

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820153

研究課題名(和文) 専用計算機を用いた高精度リアルタイム3次元動画画像計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of high-accuracy real-time three-dimensional measurement system using special-purpose computer for moving object

研究代表者

角江 崇 (Kakue, Takashi)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40634580

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：3次元動画画像計測を可能にする並列デジタルホログラフィと、その像再生処理専用の計算機とを組み合わせ、高精度リアルタイム3次元動画画像計測システムを試作した。回路設計者が構成を自由に設定可能な集積回路(FPGA)を利用して像再生処理専用計算機を開発し、深さ方向に126枚の情報を一度に処理することで、汎用計算機と比較して約3.8倍の高速化を実現した。達成した処理時間は36ミリ秒であり、リアルタイム処理の実現可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：Single-shot digital holography is capable of three-dimensional measurement of moving objects. We developed a high-accuracy real-time three-dimensional measurement system by a special-purpose computer for single-shot digital holography. By the developed system, we successfully demonstrated the possibility of real-time three-dimensional measurement for moving objects.

研究分野：ホログラフィ

キーワード：ホログラフィ 3次元計測 動画画像計測 リアルタイム計測

1. 研究開始当初の背景

近年、3次元画像計測に対する期待が大きく高まっている。特に、動く物体の3次元動画像計測を実現できれば、産業・工業・医療分野における検査・計測の高速化・高精度化・短時間化が期待できる。しかし、共焦点顕微鏡法などの従来技術では、3次元(深度)情報の計測には機械的走査やそれに伴う複数回の情報記録が必要である。そのため、動く物体をリアルタイムに3次元動画像計測するためには、そのためには、高速に回転、移動するミラーやステージ、高速に撮影可能なイメージセンサが必要となる。装置の性能がリアルタイム性に大きく依存してしまうだけでなく、3次元情報の計測精度も装置によって大きく制限されてしまう問題があった。

一方、機械的走査や逐次記録を必要とせずに3次元情報の記録・計測を可能にする技術としてホログラフィがある。従来は高解像度の感光材料を用いて3次元情報(ホログラム)を記録していたため、現像・再生過程が必要で動く物体を記録するのは困難であった。しかし、近年の情報処理技術の高速化、記憶装置の大容量化、イメージセンサの高解像・高画素数化の恩恵を受けて、ホログラフィにおける記録・再生処理をデジタル化した、デジタルホログラフィが提案された。この技術は、CCDやCMOSなどのイメージセンサでホログラムを画像情報としてデジタル記録し、計算機上で物体の3次元情報を任意の奥行きで、かつ従来よりも高速に得られる技術である。デジタルホログラフィでは、原理的に所望像に重畳する不要な像成分を除去し、より高精度な情報を得るための手法の一つとして、位相シフト干渉法が用いられる。この手法では、参照光の位相を逐次変化させて記録する必要があるため、動く物体への適用が不可能であった。この問題を解決する手法として、参照光の位相を空間的に並列にシフトさせる並列デジタルホログラフィが提案されている。並列デジタルホログラフィによる高速度3次元動画イメージングが達成されており、計測分野への発展が期待されている。

デジタルホログラフィでは、観測対象の3次元情報の再生処理において、光波の伝播計算を行う。計算機で高速に光波の伝播を計算する手法としては高速フーリエ変換(FFT)が一般的である。しかし一般的なPCでは、デジタルホログラフィにおける再生処理計算をリアルタイムに処理するのは困難であるほど、FFTには計算に時間を要する。その上、並列デジタルホログラフィでは、高精度な情報を得るための計算(並列位相シフト干渉法の計算)も必要である。並列デジタルホログラフィによるリアルタイム3次元動画像計測を実現するためには、上述の計算処理を従来(一般的なPC)よりも高速に実行する必要がある。

2. 研究の目的

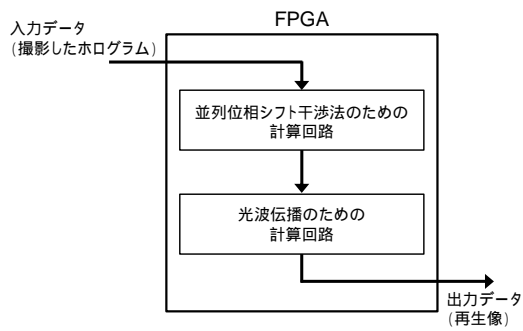
並列デジタルホログラフィによる高精度リアルタイム3次元動画像計測システムを実現するために、再生処理計算用の専用計算機を開発する。本研究では、FPGA(Field-Programmable Gate Array)のパイプライン演算処理能力に着目した。動く物体の3次元動画像計測を可能にする並列デジタルホログラフィシステムに、上述の専用計算機を導入して、一般的なPCと比較して何倍に再生処理を高速化できるのかを評価する。

