

分光立体画像干渉計測システムにおける 多次元インターフェログラム取得の最適化

A fast measurement technique of multi-dimensional interferograms in interferometric 3D imaging spectrometry

○竹澤優太*, 吉森久*

○Yuta Takesawa*, Kyu Yoshimori*

*岩大院工

* Graduate School of Eng., Iwate Univ.

キーワード：3次元イメージング(3D imaging), デジタルホログラフィ(Digital holography),
干渉計測(Interferometry), 並列処理(parallel processing)

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学 工学研究科 電気電子・情報システム
工学専攻 吉森研究室 竹澤優太, Tel.:019-621-6485, E-mail:takesawa@ql.cis.iwate-u.ac.jp

1. 序論

われわれは、空間的に広がりを持つ多色物体のスペクトル成分ごとの3次元(3D)像(分光立体画像)を取得する手法として全干渉型3Dイメージング分光法の研究を行っている¹⁻⁴⁾。本手法の計測概念は、2光波折り畳み干渉計を用いた干渉計測、3Dイメージングが可能な体積型インターフェログラムの生成、分光処理によるスペクトル成分ごとの空間相関を記録した相互スペクトル密度セットの取得、再生処理によるスペクトル成分ごとの3D像の取得、以上4プロセスである。これらのプロセスにおいて3Dイメージングが可能な体積型インターフェログラム生成には、用いる干渉計測の性質上、多量のデータセットを取得する必要があるため、干渉計測に時間を要する。

本手法で用いている計測プログラムを見

直し、ソフトウェアの観点から計測時間の短縮を試みたので報告する。また、プログラムの変更前後において実験結果の影響の有無についても合わせて示す。

2. 干渉計の動作及び計測フロー

2.1 2光波折り畳み干渉計

図1に、本手法で用いる2光波折り畳み干渉計の概念を示す。

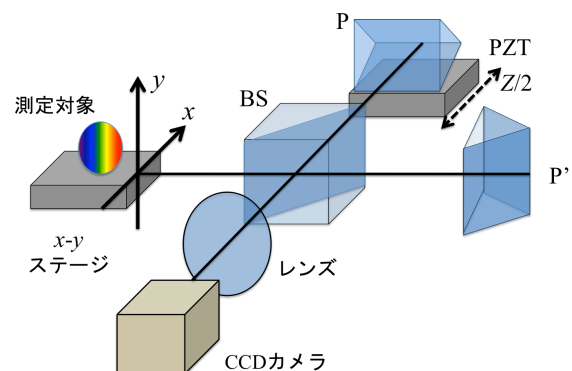


図1：2光波折り畳み干渉計

測定対象は x - y ステージ上に設置されており、このステージは x 軸方向, y 軸方向に対し自由に移動可能である。測定対象から伝搬した光波は、ビームスプリッター(BS)によって2つの光波に分割される。分割された光波はそれぞれ2つの直角プリズム P, P'に伝搬し、直角プリズムのエッジに対して上下または左右に反転され, BS 方向へと反射される。そして, BS によって再び重ね合わされ、レンズを介して干渉縞として CCD カメラにて計測される。

一方の直角プリズム P は、ピエゾトランスレータ(PZT)上に設置されており、光軸方向に走査させることで、分割2光波間に光路差 Z を導入する。実験時には、 x - y ステージと PZT を3軸走査し、それぞれの位置での干渉縞を逐次計測することで、データセット(5次元インターフェログラム)が取得される。

2.2 データセットの計測フロー

データセット計測のフローチャートを図2に示す。

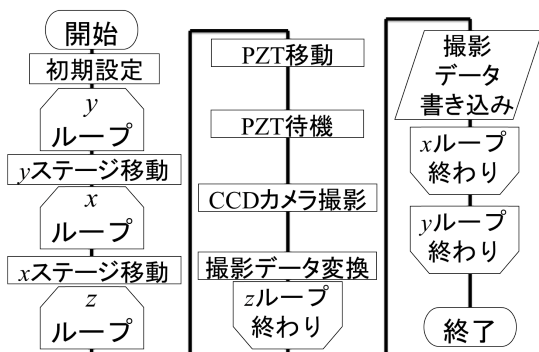


図2：データセット計測のフローチャート

まず初期設定では、各種設定の確認、動作機器との通信確認および初期位置確認などが行われる。次に、 y ステージ, x ステージ

の移動後, z ループ無いが実行される。 z ループ内では、PZT の移動及び待機, CCD カメラによる干渉縞の撮影, バイナリファイルへの変換が行われる。PZT 待機とは、PZT 移動による細かな振れが収まるまでの待機処理である。 z ループが設定回数分繰り返されるとバイナリファイル書き込みが行われ、その後 x ループおよび y ループが設定回数分、繰り返される。

