

## 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5月24日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22680008

研究課題名（和文） CIVI方式3次元テレビジョンシステムの構築と遠隔操作への応用

研究課題名（英文） 3D Television System Based on CIVI and Its Application to Remote Control

研究代表者

掛谷 英紀 (KAKEYA HIDEKI)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：70334050

研究成果の概要（和文）：多視点表示とボリューム表示を組み合わせた CIVI 方式のディスプレイ表示系およびカメラ撮像系のそれぞれの改良・新規構築を行い、それらを結びつけて遠隔操作に応用できるテストベッドを構築した。表示系については、表示像の正確な歪み補正の実現、GPU 計算による描画の高速化、偽像の抑制方法の開発、多層構造で発生するモアレや粗いレンズで生じる不連続な運動視差の問題の解決、偏心レンズの利用による解像度の向上などの成果が得られた。撮像系については、RGB-D カメラ（Kinect センサ）を用いて多視点ボリューム像表示に必要な情報を取得する方法を提案し、表示系と組み合わせた実装を行った。

研究成果の概要（英文）： We have made a test bed system for remote control by combining refined display technology with newly proposed camera system for CIVI, which consists of multiview and volumetric technologies. As for the display technology we have developed a software that realizes precise correction of image distortion, a fast rendering algorithm for CIVI using GPU, hardware improvement to suppress pseudo image, a hardware solution to the emergence of moire due to multilayer structure and the discontinuous motion parallax due to coarse lens array structure, and hardware improvement to improve resolution by using decentered lens array. As for the camera system, we have proposed a method to use an RGB-D camera (Kinect sensor) to show multiview volumetric image and have realized total system combined with the CIVI display.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2012年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	9,400,000	2,820,000	12,220,000

研究分野：メディア工学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ユーザーインターフェース、ディスプレイ

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当時、映画業界では、ウォルト・ディズニー社制作の「ボルト」をはじめ、3D映画が続々公開となっていた。また、3D

コンテンツの充実をうけ、ソニーがゲーム機（PS3）、テレビ、パソコンを3D対応にする計画、パナソニックが3D対応のBlu-rayプレーヤとプラズマテレビを市場投

入する計画を相次いで発表、デジタルカメラ市場でも、富士フィルムが2眼の3Dデジカメを発売し話題となっていた。

このように、主にエンターテインメント業界で立体映像がブームとなっていたが、これらの製品に目新しいテクノロジーは含まれていない。どの要素技術も、学術的には十年以上前に確立しているものである。であるから、これまで高解像度化、薄型化などで従来製品との差別化を図ってきたAV家電業界において、その延長線上での差別化が難しくなったため、既存の3D技術を用いた差別化を模索し始めたものと見るができる。

もちろん、ここ十数年の間に、3次元映像技術の学術的進展は数多くあった。立体ディスプレイ研究において、立体視特有の目の疲労や酔いの原因となる輻輳調節矛盾の解決は、最も重要な課題の一つと位置づけられてきたが、この課題については、ここ十年余りの間に研究が大きく進展している。その一つが、通信・放送機構（現在の情報通信研究機構）や東京農工大学で研究されてきた超多眼式・高密度指向性ディスプレイ方式である。これらの方式は、瞳孔より狭い間隔で画像が切り替わる多視点（多眼）立体視により目の焦点調節を刺激し、輻輳調節矛盾を解消するものである。ただし、両方式とも上下方向の視差が提示できない、対応するリアルタイム撮像系の構築が難しいという問題がある。一方、リアルタイムの撮像・表示が実現可能な立体映像技術として知られていたのが、レンズアレイ（フライアイレンズ）を用いるインテグラルイメジング方式で、NHKの放送技研や東京大学が研究に取り組んでいる。この方式は上下方向の視差提示も可能であるが、逆に輻輳調節矛盾の解消はできないという問題がある。

インテグラルイメジングにおいて輻輳調節矛盾を解消する方法として、申請者は多層に積層されたパネルにレンズアレイを重ね合わせ、多視点式と体積表示方式を組み合わせるCIVI方式（粗インテグラルボリュームイメジング方式）を提案していた。この方式では、レンズアレイを構成する個々のレンズにより体積像の実像／虚像が生成され、さらに視点位置によって観察される体積像が切り替わる。これにより、従来の体積表示方式では不可能であったオクルージョンや光沢面の効果を表現することが可能となる。また、体積表示を用いているため、輻輳調節矛盾も大幅に低減される。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、正確な奥行き知覚を要するタスクを遠隔操作で実現するための3次元テレビジョンシステム構築である。従来の2眼式立体テレビジョンは、両眼視差のみを

