

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11328

研究課題名(和文)FPGAを用いたデジタルホログラフィ専用計算システムの開発

研究課題名(英文)Special purpose computer system for digital holography technology using FPGA

研究代表者

増田 信之(MASUDA, Nobuyuki)

東京理科大学・基礎工学部電子応用工学科・教授

研究者番号：60323333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：現在、三次元の流れの可視化や計測が様々な分野で必要とされている。これらの研究では、デジタルホログラフィーが利用されている。デジタルホログラフィーは三次元表示技術であるホログラフィーにデジタル技術を応用した技術である。一方向からの撮影で三次元情報を得ることが出来ることや、計算機中で処理を行なうことが出来るなど有効な点が多いが、計算機での処理に時間がかかるため、実用化にはいたっていない。FPGAを用いた専用計算システムを開発することにした。ホログラムの処理を奥行き方向に並列に処理するための計算パイプラインをFPGA内に複数実装することで市販のPCより、高速な演算システムの構築に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ホログラフィを用いた三次元流体速度場可視化システムで光学系を用いて撮影したホログラムには対象となる流体中の粒子の三次元情報が含まれている。このホログラムから流体中のマーカの位置を再生し、解析を行うことで流体の三次元速度場の情報を得ることが出来る。デジタルホログラフィー技術は、微小な液滴・粒子・気泡群などの時間変化を三次元空間計測するのに適しており、空間位置計測、移動量(速度)計測、数密度計測、粒径等計測、形状・姿勢計測、高速度物体のイメージングなど今後工学的な応用範囲も一層広がりを見せるものと期待される。そのため、ホログラムの処理を高速化できる専用計算機システムは非常に有用であると思われる。

研究成果の概要(英文)：Recently, three-dimensional flow visualization and measurement are required in various fields. Digital holography is used in these studies. Digital holography is a technology that applies digital technology to holography, which is a three-dimensional display technology. There are many effective points such as being able to obtain three-dimensional information by shooting from one direction and being able to perform processing in a computer. However it has not been put into practical use because it takes time to process in a computer. We have developed a special purpose computer system using FPGA. By implementing multiple calculation pipelines in the FPGA for processing holograms in parallel in the depth direction, we succeeded in constructing a faster computer system than a PC.

研究分野：計算機システム

キーワード：ハイパフォーマンスコンピューティング 専用計算機 デジタルホログラフィ

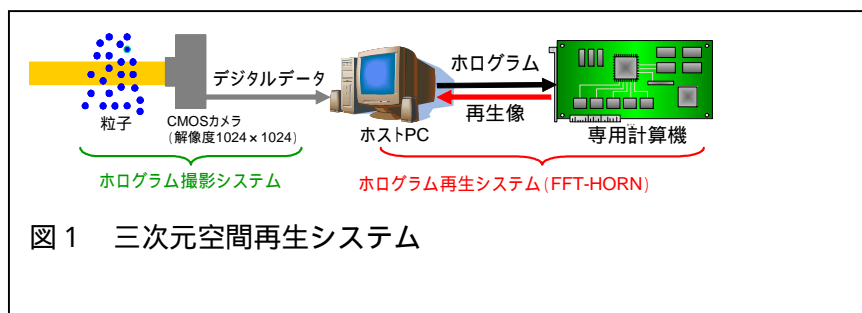
1. 研究開始当初の背景

デジタルホログラフィ技術を用いた三次元解析の研究は、1990 年台半ばから、海外では Katz (Johns Hopkins 大) らや Meng (Buffalo 大) ら、国内では岡本孝司教授 (東京大学) ら、佐竹信一教授 (東京理科大学) らのグループがそれぞれ独立に装置開発を含めた実験を始めている。また、デジタルホログラフィを用いた高速イメージングの研究については、国内では粟辻安浩准教授 (京都工芸繊維大学) や角江崇助教 (千葉大学) のグループが研究を行っている。ただし、これまでの研究においては計算処理速度の問題が壁になって、実用化の道筋はたっていない。例えば、 $1,024 \times 1,024$ のホログラムから $1,024 \times 1,024 \times 1,024$ の再生空間を得るのに、FFT による高速アルゴリズムを用いても CPU が Intel 社の Core i7 の PC での計算時間は 15 秒程度であり、実用的な流速計測は困難であった。

申請者は FPGA を用いた専用計算機システムを構築することで、計算時間の削減をはかり、数値計算や数値解析を高速に行う研究を行ってきた。特に数値計算の計算精度に合わせた演算回路を開発し、市販の PC の計算速度を上回るシステムを開発してきた。また、比較対象としての意味もあるが、GPU などのアクセラレータボードを用いた計算の高速化についての研究も行ってきた。

