

逆ラドン変換を用いたブリルアン利得分布の再構築

Reconstruction of Brillouin gain distribution from its Radon transform

豊田工大, ○(P)大川 洋平, 保立 和夫

Toyota Technological Institute, ○Youhei Okawa and Kazuo Hotate

E-mail: okawa@toyota-ti.ac.jp

光ファイバ上のブリルアン利得スペクトル (BGS) 分布を測定し、温度や歪変化を光ファイバに沿って連続的に測定する分布型光ファイバセンシング技術は、新しい構造物健全性診断技術として研究が進められている。我々のグループでは、光相関領域解析法 (BOCDA法) と呼ばれる高い空間分解能とランダムアクセス性を持つ特徴的な位置分解手法を開発してきた[1]。最初の提案では、光源に直接周波数変調 (FM) を施した狭線幅レーザーが用いられていたが、現在では位相変調光源やASE光源、レーザーカオス光源などを用いた様々な手法が発展している。

これら全ての手法に共通するのは、変調光源から出力されて測定光ファイバ上を対向伝搬するポンプ・プローブ間のコヒーレンスが、相関ピーク位置と呼ばれる特定の位置でのみ高いことを利用している点である。これは、ポンプ・プローブ光の周波数差分布を表すビート (パワー) スペクトルが、デルタ関数状になることに対応している。相関領域法における出力スペクトルは、BGS分布とビートスペクトル分布の二次元 (位置と周波数) 畳み込みで表されるため、ビートスペクトルが理想的なデルタ関数なら正しいBGS分布が得られる。より一般的には、相関領域法の目標は「既知のビートスペクトル分布」から「未知のBGS分布」を推定することにあるといえる。このとき、ビートスペクトルは点状関数である必要はなく、二次元画像の基底であれば十分であり、例えば直線状の関数でも良い。点から線への変換はラドン変換と呼ばれ、任意直線上の線積分の値から逆ラドン変換によって元の二次元関数が再構成できることが知られており、CTなど非破壊の断層像取得に広く利用されている[2]。そこで本研究では、近年提案した半分アポダイズ法におけるビートスペクトルが直線状になることに基づき[3]、BGS分布のラドン変換を取得することで元の分布を逆変換により再構築する手法を考案し、実証実験を行った。

実験系をFig. 1に示す。光源周波数を鋸波状に変調してポンプ・プローブ光とし、各FM振幅 (0-1.33 GHz) に対しプローブの中心周波数を走査してブリルアンゲインを測定する。このとき、FM振幅は、BGS分布上で線積分を行う直線の角度 ($-80^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$) に対応し、中心周波数の走査は各直線の並行移動に対応している。また、FM周波数は1 MHzで一定で、相関ピーク位置は固定してある。実験で取得したサイノグラム (Fig.1(b)) を、Matlab上でビルトイン関数 (iradon) を用いて逆ラドン変換した結果 (Fig.1(c))、長さ10 mのテストファイバ中の2.3 mの温水区間の検出が確認できた。本手法は従来法と異なりランダムアクセス性が失われている反面、光パワーの利用率高い、医療分野などで広く発展している逆ラドン変換が利用できるなど、興味深い点も多く、今後より詳しく研究していく予定である。

[1] K. Hotate, Appl. Sci. 9(1), 187 (2019). [2] Stanley R. Deans, Dover Publications, (2007). [3] Y. Okawa, R. K. Yamashita, M. Kishi, and K. Hotate, Opt. Express 28(5), 6981-6994 (2020).

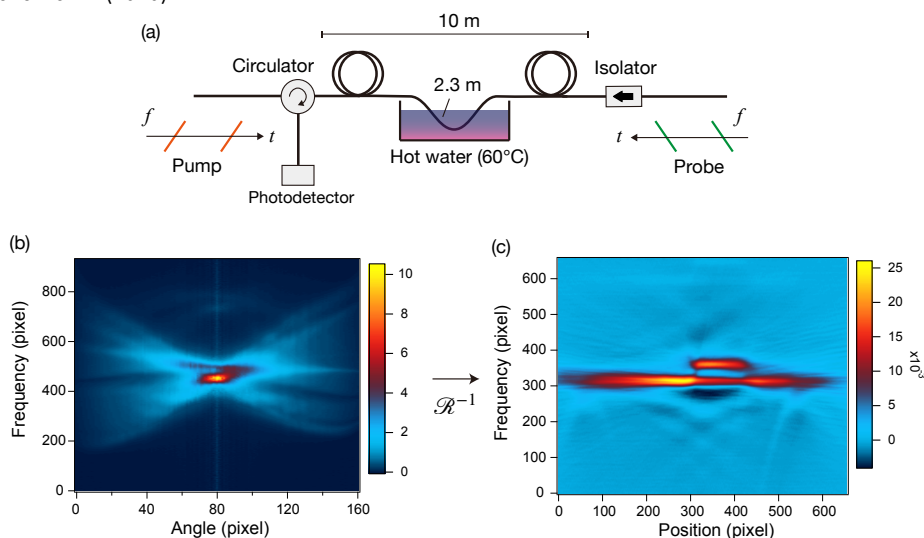


Fig. 1 : (a) Experimental set up, (b) Measured sinogram, and (c) Reconstructed BGS distribution from the image shown in (b).