提示するため、輻輳調節矛盾（両眼輻輳角と目の焦点調節の間に生じる矛盾）が発生する、運動視差が再現されないなどの問題があり、物理的遠隔作業を可能にするほどの正確な奥行き感提示は提示できない。本研究では、輻輳調節矛盾の解消と上下左右方向の運動視差提示を同時に実現するCIVI方式3次元ディスプレイ上に、実写・実時間の3次元映像提示を可能にするカメラシステムを新たに開発し、実現した3次元テレビジョンシステムの遠隔操作への応用可能性を検証する。

## 3. 研究の方法

(2010年度)

凹レンズアレイを用いた多視点映像取得光学系に、パッシブな奥行き推定手法を組み合わせた撮像系のプロトタイプを構築し、そこで取得した情報をCIVI上に表示させることで、輻輳調節矛盾と視差のずれがない3次元映像の提示が可能になるかを検証する。

複数のカメラを使ったステレオマッチングや、異なる奥行きにフォーカスされた映像群の情報から奥行きを推定するパッシブな方法は、撮影環境の自由度は高いが、原理的にテクスチャが少ない箇所については奥行き推定が正しくできない。そのため、この方法で取得したボリュームデータは非常にノイジーになり、取得した情報をそのまま3次元ディスプレイに受け渡しても、まともな立体像は提示できないという問題があった。

ところが、CIVIに3次元映像表示を行う場合、必ずしも全ての画素の奥行きが正しく把握されている必要はない。単純な体積表示を行う場合、不正確な奥行き推定は、焦点情報の再現と視差情報の再現の両方に悪影響を及ぼす。しかし、多視点表示を組み合わせているCIVIの場合、視差情報は多視点映像取得によって再現できるため、奥行き情報は焦点調節を再現するためだけに使われることになる。よって、焦点調節の手がかりとなるテクスチャがない場所については、正確な奥行きを取得できなくても、それが提示する立体像の質に大きな悪影響を及ぼさないと予想されるので、それを検証する。

(2011年度)

表示系についてはレンズの改良による画質の向上を図る。また、そのディスプレイに対して実写映像を提示するためのカメラシステムの構築を進める。

CIVIの表示系には、現在ハーフミラー合成による足し算型のシステムと、多層液晶パネルによる引き算型のシステムがある。これらを使ってのボリューム表現において、適切な奥行きへの焦点調節を誘導するための画像提示法は異なると予想される。パッシブ

な奥行き推定の実装に加え、それぞれのシステムに対応した画像提示法の確立を行う。

(2012年度)

前年度まで異なる奥行きにフォーカスされた映像群の情報から奥行きを推定する方法、および複数のカメラを使ったステレオマッチングで奥行きを推定する方法について研究を行ったが、前者については、撮像レンズ系の収差が強いため、十分な奥行き推定が実現できないことが確認された。後者については、計算のリアルタイム化が課題となっており、その課題解決を試みる。

さらに、上記の方法以外に、最近普及したKinect センサでも奥行き推定が可能なので、Kinect センサとマルチカメラを組み合わせた撮像でCIVI への立体像表示を実現する方法についても研究する。Kinect センサはアクティブなセンサなので、より精度の高い奥行き推定を期待できる利点がある。

表示系の改良としては、これまでの運動視差提示をより滑らかにする方法、装置を小型化する方法などの改良を継続して、より高画質の表示を実現することを目指す予定である。

最後に、以上に予定している成果を結びつけて、簡単な遠隔操作タスクに応用する実験を試みる。

#### 4. 研究成果

(2010年度)

粗インテグラルボリュームイメージング(CIVI)方式のディスプレイの画質の向上と描画速度の向上を実現した。具体的には、偽像の除去、歪み補正の高精度化、色収差の補正、GPU計算による補正計算の高速化を実現した。これらは全て、遠隔操作時においてより高精度の操作を可能にするために必要不可欠な要素となる。また、CIVI方式のように輻輳調節矛盾を解決する立体提示法において、奥行き知覚精度が向上することも確かめた。

さらに、表示装置を薄型にするために、多層パネルを積層する方式における輝度向上手法も確立した。具体的には、モノクロ多層パネルの間の偏光板を外し、最前面と最背面のみに偏光板を配置しつつ、ボリューム表現を行う手法を確立し、提示画像のモアレの低減と輝度向上を実現した。

テレビジョン実現のための撮像系については、粗インテグラルボリュームイメージング方式の前段階となる、粗インテグラルイメージング方式(CII)に対応するカメラシステムを実現した。撮像系は、従来知られている凹レンズアレイによるものをベースにしているが、CII方式の場合、粗なレンズで発生する像の歪みを補正する必要がある。そこで、レ