2.3 各プロセスの処理時間

本説では 2-2 節で述べた計測フローにおいて、各プロセスでの処理時間について考察する。

表1に、各プロセスでの1処理にかかる平均時間と、処理回数および全計測に対する処理時間の占める割合を示す。 x - y ステージ, PZT の動作回数をそれぞれ N_x , N_y , N_z とし, CCD カメラによる撮影サイズを 64×64 画素とした。

表1：各プロセスの処理時間

処理内容	1回(ms)	処理回数	割合(%)
y ステージ移動	643	N_y	0.1
x ステージ移動	760	$N_x \times N_y$	2.9
PZT 待機	200	$N_x \times N_y \times N_z$	48.5
CCD カメラ撮影	95	$N_x \times N_y \times N_z$	23
撮影データ変換	78	$N_x \times N_y \times N_z$	18.9
撮影データ書き込み	70	$N_x \times N_y$	0.2
その他			6.4

各処理について考察する。 y ステージ移動は N_y 回, x ステージ移動および撮影データ書き込み処理は, $N_x \times N_y$ 回繰り返される。 z ループ内にある PZT 待機, CCD カメラ撮影および撮影データ変換の処理は $N_x \times N_y$

× N_z 回繰り返される。

これらから、1 処理にかかる時間はそれぞれ短い、 z ループ内の処理は $N_x \times N_y \times N_z$ 回実行されることから、大きな影響を及ぼすことがわかる。

2.4 最適化における考察

上記のことから、以下の 2 つの処理について高速化が見込めると考えられる。

1. PZT 待機処理

PZT 待機時間はユーザごとに任意で指定されており、経験的に指定されていた。この処理のみで計測全体の約半分を占めている為、この時間を最適化することによって計測時間の短縮が見込める。

2. 計測処理の系列化

図 2 から分かるように計測フローは直列処理であり、可能な処理を並列化させることで高速化が見込める。

3. PZT 待機処理の最適化

最適な PZT 待機時間を調べるため、待機時間ごとに分光データの取得を行った。PZT 待機時間は 25 ms 間隔で 0~175 ms とした。また、待機時間ごとに 10 回計測している。測定対象は緑色 LED(波長 504 nm)とした。本実験条件では、光源と同じ波長 504 nm にスペクトルピークが出るはずである。

分光結果の特徴は、PZT 待機時間 50 ms 以下と 75 ms 以降で分けられることが確認できている。図 3 および図 4 に PZT 待機時間 50 ms, 75 ms で得られた分光データを示す。PZT 待機時間ごとに、10 回分の分光結果が色分けされて 1 つのグラフ内に描画されている。

