様式Ｃ－１９

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成２５年６月１０日現在

機関番号：２４５０６
研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2009～2012
課題番号：２１３０００４４

研究課題名（和文）　電子ホログラフィによる実時間３次元撮像・３次元ディスプレイシステムの開発

研究課題名（英文）　Development of a real-time recording and reconstruction system for moving 3-D images using electronic holography

研究代表者
佐藤　邦弘（SATO KUNIHIRO）
兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40167432

研究成果の概要（和文）：

本研究では、ワンショットデジタルホログラフィの技術を使い、大出力パルスレーザを用いた運動物体３次元像の実時間撮像装置を開発した。また、開発した撮像装置を計算機とホログラフィックディスプレイに接続し、実際の被写体を使った実験を行って室内照明下における運動物体３次元像の実時間撮像と実時間表示が可能であることを示した。開発した撮像装置を使って複素振幅インラインホログラムの高速記録を可能にした。

研究成果の概要（英文）：We have developed a holographic video camera using a high-power pulsed laser for real-time recording of complex-amplitude holograms. We have also developed a real-time 3-D display system by connecting the holographic video camera to our holographic display system. We have demonstrated real-time recording and reconstruction of moving 3-D images under room lighting. It is possible to record holograms under daylight using a high-power pulsed laser. Calculation time by a usual personal computer is shorter than 30 msec to generate one hologram from a recorded off-axis hologram. Frame rate of this display system is limited by the performance of camera-link image sensor.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２００９年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
２０１０年度	700,000	210,000	910,000
２０１１年度	700,000	210,000	910,000
２０１２年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総　計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：総合領域
科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース
キーワード：ヒューマンインターフェイス、バーチャルリアリティ、３次元画像表示

１．研究開始当初の背景

電子ホログラフィによる３次元ディスプ

レイはレーザが発明された当初から期待されていた。そのような期待の中で 1990 年に光学音響素子を用いたホログラフィ TV の研究が米国 MIT のグループによって着手されたが、実用化に繋がるような十分な成果は得られなかった。３次元ディスプレイの要求技術が高すぎて装置が大掛かりになってしまうことが、その主な原因であった。しかし、近年の表示デバイスや受光素子および光電子デバイスの急速な発展、コンピュータ処理能力の目覚しい進展および光通信の普及により、電子ホログラフィによる３次元ディスプレイが再度注目されつつあり、ディスプレイの開発を目指した研究も行われるようになった。1990 年代の始めから、日本の研究グループが中心になり、透過型 LCD パネルと単色レーザを用いた電子ホログラフィの実験が行われてきた。電子ホログラフィによるカラー動画像の再生は、反射型 LCD パネルと RGB レーザ光を用いて研究代表者のグループに数年前に実現された。

一方、CCD や CMOS のような光電子素子を用いて実物体３次元像をホログラムとして記録するデジタルホログラフィに関する研究が近年多く報告されるようになった。デジタルホログラフィによる物光波面の記録では、参照光位相をシフトして複数振幅ホログラムを記録する位相シフトホログラフィの技術が広く用いられている。しかし、複素振幅ホログラムの記録のためには３枚ないし４枚の位相シフトホログラムを逐次記録する必要があり、位相シフトホログラフィによる動く被写体の記録は困難である。動く３次元像を記録するためには複素振幅ホログラムをワンショット記録する方法を開発する必要があり、大きな課題となっていた。

２．研究の目的

(1)高出力パルスレーザ光源と高画素数動画記録装置を用い、ワンショットデジタルホログラフィの技術を使って、動く被写体の３次元像を実時間撮像する装置を開発する。

(2)実時間記録した動画ホログラムデータをホログラフィックディスプレイ装置に転送して３次元像の撮像と再生を行う、電子ホログラフィによる動く被写体の実時間３次元撮像・表示システムを開発する。

(3)分割記録した広視角動画像ホログラムを用い、動く被写体の３次元形状や変形、変位を高速精密測定する電子ホログラフィの技術を開発する。また、光学系の簡便さと定量性を活かした工業計測への応用を検討する。

３．研究の方法

(1)電子ホログラフィによる動く被写体の３次元像の実時間撮像

研究代表者は、３次元像をホログラムとしてワンショットで記録するワンショットデジタルホログラフィの技術を開発し、高画質３次元像の記録と再生に成功した。この技術を適用してパルスレーザを用いた実時間動画像記録を行う。

(2)電子ホログラフィによる動く被写体の実時間３次元撮像・表示システムを開発

実時間記録した動画ホログラムデータの計算処理とホログラフィックディスプレイ装置への同期転送を実現し、３次元動画像の実時間記録と実時間再生が可能な３次元撮像・表示システムを開発する。