ンズによる像歪みを光学シミュレータで計算し、それに応じた逆歪みの画像をテクスチャマッピングの技術を用いてリアルタイムに生成するシステムを構築した。さらに、撮像系と表示系の歪みを同時に考慮し、トータルで表示系での歪みが補正される方式を開発し、その実装を行った。

以上の成果により、CIVI方式で実写のリアルタイムテレビジョンシステムを構築するための基礎的な準備が整った。

(2011年)

CIVI テレビジョンシステムのうち、表示系については以下の3つの成果があった。1つ目の成果は、薄型CIVI装置において、パネル重畳により発生するモアレを低減するとともに輝度向上を実現したことである。具体的には、モノクロパネルの積層においてパネル間の偏光板を取り除いた構成をとり、その光学系で正しい立体像が観察可能な描画方法を確立した。2つ目の成果は、像面生成位置付近に目が細かく要素レンズの焦点距離の長いフライアイレンズを挿入する構成の提案である。これにより、モアレの除去と滑らかな運動視差提示が実現された。3つ目の成果は、レンズアレイの要素レンズとして偏心レンズを用いる方法の提案である。従来のCIVIにおいては、パネルの解像度を高めない限り、多視点画像の視点数と提示画像の解像度の間にあるトレードオフを解消することができなかった。要素レンズに偏心レンズを用いることで、より広面積のパネルから歪みのない要素画像を取り込むことが可能となり、ベゼル幅を大きくすれば、視点数(運動視差の滑らかさおよび視野角の広さに寄与)を犠牲にせず提示画像を高解像度化することが可能となった。

撮像系については、フォーカスによる奥行き推定とステレオマッチングによる奥行き推定について研究を行った。前者については、提案した構成では、レンズの歪みが大きすぎることで、正確な奥行き推定ができないことが分かった。後者については、シミュレーションレベルでその有効性を確認し、表示系と組み合わせて自然な立体像を提示できることを確認した。

(2012年)

多視点表示とボリューム表示を組み合わせたCIVI方式のディスプレイ表示系およびカメラ撮像系のそれぞれについて、従来技術の改良を行った。

表示系については、レンズの継ぎ目を目立たなくするための特殊なレンズ設計とその実装を行った。具体的には、要素レンズの境界部分に、フレネルレンズの溝を交互に掘ったレンズを入れることで、要素レンズ間の滑

らかな接続を実現した。また、コンパクト型のシステムでパネルを多層化するとき生じるモアレの解消方法として、新たに多層パネル前面に凸レンズアレイを挿入する方法を提案した。前年度に実現した目の細かい長焦点フライアイレンズを用いてのモアレ除去方法では、装置が大きくなる、提示像が若干ぼけるという問題点があったが、新たに提案した手法ではこれらの問題が解決された。

撮像系については、RGB-D カメラ (Kinect センサ) を用いて多視点ボリューム像表示に必要な情報を取得する方法を提案し、表示系と組み合わせた実装を行った。実機による評価実験の結果、ボリューム表示を組み合わせない単純な多視点表示システムに比べて、観察者により正確な奥行き感を提示できることを確認し、遠隔操作システムにおいて提案方式が効果的に機能しうることを示した。また、マルチカメラによる多視点ボリューム像取得方法としては、提示する画像生成に必要な計算を実時間で高速に実現する方法を提案し、シミュレーションレベルで実装した。GPU 計算による並列化でリアルタイム処理が可能であることを確認した。

#### 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 5 件)

- ① Sawada, S. and Takeya, H. (2012): Integral volumetric imaging using decentered elemental lenses, Optics Express, Vol. 20, Issue 23, pp. 25902-25913, 査読有.  
10.1364/OE.20.025902
- ② Sawada, S. and Takeya, H. (2012): Coarse Integral Volumetric Imaging with Flat Screen and Wide Viewing Angle, Journal of Electronic Imaging, Vol. 21, 0110004, 査読有.  
10.1117/1.JEI.21.1.011004
- ③ Takeya, H., Sawada, S., Ueda, Y. and Kurokawa, T. (2012): Integral volumetric imaging with dual layer fly-eye lenses, Optics Express, Vol. 20, Issue 3, pp.1963-1968, 査読有.  
10.1364/OE.20.001963
- ④ Takeya, H. (2011): Realization of undistorted volumetric multiview image with multilayered integral imaging, Optics Express, Vol. 19, Issue 21, pp.20395-20404, 査読有.  
10.1364/OE.19.020395

- ⑤ 間野裕一郎, 掛谷英紀 (2011): シリンドーレンズを用いた輻輳調節矛盾の低減による奥行き知覚精度の向上, 映像情報メディア学会論文誌, 65, 84-90, 査読有.  
10.3169/itej.65.84

[学会発表] (計 15 件)