2. 研究の目的

現在、様々な分野でデジタルホログラフィを使用した三次元計測が行われている。特に生体内の物質を輸送する血液の動きと赤血球などの形状を計測することは、生体内の物質の輸送機構を解明するために非常に重要なことである。また、近年になって三次元高速度イメージングにおいても、デジタルホログラフィを応用した計測が行われてきている。しかしながら、これらの計測において、撮影されたホログラムから三次元空間を再生するためには、膨大な計算時間を必要とする。本研究では、デジタルホログラフィを応用した三次元計測を支援する FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いた専用計算機システム (図 1) を構築し、それを様々な三次元計測に応用し、上記のような問題を解明することを最終的な目標としている。また、三次元計測と高速イメージングでは、再生に利用する計算式が一部違い、専用計算回路が異なる。FPGA では回路の再構成は出来るが、ある程度の時間が必要となる。この時間を短縮するために、計算機システムを再起動する必要のない使い勝手のよいシステムを構築することも研究目的の一つである。



3. 研究の方法

三次元計測専用計算機システム構築のために、以下の 4 のステップを踏んで計画を進める。

- 1) FPGA 評価ボードでの性能評価、
- 2) 新計算機システムの構築、
- 3) 必要となる計算ごとに回路を動的に変更できるシステムの構築、
- 4) 実験系への実装と性能評価。

(1) 旧システムから移行するために、市販の評価用ボードを使用して、新システムの中核となる計算機回路の評価を行なう。最後に複数枚のボードを実装した専用計算機システムを構築し、その性能の評価を行った。また、複数枚の評価ボードでの並列化についても検討する。また、速度場解析を行う回路の実装も行い、三次元空間再生計算との動的な変更が可能かどうかの検証も行う。

(2) 実験系の研究者の方々と共同して、実際の実験において有効な結果が得られるように研

究を進めていく予定である。同時に、FPGA の部分再構成を用いた複数の専用計算回路の切り替えをスムーズに行うシステムの開発を行う。

(3) C 言語などで作成された数値計算コードを FPGA の回路情報に変換し、一般的な数値計算用のアクセラレータのような利用のできるシステムの構築の準備を行う。

(4) 各年度で研究の状況を公開するために、学会、国際会議、研究会などで積極的に発表を行っていく予定である。さらにある程度の研究成果が出たところで論文として投稿する予定である。また、大学主催のオープンキャンパスなどで、一般の方々にもわかりやすく紹介し、この技術がいかに社会に貢献出来るかを発信したいと考えている。

4. 研究成果

(1) 従来のシステムでは、高速イメージングの場合、4枚のホログラムからそれぞれ8枚の再生面を計算する場合、通信時間が28秒で、計算時間が0.7秒となっていた。新しい評価ボードでは、通信時間が7秒に、計算時間が0.23秒になると考えられ、再生面1枚あたり的高速化は、約3倍になる予想であった。また、通信時間と計算時間の比は約35になり、理論的には、計算の並列化が1枚のホログラムあたり35面までは、通信時間がボトルネックにならないと考えられた。これらの回路を実装した評価用 FPGA ボードを PC に2枚さしたシステムを用いて、並列化の評価を行ったところ予想と同等な結果がえられた(学会発表 4), 5)。また、速度場解析を行う回路の実装も行い、三次元空間再生計算との動的な変更が可能かどうかの検証を行なう準備も出来た(学会発表 6)。

(2) 平成30年度の結果を元に、専用計算機用新ボードへの計算回路の実装準備を行った。ここでは、1枚の専用計算機ボードに複数個の計算回路を搭載し、並列して高速計算を行う設計になっている。現段階では設計は終了し、計算機上でのシミュレーションでは良好な結果を得ている(学会発表 1), 2), 3)。計算速度に関しては予測値とほぼ同等の速度が出ており、計算結果の精度に関しても、市販の PC などの結果と同じ計算精度を得ていることが示された。また、新規に購入した FPGA 評価ボードについては、PC への接続テストも終了し、通信テストなどの簡単な回路の実装に成功している。データの通信速度も予定通りのパフォーマンスを得ている(論文雑誌 1)。

(3) 令和2年度は専用計算機システムの性能評価を中心に研究を行った。実験系の研究者の方々と共同して、実際の実験において有効な結果が得られるように研究を進めていく予定であったが新型コロナウイルス感染症の影響で計画していた共同研究を行なうことが出来なかった。また、FPGA の部分再構成を用いた複数の専用計算回路の切り替えをスムーズに行うシステムの開発を行った。さらに C 言語などで作成された数値計算コードを FPGA の回路情報に変換し、一般的な数値計算用のアクセラレータのように利用できるシステムの構築の準備を行った。