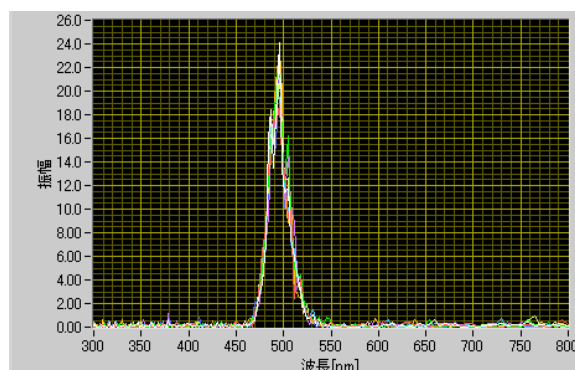


図 3 : PZT 待機時間 50 ms の分光結果

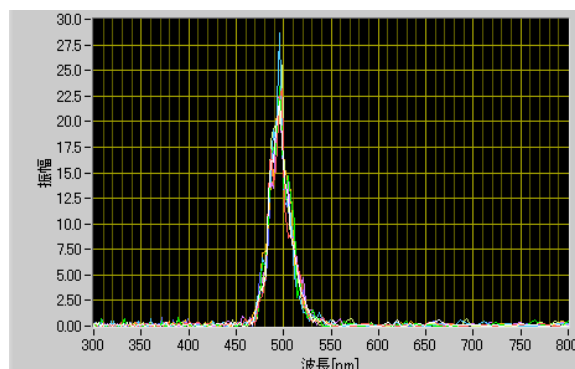


図 4 : PZT 待機時間 75 ms の分光結果

PZT 待機時間 75 ms はピーク位置が波長 500 nm 付近にある。PZT 待機時間を 100 ms 以上としても、ピーク位置の大きな変化は現れなかった。PZT 待機時間 50 ms はピーク位置が 75 ms よりも短い波長である 495 nm 付近に存在していた。25 ms 以下でも同様のピーク位置を示していた。以上より、PZT 待機時間は 75 ms 以上とする必要があることが分かった。

次に、PZT 待機時間と分光結果のばらつきを調べた。微弱な振幅を持つ波長に対応したデータを無視し、計測回数ごとの標準偏差を求める。この平均を各 PZT 待機時間において求め、グラフ化したものが図 5 である。

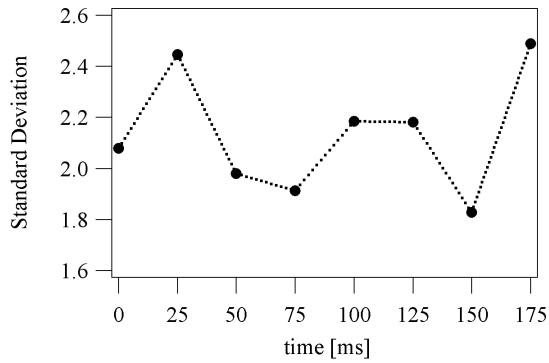


図 5：標準偏差と待機時間の関係

標準偏差は 25 ms と 175 ms で標準偏差が高くなっていることから、データのばらつきが大きく、50 ms, 75 ms, 150 ms でデータのばらつきが小さいことが分かる。

これらの検証から、PZT 待機時間に適した時間は、より短く、かつ正しいデータが取得可能な 75 ms であると結論づけた。

以前指定していた待機時間 200 ms と比べ、今回の待機時間の最適化で 30.3% の高速化に至った。

4. 処理の並列化

PZT の移動と待機は一連の動作であり、撮影は動作後の位置での干渉縞を撮影するため、これらは関連がある。したがって、 z ループ内の 4 つの処理において独立に動作させることができる処理は撮影データ変換である。PZT 移動から CCD カメラ撮影までの処理と撮影データ変換処理の並列化を試みた。

図 5 に並列化後のフローチャートを示す。最初のループでは左側の処理のみが行われ、2 ループ目以降並列に処理を行い最後のループでは右側の処理のみを行う。 i ループ目において得られたデータは、 $i+1$ ループ目でデータ変換が行われることを意味する。

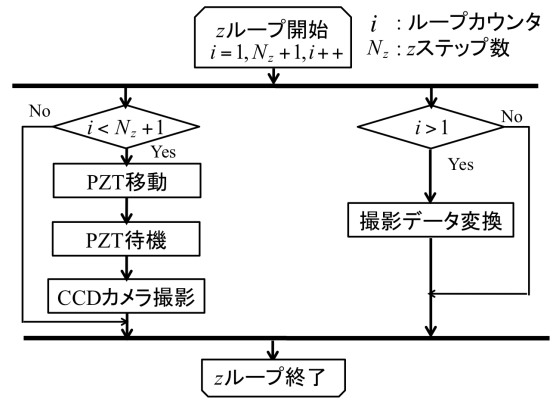


図 5：並列化後のフローチャート

次に、並列化前後で実験を行い、比較および検証した結果について示す。

まず、図 6 に並列化前後で計測された双曲面型体積インターフェログラム³⁾の 1 枚を示す。並列化後の双曲面型体積インターフェログラムにはノイズが現れる結果となった。