- ① 石井康友, 掛谷英紀 (2012): Kinect を利用した多視点体積表示型 3 次元ディスプレイ上での実写表示, 映像情報メディア学会冬季大会, 2012 年 12 月 19 日, 東京理科大学.
- ② 厳政, 掛谷英紀 (2012): 粗インテグラルイメージングによる自動車運転の視覚インタフェースの改良, 映像情報メディア学会冬季大会, 2012 年 12 月 19 日, 東京理科大学.
- ③ Ueda, Y. and Takeya, H. (2012): Reduction of Moiré in Multilayer Integral Imaging Display, IDW 2012, 2012 年 12 月 4 日~7 日, 京都国際会館.
- ④ Sawada, S. and Takeya, H. (2012): Fast Rendering of Integral Volumetric Imaging Using GPU, 3DSA 2012, 2012 年 6 月 25 日~27 日, Lakeshore Hotel, Hsinchu, Taiwan.
- ⑤ Ueda, Y. and Takeya, H. (2012): Influence of Additional Fine Fly-eye Lens on Focusing Distance, 3DSA 2012, 2012 年 6 月 25 日~27 日, Lakeshore Hotel, Hsinchu, Taiwan.
- ⑥ Sawada, S. and Takeya, H. (2012): Integral volumetric imaging with high resolution and smooth motion parallax, SPIE EI 8288, 2012 年 1 月 22 日~26, Hyatt Regency San Francisco Airport Hotel Burlingame, California, USA.
- ⑦ 厳政, 掛谷英紀 (2011): 粗インテグラルイメージングによる自動車運転の視覚インタフェース, 映像情報メディア学会冬季大会, 2011 年 12 月 22 日, 芝浦工業大学.
- ⑧ 植田侑樹男, 掛谷英紀 (2011): 長焦点フライアイレンズによる多視点立体像の平滑化, 映像情報メディア学会冬季大会, 2011 年 12 月 22 日, 芝浦工業大学.
- ⑨ 澤田進平, 掛谷英紀 (2011): 粗インテグラルボリューム表示の高解像度化, 映像情報メディア学会冬季大会, 2011 年 12 月 22 日, 芝浦工業大学.
- ⑩ 中尾篤夫, 掛谷英紀 (2011): 粗インテグラルイメージング法における撮像システムの構築, 3 次元画像コンファレンス 2011, 2011 年 7 月 13 日, 京都工芸繊維大学.

- ⑪ Ueda, Y. and Takeya, H. (2011): Multilayered Integral Imaging with Improved Image Clarity, SID ' 11, 2011年5月15日～20日, Los Angeles, USA.
- ⑫ Takeya, H. and Sawada, S. (2011): Realization of precise depth perception with coarse integral volumetric imaging, SPIE DSS 8043, 2011年4月25日～29日, Orlando World Center Marriott Resort & Convention Center Orlando, Florida, USA.
- ⑬ Kurokawa, T. and Takeya, H. (2011): Coarse integral imaging without pseudo image, SPIE EI 7863, 2011年1月25日, Hyatt Regency Hotel, San Francisco Airport, California, USA
- ⑭ Sawada, S. and Takeya, H. (2011): Coarse integral volumetric imaging with flat screen and wide viewing angle, SPIE EI 7863, 2011年1月25日, Hyatt Regency Hotel, San Francisco Airport, California, USA.
- ⑮ Kodaira, H., Nakao, A., Mano, Y. and Takeya, H. (2010): Distortion correction of coarse integral volumetric imaging with large lens, 3DSA 2010, 2010年5月21日, General Academy Center, Tokyo.

[産業財産権]

○出願状況 (計4件)

名称：立体画像表示装置  
 発明者：掛谷英紀 澤田進平  
 権利者：筑波大学  
 種類：特許  
 番号：特願 2011-219527  
 出願年月日：2011年10月3日  
 国内外の別：国内

名称：立体画像表示装置  
 発明者：掛谷英紀 澤田進平  
 権利者：筑波大学  
 種類：特許  
 番号：特願 2011-218909  
 出願年月日：2011年10月3日  
 国内外の別：国内

名称：立体画像表示装置  
 発明者：掛谷英紀  
 権利者：筑波大学  
 種類：特許  
 番号：特願 2011-20650  
 出願年月日：2011年2月2日  
 国内外の別：国内

名称：3次元画像の表示装置  
 発明者：掛谷英紀  
 権利者：筑波大学  
 種類：特許  
 番号：特願 2010-155228  
 出願年月日：2010年7月7日  
 国内外の別：国内

○取得状況 (計0件)

[その他]  
 ホームページ等  
<http://vmlab.kz.tsukuba.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

掛谷 英紀 (KAKEYA HIDEKI)  
 筑波大学・システム情報系・准教授  
 研究者番号：70334050