(3)運動物体の撮像と表示の実験およびシステムの評価

３次元撮像・表示システム開発を完成させ、運動物体として高速回転する部品を実時間記録・再生する。また、光学実験の結果を使ってシステム性能評価を行う。

撮像・表示システムの性能評価を行うために運動物体を被写体にして光学実験を行い、表示結果を分析して再生画像の画質低下の原因を明らかにする。３次元像記録・再生の原理と達成可能な性能について理論的検討を行うと共に、数値計算による再生像と光学実験で得られた再生像を比較して記録システムおよび再生システムそれぞれの性能を評価する。

(4)３次元像実時間撮像の工業計測への応用

３次元像実時間撮像に適した産業応用として、動く被写体の３次元形状や変形、変位の非接触高速精密測定が挙げられる。実時間分割記録した大容量波面情報から数値計算により高分解能３次元画像の高速再生が可能になる。結像レンズを使用せずに広視角光波面情報を記録するので、生産工程にある製品や高速運転中の部品のような動く被写体の表面形状を瞬時記録できるコンパクトで構造の簡単な精密計測装置の開発が可能になると期待される。動く被写体として高速回転する部品を取り上げて被写体に対して広視角物体光波面の実時間分割記録を行い、数値計算による像再生を行って再生像の分解能や形状測定の精度を評価する。また、実験結果を基にして工業計測への応用の可能性について具体的に検討する。

４．研究成果

本研究では、パルスレーザとワンショットホログラフィを用いた３次元動画像の実時間

記録再生装置を提案した。提案手法の有効性を検証するため、３次元動画像の記録装置を開発した。さらに本記録装置を用いた光学実験を行い、室内照明下においてホログラフィによる３次元動画像の実時間記録と再生に成功した。

本研究の目的達成により、電子ホログラフィによる３次元 TV の実用化に向けた研究を大きく前進させることができる。また、光学系の簡便性と高速性かつ精密性を活かした工業計測やレンズレズ高分解能３次元顕微鏡などへの応用研究を進展させることができる。

(1) ワンショットホログラフィによる３D ビデオカメラ

参照光の位相を記録面上に分布させて物体光波面を 1 枚のホログラムとして記録した。CCD などの受光素子に平面波の参照光を斜め入射することにより、1 枚の記録ホログラムから位相の異なるホログラムを読み取ることが可能となった。

受光素子に対する参照光の位相周期 n を 3 に設定する場合には、異なる参照光位相のホログラムが 3 枚記録され、それぞれに対応する画素の干渉パターンは記録されないため補間により求められる。補間により求めた参照光位相の異なるインラインホログラムから、簡単な計算により実時間で複素振幅ホログラムを取り出すことが可能になった。

(2) ３次元像の実時間記録再生装置の開発

開発した実時間ホログラムの記録再生装置の構成図を図１に示す。運動物体のホログラムを実時間記録するため、ごく短時間に可干渉光を照射し、干渉パターンを記録する必要がある。そこで参照光と物体照明光の光源にパルスレーザを用いてホログラムの記録を行った。これにより物体が移動している場合のホログラムを記録することが可能になった。物体やカメラを固定する除振台などの撮影設備を必要とするが、同様の理由によりこれらの設備が不要となった。さらに高出力特性により露光開始時間をパルスレーザと同期することで，室内光などの照明下でのホログラムの撮影が可能となった。

(3) ３次元像の実時間記録再生実験

回転する物体を CCD 受光面から約 80cm の距離に置き、開発した３次元像実時間記録再生装置を用いて室内照明のもと記録再生を行った。ワンショット法における CCD 受光面上の参照光位相周期は３画素毎とし、データ補間にはバイキュービック法を用いた。レーザ光源としてパルスレーザと CCD カメラを用い、室内照明下における実時間記録再生を行った。再生用ホログラムの導出に要した時間は約 30msec であり、ワンショットホログラ