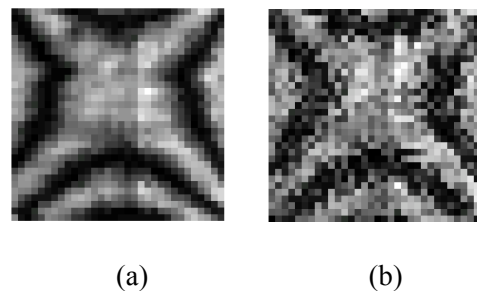


図 6：並列化前後における計測結果：

(a)並列化前, (b)並列化後

ノイズの原因は、撮影が終わると同時に PZT の移動が始まることにありと考え、CCD カメラ撮影後に待機時間 T を入れることでノイズの発生を抑えることを試みた。この場合のフローチャートを図 7 に示す。

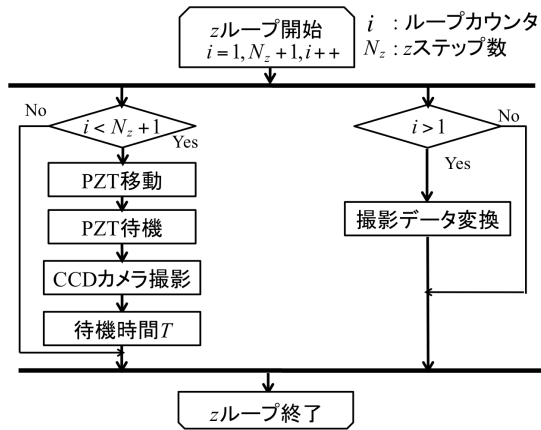


図 7 : 改良した並列化後のフローチャート

待機時間を 10 ms, 20 ms, 45 ms とした場合の計測結果を図 8 に示す. 計測結果から, 待機時間 T は 20 ms が最適であると結論づけた.

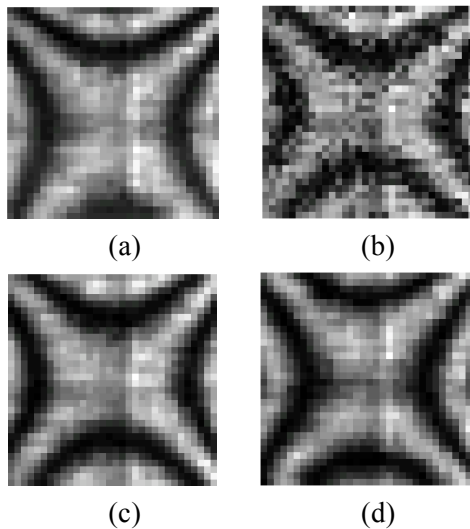


図 8 : 改良した並列化後の計測結果 :

(a)並列化前, (b)待機時間 $T=10$ ms, (c)待機時間 $T=20$ ms, (d)待機時間 $T=45$ ms

この場合, z ループ 1 回における平均処理時間は 212 ms であり, 並列化前は 252 ms である. このことから, 処理の並列化により 12.5%の短縮に至った.

5. まとめ

3D イメージング分光法で用いられる計測プログラムを改良することにより, 計測時間の短縮を試みた. PZT の待機時間を最適化したことで, 計測時間は 30.3%短縮し, 更に並列化処理により 12.5% の短縮に成功した.この高速化によって, 温度の変化や地震などの外的要因による計測への影響を抑えることができる.

本研究の一部は, 科学研究費基盤研究 (C) 25390087 の助成を受けて行ったものである.

参考文献

- 1) M. Sasamoto, K. Yoshimori: Three-Dimensional Imaging Spectrometry by Fully Passive Interferometry, Opt. Rev. **19**, 29/33 (2012)
- 2) S. Teeranutrannont, K. Yoshimori: Digital holographic three-dimensional imaging spectrometry, Appl. Opt. **52**, A388/A396 (2013)
- 3) T. Hashimoto, A. Hirai, K. Yoshimori: Fully interferometric three-dimensional imaging spectrometry using hyperbolic-type volume interferogram, Appl. Opt. **52**, 1497/1504 (2013)
- 4) M. Obara, K. Yoshimori: Coherence Three-Dimensional Imaging Spectrometry Based on Measurement of Rotated-Hyperbolic Volume Interferometry, Opt. Rev. **21**, 479/485 (2014)