および機械的な安定性が比較的保証されている技術のひとつである。本論文では、それぞれ個別の光応答性分子を内包させた無数の液滴を自在に組み合わせることで高機能な光システムを実現することを目的とし、その作成手法としてマイクロ流路系を応用した方策を提案している。検証実験では提案手法を用いて二次元および三次元の“DIB 回路”の試作に成功しており、提案手法の作成精度と量産性に関して評価している。(図 8, 文献 20)

本論文の内容はあくまでも提案する作成手法に主眼が置かれており、作成した“回路”の機能性に関しては特に具体的な議論はされていない。しかしながら、異種の特性をもった液滴を自在に組み合わせることに成功していることから、“回路”の大規模化とともに高機能化の可能性が示唆されている。また、本論文の主旨とは多少逸脱するが、同寸法・同形状でありながら異なる機能性を有する複数のユニッ

トを組み合わせることで大規模な機能システムを高スループットで構築するという概念は、特に回折限界以下のスケールの回路設計を実現する上で本質的な方策であるといえ、今後は本技術のスケールビリティの向上とともに概念そのものの体系的な発展が期待される。

(堅 直也)



無数の液滴の組み合わせにより構成される多次元 DIB ネットワーク構造

焦点距離が制御可能な紫外線硬化型の液体コア光ファイバーレンズ

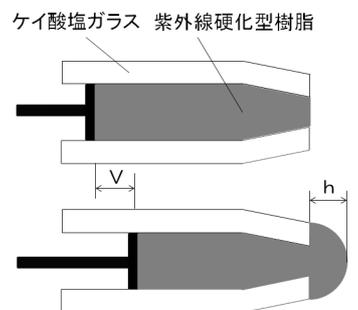
UV-Curable Liquid-Core Fiber Lenses with Controllable Focal Length
[G. Bai, Y.-H. Tsang, K.-L. Jim and X. Zhang: Opt. Express, 21, No. 5 (2012) 5505-5510]

液体コア光ファイバーは、中央のコアが液体であり、コアを取り巻くクラッドがコアよりも屈折率の小さい固体の材質で形成されることにより、光を伝達することのできる光ファイバーである。通常、液体コア光ファイバーの入射側と出射側の端面は高品質な平面ガラスで密閉されており、端面に特別な加工が施されることはない。特別な加工を施すための機械加工や成型のプロセスは時間がかかり、コストが高くなってしまふ。著者らは、安価な方法で、液体コア光ファイバーの端面にレンズ形状をもたせる方法を提案した。この方法では、中空のケイ酸塩ガラス (屈折率 ~ 1.525) の内部に紫外線硬化型樹脂 (屈折率 1.527) を充填し、樹脂の吐出量を制御した後紫外線を照射することで、端面にレンズ形状をもたせた。実験において、 $0.810 \sim 2.414$ mm まで焦点距離を制御することができた。さらに、シミュレーションにおいて、屈折率とファイバーの径を調整していくことで、 $10 \mu\text{m}$ 以下のスポット径が得られる可能性を示した。(図 6, 文献 18)

液体コア光ファイバーの端面に、安価な方法でレンズ形状をもたせる手法が面白い。半導体レーザーなど、その他の光学部品とのカップ

リング効率が向上できると期待される。

(中山 裕俊)



液体コア光ファイバーレンズの原理図