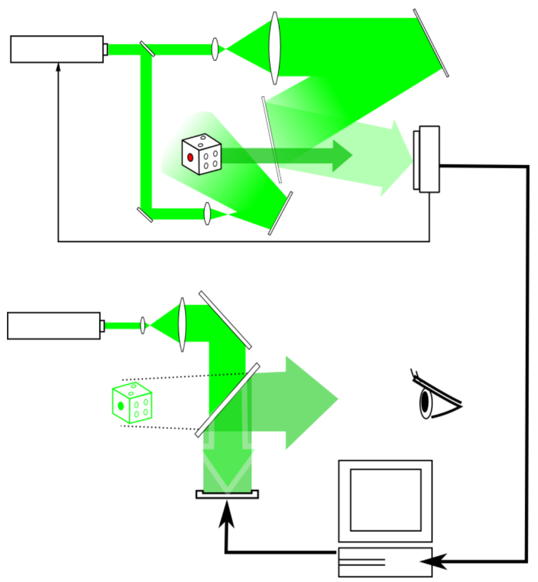

図１　実時間ホログラフィによる記録再生装置の構成

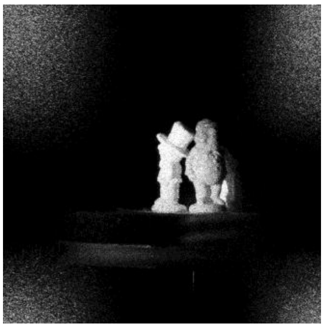

図２　複素振幅インラインホログラムから数値計算再生した画像

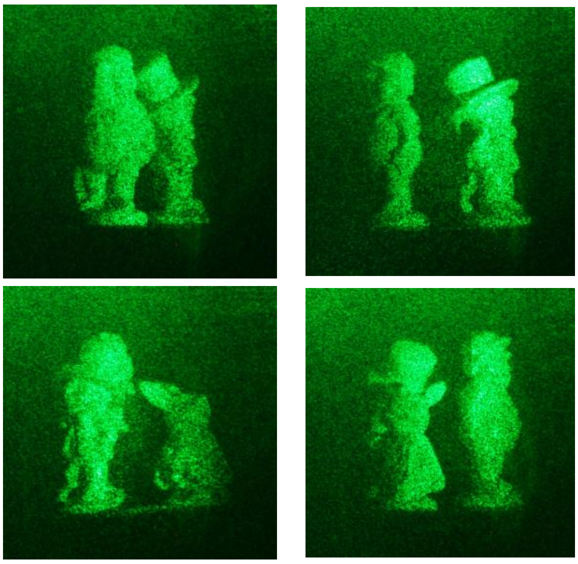

図３　実時間再生３次元像のスナップ写真

フィは実時間撮像表示を行う上で十分高速であることがわかる。

記録ホログラムから数値計算により再生した像を図２に示す。記録したホログラムでは直接光などの不要な成分が再生されているが、複素振幅ホログラムではこれらが除去され物体像だけを取り出されている。

図３にはホログラフィックディスプレイにより再生された３次元像のスナップ写真を示す。再生像から実時間記録再生が達成された。

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１１件）

[1] "Instantaneous shape measurement of moving surface with high accuracy by one-shot digital holography"
K. Sato, Y. Iwayama
Proc. of SPIE, **8281**, pp. 0K1-0K6 (2012)
[2] "Real-time recording and reconstruction of moving 3D images using electronic holography"
K. Furuichi, K. Sato
Proc. of SPIE (reviewed), **8281**, pp. 0L1-0L6 (2012)
[3] "Lensless holographic microscopy with high-resolving power for 4D measurement of micro-organism swimming in water"
M. Otani, K. Sato
Proc. of SPIE, **8227**, pp. 2901-2906 (2012)
[4] "Numerical Reconstruction of Hi-Resolution Microscopic Images for Lens-Less Holographic Microscopy"
K. Sato
International Journal of Intelligent Computing in Medical Sciences and Image Processing, **4**, pp. 77-86 (2012)
[5] "Lens-less holographic microscope with high resolving power and no-distortion"
K. Sato and O. Murata
Proc. of SPIE, **7904**, pp.011-018 (2011)
[6] "Instantaneous measurement of surface shape with high accuracy by one-shot digital holography"
Y. Iwayama and K. Sato
Proc. of SPIE, **7904**, pp. 081-088 (2011)
[7] "Lens-less holographic microscope with high resolving power"
K. Sato, O. Murata
Proc. of SPIE (reviewed), **7619**, pp. 0F1-0F9 (2010)
[8] "Single-shot digital holography applying spatial heterodyne method"
Y. Iwayama, K. Maejima, K. Sato
Proc. of SPIE (reviewed), **7619**, pp. 071-078 (2010)
[9] "Light-modulation characteristic of LCD panel and reconstruction of high-quality color 3-D images"
K. Sato,
Proc. of SPIE (reviewed), **7233**, pp. 0J1-0J9 (2009)
[10] "Development of one-shot color digital holography"
K. Maejima and K. Sato
Proc. of SPIE (reviewed), **7233**, pp. 0U1-0U8 (2009)
[11] "Lens-less holographic microscope with large visual depth"
O. Murata, H. Toge and K. Sato
Proc. of SPIE (reviewed), **7233**, pp. 0S1-0S8 (2009)

