制御可能な光スポットを投影するマルチモード光ファイバ

通常、単一波長で連続光を運ぶ光ファイバは、光源がオンであるということ以外に、いかなるデータも伝送しない。振幅変調は情報を運ぶものであり、1度に複数の波長を使う波長分割多重はデータ転送速度をさらに高めることができる。しかし、ファイバを使って情報を伝達する別の方法、すなわち、空間モードを利用する方法もある。イタリアのローマ大学サピエンツァ校のロベルト・ダイ・レオナルド氏とシルビオ・ビアンキ氏によって開発された非常に興味深いアプローチはその一つであり、情報が制御可能な光スポットパタンの形になっている。

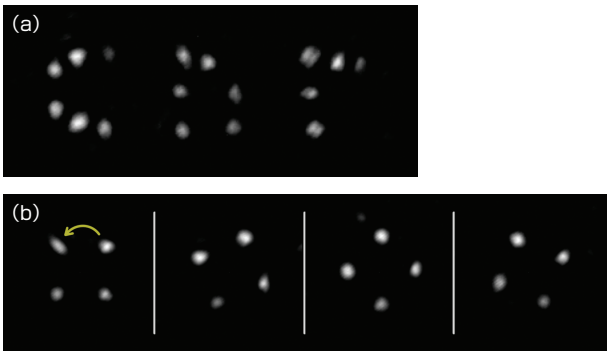

図1　ファイバ出力が通常のレーザスペックルパタンではなく、制御可能なドットアレイとなるように、SLMはLMAファイバのモードフィールドを修正する。1例としてのパタンは文字CNR(a)から成るが、もう一つの回転する正方形パタン(b)はSLM位相マスクの時系列を使って作成された。(資料提供：ローマ大学サピエンツァ校)

研究グループは、空間光変調器(SLM)を使ってマルチモード光ファイバの入射ビームを修正した。その結果、ファイバ出力は、独立に位置を制御できる一つ以上のスポットから成るホログラムになった[1]。このコンセプトは、いずれ細い剛体の針内に封入されたファイバの断面を通して試料を走査する内視顕微鏡に利用されることになるだろう。

直接探索アルゴリズム

研究者グループは、数千モードの伝送が可能なコア径105μm、開口数0.22のラージモードエリア(LMA)ファイバを使って、2mの選択されたファイバ切片で3770台のモードを伝送した。532nmのレーザ光は1024×768ピクセルから成る位相限定SLMのアクティブエリアを満たすために拡張されコリメートされた。SLMから反射された光は1次変調ビームだけを通過させるピンホールに集光され、次いで、ファイバ入力端へと再び集光された。

ファイバの他端で、出射光はコリメートされ、直線偏光子を通過し、CMOSカメラに向けられた。いかなる位相変調もなしに、その出力は予測した通りのスペックルパタンのように見えた。しかし、研究者グループは、反復直接探索アルゴリズムを適用した。これはSLM上のランダム位相反復で開始するが、その後、メリット関数を使って目的とするファイバ出力に的を絞る。

このアルゴリズムは目的とするスポットの強度積を最大化し、約2500の反復後に望ましいソリューションへと集束させる。この最適化に要する時間は約10分であり、カメラのデータ収集が制限因子になる。しかし、位相変調が一度決定されると、少なくともファイバ長が十分な形状不変性を維持し、モード変化が起きない限り、将来いかなる時点でもそれを迅速に使うことができる。

最適化された単一スポットのピーク強度は、初期の最適化されていないスペックルパタンにおける強度の約35倍になった。複数スポットが生成されると、各スポットの強度は減少するが、全光出力(全スポットの出力の和)はわずかに増加した。

このセットアップは、スポットのパタンであるホログラムを静画像または動画像として投影することができる(**図1**)。研究グループは、2スポットパタン内のスポットの相対強度を位相変調の関数として計算することができる数学モデルを作製した。これはホログラフィック光ピンセットにおける二つの重畳された単一トラップの強度比のモデリングに役立つはずだ。

ダイ・レオナルド氏は、「われわれは、現在、出射光の開口数を増大させるためにファイバチップ上の微小光学のナノファブリケーションに取組んでいる。これは顕微鏡応用のためのより高い解像度と、光トラッピングのためのより厳密に集光されたスポットの生成を可能にするであろう」と語っている。

内視顕微鏡として可能性のある配置には走査される一つ以上のスポットが含まれる。ダイ・レオナルド氏は、「最も時間がかかるが容易な戦略は、同一ファイバで一つのスポットを走査すると同時に蛍光を収集する方式だ」と指摘している。　(John Wallace)

参考文献
(1) R. Di Leonardo and S. Bianchi, Opt. Exp., 19, 1(Jan. 3, 2011).

LFWJ