

Digital Holography and Three-Dimensional Imaging ショート速報

早崎芳夫 (宇都宮大学)

会議名 : Biomedical Optics and 3-D Imaging: OSA Optics & Photonics Congress 2010

開催期間 : 2010年4月11日-14日

開催場所 : The Deauville Beach Resort Hotel, Miami, Florida, USA

*****要 約*****

本会議は Optical Society of America(OSA)の主催するトピカルミーティングの1つであり, Biomedical Optics(BIOMED)と Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH)の共催である. BIOMED の2つのパラレルセッションと DH のシングルセッション, およびポスターセッションで構成された. 本速報では DH に関して報告する. 特に, その主要トピックスであるデジタルホログラフィの進展とその応用に関して報告する.

1. はじめに

本会議はOSAの開催するトピカルミーティングの1つであり, 今回は, Biomedical Optics(BIOMED)とDigital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH)の共催である. BIOMEDの2つのパラレルセッションとDHのシングルセッション, および, それぞれのポスターセッションで構成された. キーノートスピーチでは, スタンフォード大のGambhir氏の “Molecular imaging of living subject, Fisk大のCaulfield氏の “The principle of good enough (POGE)”, 2008年ノーベル賞 (化学) 受賞者のTsien氏(UCSD)による “Breeding and building molecules to spy on cells and tumors” の講演が行われた.

本速報では, 私が主に出席したDHに関して報告するが, BIOMEDについて簡単に述べると, バイオフォトンクス研究のアメリカにおける勢いは, 顕著なものであることはご存じの通りであるが, 物理, 電気電子, 化学, 生物, 医学など, 多くの研究分野の研究者が参加していることから, 多くの研究資金が流れていることが分かる. 「あの人もバイオやっているの?」といった感じである. また, 比較的若手研究者の参加が多いのも特徴であり, 本分野が多くの博士研究員を抱えていることを示す. 発表の主なトピックスを計測原理で分類すると, 非線形光学顕微鏡, 光コヒーレンストモグラフィ, 光音響トモグラフィとスペクトロスコーピー, 光散乱トモグラフィとスペクトロスコーピー, 蛍光イメージングであり, それらは計測対象や計測部位に応じて使い分けられていた. DHの1つのトピックスであるデジタルホログラフィック顕微鏡のアプリケーションは, バイオであり, 共催の意義は大きい. DHの方に話を移すと, 本トピカルミーティングは, 2007年バンクーバ, 2008年セントピタースバーグ (フロリダ), 2009年バンクーバ, を経て今回で4回目であり, 次回2011年には東京開催と計画されている. 講演数は, 招待, オーラル, ポスター, ポストデッドラインペーパーも含めて, 年順に, 71件, 75件, 94件, そして, 105件で徐々に増加した. 今回の105件の内訳は, プレーナリ1件, チュートリアル3件, 招待14件, オーラル40件, ポスター41件であった. 参加登録数は, 一般, 学生合わせて99名であった. 国別の講演数は, アメリカの50件, 韓国の12件, 日本の11件, イギリスの4件, フランスとスイスの3件, ロシアとイスラエル, ギリシャ, イスラエルの2件, コロンビアとドイツ, 香港, インド, アイルランド, メキシコ, スウェーデン, トルコの1件である. ア

アメリカの参加者は当然多いが、その後に、韓国と日本の参加者が多い。この分野の研究は、東アジアにおいて極めて盛んであり、次回の日本開催では、多くの講演数・参加人数となることが予想される。

2. 会議の内容

2. 1 はじめに

講演の構成は、干渉縞（ホログラム）をイメージセンサーで捉え、コンピュータの中で再生するデジタルホログラフィを中心に、計算機ホログラムを用いて立体表示を行うホログラフィックディスプレイやレンズアレイを用いて立体表示を行うインテグラルフォトグラフィ等の立体ディスプレイ、ホログラフィック光メモリとその記録材料で組まれた。ここでは、本会議の中心トピックスであるデジタルホログラフィとその応用について主に示す。

2. 2 デジタルホログラフィの高速画像取得法

デジタルホログラフィの研究課題の1つは、移動・変形物体の撮影の高速化である。そのためには、単一ショットでホログラムを記録する必要がある。最も単純な方法は、通常の干渉縞記録と同様に、物体光と参照光を適当な角度をつけて、数画素で1周期の干渉縞になるようにイメージセンサーで撮影し、コンピュータで空間周波数フィルタリングと光伝搬計算を行い、再生像の複素振幅を取得するものである。しかし、この方法では、カメラの空間バンド幅積を十分に使えないので、京都工芸繊維大のグループは、偏光イメージセンサーを用いて空間的位相シフトを実行し、1秒間に20kフレームのデジタルホログラフィの取得した。ホログラフィックディスプレイのために、波長多重化の手法もいくつか開発されており、兵庫県立大学のグループによる単一ショットからカラーデジタルホログラフィの取得する方法やフランスのMarine大による3原色の積層光検出器を用いる方法が実証された。