論文雑誌

1) Special-purpose computer for digital holographic high-speed three-dimensional imaging Y. Yamamoto, S. Namba, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, N. Masuda Optical Engineering, 59, 2020, 054105 2020年5月 <https://doi.org/10.1117/1.OE.59.5.054105>

学会発表

1) 高位合成を用いた専用計算機の開発及び有用性の検討

FIT2019 第18回情報科学技術フォーラム
佐藤紘将, 祢津 佑, 大森一世, 増田信之

2) 異なる高位合成環境下における2次元FFT演算回路の作成と比較

FIT2019 第18回情報科学技術フォーラム
大森一世, 増田信之, 佐藤紘将, 祢津 祐

3) FPGAを用いた高速イメージング用専用計算機システム

FIT2019 第18回情報科学技術フォーラム
増田信之, 佐藤紘将, 祢津 佑, 大森一世, 廣田祐輔, 山本洋太, 角江 崇,
下馬場朋禄, 伊藤智義

4) 高位合成を用いた2次元FFT計算回路の作成と検証

FIT2018 第17回情報科学技術フォーラム
佐藤紘将 廣田祐輔 山本洋太 増田信之

5) 高速イメージング用専用計算機の開発

FIT2018 第 17 回情報科学技術フォーラム

増田信之 廣田祐輔 佐藤紘将 山形健太 山本洋太 角江 崇 下馬場朋禄 伊藤智義

6) 動的部分再構成技術を用いた専用計算機システムの開発

FIT2018 第 17 回情報科学技術フォーラム

廣田祐輔 佐藤紘将 山本洋太 増田信之

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamamoto Yota, Namba Shintaro, Kakue Takashi, Shimobaba Tomoyoshi, Ito Tomoyoshi, Masuda Nobuyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Special-purpose computer for digital holographic high-speed three-dimensional imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.0E.59.5.054105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hirayama Ryuji, Martinez Plasencia Diego, Masuda Nobuyuki, Subramanian Sriram	4. 巻 575
2. 論文標題 A volumetric display for visual, tactile and audio presentation using acoustic trapping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 320~323
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41586-019-1739-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sugie Takashige, Akamatsu Takanori, Nishitsuji Takashi, Hirayama Ryuji, Masuda Nobuyuki, Nakayama Hirotaka, Ichihashi Yasuyuki, Shiraki Atsushi, Oikawa Minoru, Takada Naoki, Endo Yutaka, Kakue Takashi, Shimobaba Tomoyoshi, Ito Tomoyoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 High-performance parallel computing for next-generation holographic imaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Electronics	6. 最初と最後の頁 254~259
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41928-018-0057-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本洋太 増田信之 下馬場朋禄 角江 崇 伊藤智義
2. 発表標題 Xilinx Alveo U250を用いた位相変調型電子ホログラフィ専用計算機の開発
3. 学会等名 FIT2020 第19回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本洋太 増田信之 下馬場朋禄 角江崇 伊藤智義
2. 発表標題 組み込みシステム向け位相変調型電子ホログラフィ専用計算機の開発
3. 学会等名 FIT2019 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田信之 佐藤紘将 祢津佑 大森一世 廣田祐輔 山本洋太 角江崇 下馬場朋禄 伊藤智義
2. 発表標題 FPGAを用いた高速イメージング用専用計算機システム
3. 学会等名 FIT2019 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大森一世 増田信之 佐藤紘将 祢津佑
2. 発表標題 異なる高位合成環境下における2次元FFT演算回路の作成と比較
3. 学会等名 FIT2019 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤紘将 祢津佑 大森一世 増田信之
2. 発表標題 高位合成を用いた専用計算機の開発及び有用性の検討
3. 学会等名 FIT2019 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤紘将 廣田祐輔 山本洋太 増田信之
2. 発表標題 高位合成を用いた2次元FFT計算回路の作成と検証
3. 学会等名 FIT2018 第17回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本洋太 増田信之 角江 崇 下馬場朋禄 伊藤智義
2. 発表標題 組み込みシステム向けホログラフィ専用計算機の開発
3. 学会等名 FIT2018 第17回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣田祐輔 佐藤紘将 山本洋太 増田信之
2. 発表標題 動的部分再構成技術を用いた専用計算機システムの開発
3. 学会等名 FIT2018 第17回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田信之 廣田祐輔 佐藤紘将 山形健太 山本洋太 角江 崇 下馬場朋禄 伊藤智義
2. 発表標題 高速イメージング用専用計算機の開発
3. 学会等名 FIT2018 第17回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------