3. 研究の方法

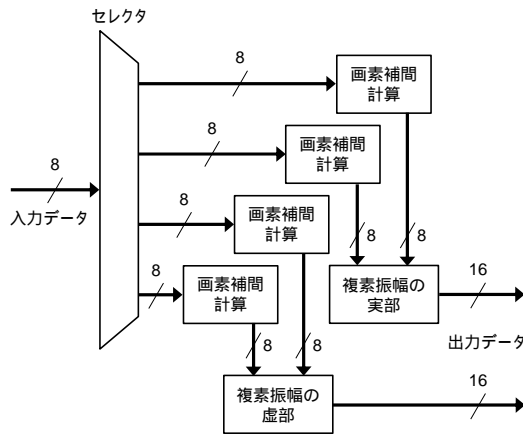
本研究では、高精度計測を実現するために必要な並列位相シフト干渉法の計算処理および光波の伝播計算処理を、FPGAによる専用計算機に実装して高速化することを試みた。実装した回路の動作確認と、その性能の示すための計算機評価実験も行った。

FPGAにおいては、計算処理実行時に情報を保持しておくためのメモリ(RAM)との通信時間が、高速化の性能に大きく影響する。このうち、内部RAMと比較して外部RAMの方が通信時間を要する。また、外部RAMを用いての計算回路の設計は、内部RAMのみを用いて設計する場合に比べて複雑になる。そこで本研究では、まず外部RAMを用いずに内部RAMのみを利用して専用計算機を設計した。内部RAMのメモリ容量は外部RAMと比較して少ないため、外部RAMを用いない場合においては、ホログラムの画素数が少ない場合を想定して専用計算機を設計した。本研究では、ホログラムの画素数が 128×128 画素の場合をターゲットとした。

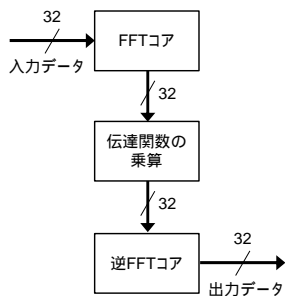
図1に、本研究にて設計した、並列デジタルホログラフィに基づく高精度リアルタイム3次元動画像計測のための再生処理計算専用回路の概略図を示す。図1(a)のように、この計算回路は大きく分けて、並列位相シフト干渉法の計算回路(図1(b))と光波伝播の計算回路(図1(c))の二つで構成される。まず、撮影した 128×128 画素のホログラムデータ(1画素あたり8ビット)を入力する。このホログラムには、位相シフト干渉法の計算が必要となる、4種類の異なるホログラムデータが多重化されているため、種類ごとに分解して処理する。分解したデータには画素値が欠落している箇所が含まれるため、画素補間回路で画素値を補間し、光波の複素振幅の実部と虚部(それぞれ、1画素あたり16ビット)を求める。次に、光波の複素振幅の実部と虚部をまとめて1つのデータ(1画素あたり32ビット)にした後、光波伝播の計算回路へと入力する。ここでは、複素振幅をFFTした後に、ホログラム記録時のパラメータによって定まる伝達関数を乗算する。乗算後の結果を逆FFTすることで、最終的に求める再生像を計算できる。



(a)



(b)



(c)

図1 設計，開発した専用計算機の概略．

- (a) 全体図，
- (b) 並列位相シフト干渉法の計算回路，
- (c) 光波伝播の計算回路．

4. 研究成果

表1に，図1に基づいて実装した専用計算機によって，1枚のホログラムから1枚の再生像を得るのに要した計算時間を示す．

表1 専用計算機によって1枚の再生像を得るのに要した計算時間 [ms]．

	PC	専用計算機
データ送信	-	1.00
再生処理	0.66	0.30
データ受信	-	0.21
合計	0.66	1.51

表1において，再生処理に必要な時間はPCと比較して半分以下に高速化できていることが分かった．一方で，FPGAとPC間におけるデータ送受信にかかる時間が支配的となり，合計ではPCに劣る結果が得られた．これは，ホログラムの画素数が少なく，データ転送効率が比較的悪いことが原因と考えられる．そこで，デジタルホログラフィの特長を活かして，1枚のホログラムから奥行き方向に126枚の再生像を同時に計算する回路を実装した．その結果，PCでは135msを要したのに対して，専用計算機ではデータ送受信時間を含めて36msで処理できた．したがって，PCと比較して3.75倍の高速化を達成できた．36msという処理時間は，毎秒約28フレームに相当するため，本研究にて開発した専用計算機がリアルタイム性を有することが実証された．

次の課題は，ホログラムの画素数を多くした際の専用計算回路を設計，開発することである．この場合，内部RAMのみではメモリ容量が不足する可能性があるため，その場合には外部RAMも利用した設計を考える必要がある．

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

角江 崇，下馬場 朋禄，伊藤 智義，
“High-speed parallel phase-shifting digital holography system using special-purpose computer for image reconstruction,” Proc. SPIE, Vol.9495, 94950N-1-6, 2015, 査読有．

[学会発表](計18件)

的場 駿介，杉江 崇繁，角江 崇，下馬場 朋禄，伊藤 智義，増田 信之，
“Development of Special Purpose Computer for Calculation of Parallel Phase-Shifting Digital Holography by Using HORN-8 Board,” International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2016, 2016年1月8日，Busan, Korea.