〔学会発表〕（計２６件）

[1] "Holographic microscope by one-shot digital holography"
M. Otani and K. Sato
OSA Optics & Photonics Congress (reviewed), ISBN978-1-55752-912-1, DTuC23 (2011)
[2]「室内照明下における運動物体３次元像の実時間撮像と実時間表示」
古市和稔，佐藤邦弘
３次元画像コンファレンス 2011 講演論文集（査読有），pp. 9−12（2011）
[3] "Color 3-D Display and Color 3-D Video Camera by Electronic Holography"
K. Sato,
The 11th International Meeting on Information Display, 10 Oct. 2011, Seoul, Korea (Invited)
[4] "Lens-less 4-D microscopy for measurement of moving microorganism by the one-shot digital holography"
K. Sato
International Workshop on Holography and Related Technologies 2011, 16 Nov., 2011, Utsunomiya Univ. (Tochigi), Japan (Invited)
[5]「媒質中高分解能３次元観察のためのレンズレスホログラフィック顕微鏡」大谷真由，佐藤邦弘
３次元画像コンファレンス 2011 講演論文集（査読有），pp. 58−61（2011）
[6] "One-Shot Digital Holography for Real-Time Recording of Moving Color 3-D Images"
K. Sato, K. Maejima
OSA Optics & Photonics Congress (reviewed), ISBN978-1-55752-887-2, DMA3 (2010)
[7]「広視野 3 次元動画像記録のためのワンショットディジタルホログラフィ」岩山義秀，前島康平，佐藤邦弘
３次元画像コンファレンス 2010 講演論文集（査読有），pp. 5−8（2010）
[8]「無歪高分解能ホログラフィック３次元顕微鏡の開発」
佐藤邦弘，村田修

３次元画像コンファレンス 2010 講演論文集（査読有），pp. 9-12（2010）
[9] “One-Shot Digital Holography for Real-Time Recording of Moving Color 3-D Images”
K. Maejima, K. Sato
OSA Optics & Photonics Congress (reviewed), ISBN978-1-55752-871-1, DMa2 (2009)
[10] “Recording of wide hologram for microscopic images with large depth using one CCD”
O. Murata, H. Toge, K. Sato
OSA Optics & Photonics Congress (reviewed), ISBN978-1-55752-871-1, DTuA5 (2009)
[11]「大深度高分解能３次元画像の記録と再生」
村田修， 峠裕之，佐藤邦弘
３次元画像コンファレンス 2009 講演論文集（査読有），pp. 77-80（2009）
[12]「一般化ワンショットディジタルホログラフィと制限帯域幅」
前島康平，佐藤邦弘
３次元画像コンファレンス 2009 講演論文集（査読有），pp. 81-84（2009）
[13]「電子ホログラフィによるカラー３D撮像とカラー３Dディスプレイ」
佐藤邦弘
超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム「ホログラフィー(1)表示技術」(2009 年 4 月 9 日，(財)テレコム先端技術研究支援センター) （招待講演）
その他 １３件

〔図書〕（計０件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計４件）

[1]名称：複素振幅インラインホログラムの生成方法および該方法を用いた画像記録装置
発明者：佐藤邦弘
権利者：兵庫県
種類：特許
番号：特願 2010-012425（国際出願 PCT/JP2010/073185）
出願年月日：２２年３月２６日
国内外の別：国内および米国、欧州

[2]名称：微小被写体のホログラム画像記録方法、高分解能画像再生用ホログラム作成方法、画像再生方法、およびホログラフィック顕微鏡
発明者：佐藤邦弘
権利者：兵庫県
種類：特許
番号：特願 2010-155024（国際出願 PCT/JP2011/065531）
出願年月日：２２年７月７日
国内外の別：国内および米国、欧州

[3]名称：３次元形状計測方法および３次元形状計測装置
発明者：佐藤邦弘
権利者：兵庫県
種類：特許
番号：特願 2011-010842（国際出願 PCT/JP2011/065531）
出願年月日：２３年１月２１日
国内外の別：国内および米国、欧州

[4]名称：ホログラフィック断層顕微鏡、ホログラフィック断層画像生成方法、およびホログラフィック断層画像用のデータ取得方法
発明者：佐藤邦弘
権利者：兵庫県
種類：特許
番号：特願 2012-223690
出願年月日：２４年１０月５日
国内外の別：国内

○取得状況（計１件）

[1]名称：GENERATION METHOD FOR COMPLEX AMPLITUDE IN-LINE HOLOGRAM AND IMAGE RECORDING DEVICE USING SAID SAID METHOD
発明者：Kunihiro Sato
権利者：Hyogo Prefectural Goverment
種類：United States Patent
番号：US 8,416,669 B2
取得年月日：Apr. 9, 2013
国内外の別：国外（米国）

〔その他〕
ホームページ等
なし

６．研究組織
(1)研究代表者
佐藤 邦弘（SATO KUNIHIRO）
兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40167432

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし