

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 22 日現在

機関番号：12501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860016

研究課題名(和文) 並列デジタルホログラフィに基づく高精度3次元動画像実時間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 for moving object based on parallel digital holography

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) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：従来技術では実現が困難であった高精度3次元動画像実時間計測システムの開発を目指し、コア技術である並列デジタルホログラフィの計算処理を高速化するための計算回路を設計した。設計回路に対する計算機シミュレーション結果から、高精度計測を実現するための計算処理を、GPUにより最大で従来の11.4倍に、FPGAにより従来の6.9倍に高速化可能であることを確認した。また、スピーカーの振動板を対象とした実証実験により、周波数1kHzで振動する振動板の振動変位量の取得に成功した。

研究成果の概要(英文)：In order to develop a real-time three-dimensional measurement system for moving object with high accuracy which it is difficult for conventional techniques to realize, the author aimed to accelerate the calculation processes of parallel digital holography which is a core technique in this work. By numerical simulations, the author confirmed that GPU and FPGA was capable of carrying out the calculation process for realizing high-accuracy measurement up to 11.4 times and 6.9 times faster than that by CPU, respectively. In addition, the author succeeded in obtaining displacement of diaphragm of a loudspeaker vibrating at 1 kHz by experimental demonstration.

研究分野：ホログラフィ

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：ホログラフィ 3次元計測 動画像計測

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り、高速に動く物体の3次元情報取得は不可能であった。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、撮像素子の高解像・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などの撮像素子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)が一般的であるが、現在の計算機でも実時間で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に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実時間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)よりも高速に行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、高精度3次元動画実時間計測システムを世界で初めて実現することである。ここではその第一歩として、並列デジタルホログラフィの計算処理を高速化することを目的とした。計算の高速化を実現するにあたり、GPU(Graphics Processing Unit)やFPGA(Field-Programmable Gate Array)の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、上述のハードウェアを導入し、従来システムの何倍に再生処理を高速化できるのかを評価する。また、実証実験を通して、計測システムとしての可能性を確かめる。

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位相シフト干渉法の計算処理を、GPUとFPGAそれぞれにおいて高速化することを試みた。また、3次元動画像計測の実現可能性を示すための実証実験も行った。

(1) GPUの長所は、同一の計算を並列処理可能である点である。ホログラムの画素数が多い場合にはFPGAよりもGPUの方が優位になることが予想できた。GPUについては、ホログラムの画素数が256×256、512×512、1,024×1,024、2,048×2,048の場合について検証した。

(2) FPGAにおいては、計算処理実行時に情報を保持するメモリ(RAM)との通信時間をできる限りなくすため、外部RAMを用いず内部RAMのみを利用した。内部RAMのメモリ容量は限られているため、GPUとは逆に、ホログラムの画素数が少ない場合にはFPGAが優位にあると予想できた。FPGAについては、ホログラムの画素数が128×128の場合について検証した。

(3) 3次元動画像計測システムとしての可能性を示すために、図1のような光学系を構築した。この光学系を用いて、高速振動体に対する振動変位の観察と、再生結果に基づく振動周波数の推定を試みた。高速振動体として、スピーカーの振動板を観察対象とし、周波数1kHzで定常振動させた。振動の様子を、毎秒5万フレームの記録速度で撮影した。

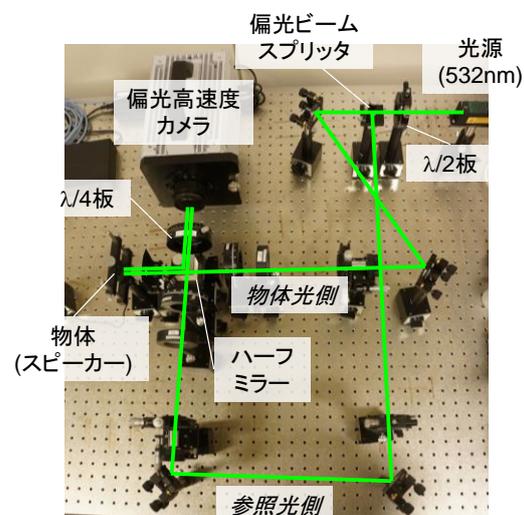


図1 3次元動画像計測のための試作光学系。

4. 研究成果

(1) GPU による速度検証と比較

NVIDIA 社製の GPU(GeForce GTX 560 Ti)を用いて, CPU(Intel Core i7-2600, 1 コア使用)との速度比較を行った. 表 1 に, 位相シフト干渉法の計算処理に対する速度比較の結果を示す. 表 1 から分かるように, GPU を使用することで計算速度を約 10 倍に高速化できた. また, ホログラムの画素数が増えるにつれて高速化比も上昇していることも確認できた. この結果から, 将来的に超高画素数のホログラム撮影を行う場合に, GPU が有用であることを示せた.

表 1 GPU による高速化比.

ホログラムの画素数	GPU での計算時間 [ms]	CPU に対する高速化比
256×256	0.35	6.3
512×512	1.0	8.8
1,024×1,024	3.56	10.0
2,048×2,048	12.4	11.4

(2) FPGA による速度検証と比較

Xilinx 社製の大規模 FPGA 基板 Vertex-7 FPGA VC707 Evaluation Kit を対象とし, 同社の提供するシミュレータ ISim13.4 を用いて回路設計を行った. 設計した回路の回路合成及び配置配線を行い, CPU(Intel Core i7-870, 1 コア使用)との速度比較を行った. 表 2 に結果を示す. FPGA により計算速度を約 7 倍に高速化できた. また, 今回設計した回路は, 使用した FPGA のリソースの約 2% 程度しか占有していないため, 同様の回路を複数個実装することにより, さらなる高速化が期待できる.

表 2 FPGA による高速化比.

ホログラムの画素数	FPGA での計算時間 [ms]	CPU に対する高速化比
128×128	0.15	6.9

(3) 高速振動体の観測

図 1 の光学系を用いてホログラムを記録した. 光源には出力 150mW, 波長 532nm の半導体励起個体レーザーを用いた. 撮像素子には, 株式会社フォトロン製の偏光高速度カメラを用いた. 図 2 に得られた再生像を示す. 図 2 は, 奥行き情報に相当する情報(位相情報)を画像化したものであり, 色の違いが奥行きに相当する. 各再生像には, スペックルノイズと呼ばれる, 粒状のノイズが重畳して画質が低下していた. これは, スピーカーの振動板表面が鏡面ではなく粗面であることが原因であり, 本手法に起因するものではなくホログラフィ全般において生じるものである. 画質の低下がみられたものの, 時間の経過とともに振動の変位量が増加している様子が観察できた. 次に, 振動板の振動周期を

求めるために, 得られた再生像に基づいて振動変位量の時間変化を検証した. 図 3 に時間変化の様子を示す. 図 3 の結果から, 振動板の振動周期が 1ms であることが確認できた. この結果は, スピーカーへと入力した信号の周波数 1kHz と合致するため, 再生像から振動周波数を推定可能であることを示せた. 以上の結果から, 並列デジタルホログラフィによる振動計測の有効性を示すことに成功した. 本成果は振動計測分野において非常に有益である.

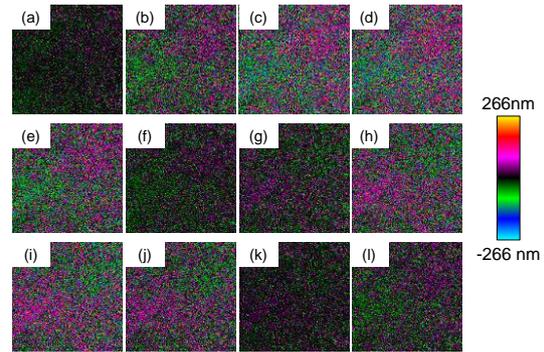


図 2 実証実験の結果.

(a)から順に時間が経過. 各画像の時間間隔は 100ms. 色の違いが振動変位に相当.