(招待)角江 崇，下馬場 朋禄，伊藤 智義，
“High-speed phase imaging based on digital holography and its application to vibration measurement,” The 5th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2015), 2015年9月18日，Gangneung, Korea.
増田 信之，松田 美由妃，白倉 圭亮，難波 慎太郎，的場 駿介，角江 崇，下馬場 朋禄，伊藤 智義，“高速度デジタルホログラフィのための専用計算回路の並列化”第14回情報科学技術フォー

ラム (FIT2015), 2015年9月16日, 愛媛大学城北キャンパス(愛媛県松山市).
角江 崇, 森谷 哲平, 鈴木 輔, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “高速度位相イメージングに基づくスピーカから発せられる音波が有する周波数分布の推定,” 3次元画像コンファレンス2015, 2015年7月10日, 海洋研究開発機構横浜研究所(神奈川県横浜市).

的場 駿介, 亀谷 和樹, 増田 信之, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “並列位相シフトデジタルホログラフィ専用計算機の設計,” 3次元画像コンファレンス2015, 2015年7月10日, 海洋研究開発機構横浜研究所(神奈川県横浜市).

(招待)角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤智義, “High-speed parallel phase-shifting digital holography system using special-purpose computer for image reconstruction,” SPIE Sensing Technology + Applications, 2015年4月21日, Baltimore, USA.

的場 駿介, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, 増田 信之, “Design of Computational Circuit for Calculation of Parallel Phase-Shifting Digital Holography,” The 12th of the biennial Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS 2014), 2014年11月19日, Ishigaki, Japan.

亀谷 和樹, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “Development of Special-Purpose Computer Based on Virtex-7 FPGA for High-Speed Digital Holography,” The 12th of the biennial Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS 2014), 2014年11月18日, Ishigaki, Japan.

(招待)角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤智義, “High-speed phase imaging of dynamic phenomena by digital holography,” Optics and Photonics Japan 2014, 2014年11月6日, 筑波大学東京キャンパス(東京都文京区).

角江 崇, 遠藤 優, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “Estimation of vibration frequency of loudspeaker diaphragm by parallel phase-shifting digital holography,” SPIE/COS Photonics Asia 2014, 2014年10月11日, Beijing, China.

的場 駿介, 増田 信之, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “並列位相シフトデジタルホログラフィのための位相シフト干渉法の計算回路の設計,” 第13回情報科学技術フォーラム(FIT2014), 2014年9月3日, 筑波大学筑波キャンパス(茨城県つくば市).
増田 信之, 亀谷 和樹, 高橋 慶, 角江

崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “高速度デジタルホログラフィのための専用計算機の開発” 第13回情報科学技術フォーラム (FIT2014), 2014年9月3日, 筑波大学筑波キャンパス(茨城県つくば市).

角江 崇, 増田 信之, 的場 駿介, 亀谷 和樹, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “並列位相シフトデジタルホログラフィ専用計算回路による像再生処理計算の高速化,” 2014年度第3回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 2014年9月5日, 日本大学理工学部船橋キャンパス(千葉県船橋市).

(招待)角江 崇, “並列位相シフトデジタルホログラフィによるその場観察のための像再生処理計算の高速化,” 第39回光学シンポジウム, 2014年6月27日, 東京大学生産技術研究所(東京都目黒区).

(招待)角江 崇, “High-speed phase imaging for fast phenomena by parallel phase-shifting digital holography,” Proceedings of HODIC in Korea: 2014 Korea-Japan 3D Display Symposium and Exhibition, 2014年5月31日, Incheon, Korea.

的場 駿介, 増田 信之, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “Development of Computational Circuit for Calculation of Phase-Shift Method in Parallel Phase-Shifting Digital Holography,” International Symposium on Three Dimensional systems and Applications (3DSA) 2014, 2014年5月30日, Seoul, Korea.

角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “Observation of high-speed vibration of loudspeaker diaphragm by parallel phase-shifting digital holography,” International Symposium on Three Dimensional systems and Applications (3DSA) 2014, 2014年5月29日, Seoul, Korea.

(招待)角江 崇, 遠藤 優, 檜山 大輔, 平山 竜士, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “並列位相シフトデジタルホログラフィによる高速振動体の振動変位観察,” 2014年度第2回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 2014年5月23日, 千葉大学西千葉キャンパス(千葉県千葉市).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.te.chiba-u.jp/~brains/t-kaku/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角江 崇 (KAKUE, Takashi)
千葉大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：40634580

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：