2. 3 デジタルホログラフィック顕微鏡とコヒーレンス制御

デジタルホログラフィの研究課題のもう1つは、レーザーディスプレイと同様にスペックルノイズの低減である。解決方法のひとつに、必要な量の時間コヒーレンスや空間コヒーレンスを残して、コヒーレンスを下げることがある。特に、生物応用では、計測対象が多数の境界面を有する光散乱体であるため、コヒーレンスの制御は、その干渉像に大きく影響する。The Institute of Photonic Technology Jenaでは、中心波長465nmのLEDを波長幅4nmの干渉フィルタで、コヒーレント長45 μ m光源を使用し、スペックルを低減した。このとき、開口の大きさを変えて空間コヒーレンスの調節も同時に実施した。スペインJaume I大では、中心波長800nm、パルス幅10fsのフェムト秒レーザー、和歌山大では、中心波長677 nm、波長幅9nmのスーパーミネセンスダイオード、Brno University of Technologyでは、ハロゲンランプと干渉フィルタ、Université Libre de Bruxellesでは、散乱板の回転によりコヒーレンスを低下させる方法が、それぞれ用いられた。光源のサイズや消費電力、光量の観点から、LEDは実用光源として最も適している。将来、目的に合致したコヒーレンスを有する色々な光源が手に入るようになることを期待する。

2. 4 回折計算

回折計算をどうするか。これもデジタルホログラフィの重要な課題である。スタンフォード大では、スカラ一回折計算(SDI: Scalar Diffraction Integral)と高速フーリエ変換ベースの角スペクトル法(ASM: Angular

Spectrum Method)を時間領域差分法(FDTD: Finite-Difference Time-Domain)と比較して、フレネル数に対する有用性を検証した。ここで、フレネル数 F とは、波長 λ 、開口の大きさ a 、伝搬距離 z とした時に $F = a^2/(\lambda z)$ である。近接場領域($F > 250$)ではFDTDのみ有効、中間的領域($250 > F > 1$)では、FDTDとSDIは有効でASMは使用可能であるがエラーが0.3%であった。フレネル領域($1 < F$)では、全ての方法が有効であるとの結論を得た。

高速な画像取得と共に、光伝搬計算も重要である。千葉大の下馬場らは、グラフィックプロセッシングユニット(GPU)を用いて回折計算を実施した。NVIDIAとAMDのGPUでの速度比較をした。これらのボードの進化は、非常に速いので、常に最新の環境で光学計算できるよう、実験環境を整備することが重要である。MITのBarbastathisらは、波長依存の光強度輸送方程式の計算をGPUで行い、物体の位相情報を計算した。

2. 5 デジタルホログラフィのその他の応用

Duke大のShakedらは、招待講演として、細胞のダイナミックスのホログラフィック位相計測の意義と課題を示した。特に、得られた位相量とアクションポテンシャルやイオン変化などの生物学的な情報との関係について述べた。Ecole Polytechnique Federale de Lausanne(EPFL)(スイス)では、デジタルホログラフィによって得られた位相像と細胞内のカルシウム濃度を検出する蛍光像を比較することで、化学的な刺激に対して、位相像から得られる構造変化と、電気的な応答を同時に取得できることを示した。南フロリダ大は、光ピンセットで操作される粒子をデジタルホログラフィによって位置計測するシステムを実現した。同グループでは、全反射配置のデジタルホログラフィでプリズム上を移動するアメーバの様子を捉えた。MITのBarbastathisのグループは、水中のオイルドロップの位置と大きさの同時計測を行った。宇都宮大の茨田らは、ドップラー位相シフトデジタルホログラフィが、振動の多い環境でも高い精度で計測できることを示した。MITのFeldのグループは、光路中に入れた回折格子の0次光と1次光の干渉による微分干渉顕微鏡を示した。

2. 6 計算機ホログラム

関西大の松島は、ポリゴンベースドで設計されたホログラフィックディスプレイ用計算機ホログラムをデモディスプレイした。宇都宮大学のグループは、ホログラフィックフェムト秒レーザー加工のためのホログラムの第2高調波最適化法を実証した。コロラド大学のRafaelらは、フェムト秒レーザー加工技術を用いて作製された体積型計算機ホログラムについて報告した。

3. おわりに

上記は、100件の講演のごく一部の紹介である。本会議は、デジタルホログラフィとその応用を中心に会議が構成された。特に、ホログラフィック顕微鏡では、光で非接触・非侵襲で情報を得られるため、その期待は高い。デジタルホログラフィによって、光の位相と振幅の変化の情報が得られる。位相変化は、物体の厚さ変化と屈折率変化に比例するので、これらの厚さや屈折率の変化と、生物内の電気的な信号や物質輸送との関連づけが進むと、デジタルホログラフィのバイオ研究における有効性が高まる。そのような観点から、生物の分光情報は有用な知見を与えるため、現時点ではあまりない、波長情報を積極的に用いたホログラフィック顕微鏡が出てくると予想される。もう一つの本会議のトピックスである。ホログラフィやインテグラルイメージングによる立体ディスプレイや立体イメージングなど、光の干渉、回折、散乱を基本原理とした応用システムも、立体元年の今、新しい産業の起爆剤として期待されており、本研究領域の果たす役割は重要である。2011年5月の日本開催では、更なる講演者や参加者の増加を期待される。