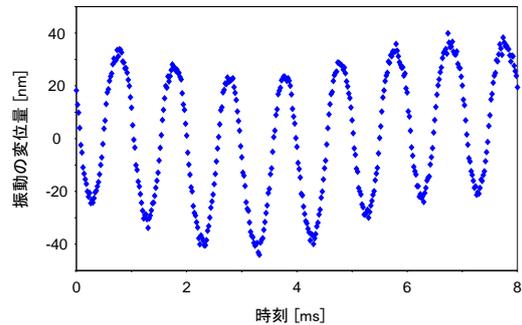


図 3 振動変位の時間変化

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)

- ① 角江崇, 湯浅淳平, 藤井基史, 夏鵬, 田原樹, 栗辻安浩, 西尾謙三, 裏升吾, 久保田敏弘, 的場修, “Light-in-Flight Recording by Parallel Phase-Shifting Digital Holography,” Applied Physics Express, 査読有, Vol.6, 2013, 092501. 10.7567/APEX.6.092501

[学会発表] (計 13 件)

- ① (招待) 角江崇, “High-speed phase imaging for fast phenomena by parallel phase-shifting digital holography,”

- 2014 Korea-Japan 3D Display Symposium and Exhibition Conference (HODIC in Korea), 2014年5月31日, Seoul, Korea. (発表決定)
- ② 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,” Three-dimensional Systems and Applications (3DSA) 2014, 2014年5月30日, Seoul, Korea. (発表決定)
- ③ 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,” Three-dimensional Systems and Applications (3DSA) 2014, 2014年5月29日, Seoul, Korea. (発表決定)
- ④ 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を用いたスピーカー振動板の高速振動観察,” 第61回応用物理学会春季学術講演会, 2014年3月18日, 神奈川県相模原市.
- ⑤ (招待) 角江崇, “Holographic imaging by parallel phase-shifting interferometry with femtosecond light pulse,” International Symposium on 3D Display and Imaging. 2013年11月21日, Beijing, China.
- ⑥ (招待) 角江崇, 増田信之, 遠藤優, 平山竜士, 岡田直久, 下馬場朋禄, 伊藤智義, “Special-purpose computer for real-time reconstruction of holographic motion picture,” 2013 International Conference on Optical Instruments and Technology, 2013年11月19日, Beijing, China.
- ⑦ (招待) 角江崇, 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, “Fast computation of image-reconstruction process of high-speed parallel phase-shifting digital holography,” 12th International Workshop on Information Optics (WIO2013), 2013年7月18日, Tenerife, Spain.
- ⑧ (招待) 角江崇, 栗辻安浩, “High-speed holographic 3D sensing for fast phenomena by parallel phase-shifting interferometry,” The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR 2013), 2013年7月3日, 京都市.
- ⑨ 亀谷和樹, 増田信之, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, “Simulation of the Special-purpose Computer for High-speed Imaging by Digital Holography,” Three-dimensional Systems and Applications (3DSA) 2013,

2013年6月28日, 大阪市.

- ⑩ (招待) 角江崇, 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, “Fast-computational method and system for computer holography,” Collaborative Conference on 3D Research (CC3DR) 2013, 2013年6月26日, Jeju, Korea.
- ⑪ (招待) 角江崇, 夏鵬, 田原樹, 栗辻安浩, 西尾謙三, 裏升吾, 久保田敏弘, 的場修, “Observation of femtosecond light pulse propagation by using digital light-in-flight recording by holography,” SPIE Defense, Security, and Sensing 2013, 2013年4月30日, Baltimore, U. S. A.
- ⑫ 角江崇, 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, “Accelerating Computational Time of Image Reconstruction Process of Parallel Phase-Shifting Digital Holography by GPU with CUDA,” 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012 (IDW/AD'12), 2012年12月6日, 京都市.
- ⑬ 角江崇, 岡田直久, 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, “並列位相シフトデジタルホログラフィにおける像再生処理計算のGPGPUによる高速化,” Optics and Photonics Japan 2012, 2012年10月24日, 東京都.

[その他]

ホームページ等

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

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：