

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：62615

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700224

研究課題名(和文) 焦点ぼけ構造に基づく多次元映像情報の高能率圧縮表現に関する研究

研究課題名(英文) A study on efficient light field compression using multi-focus images

研究代表者

児玉 和也 (KODAMA, Kazuya)

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授

研究者番号：80321579

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：次世代の立体映像メディアでは、多数の撮像機器を縦横に配置し空間を飛び交う光線そのものを記録することが考えられているが、このような光線情報は一般に多次元の構造を持ち、そのデータ量は膨大である。そこで本研究では、光線情報をより低次元の焦点ぼけ画像群を介し極めて高能率に圧縮する手法を提案した。従来の視差補償を用いた符号化で画像内容の復元が急激に困難となる1/1000を超える圧縮率においても30dB以上の有意な復元品質を実現した。トップカンファレンス、トップジャーナルを含め国内外でその成果を報告し、複数の優秀論文賞も受け、現在の静的な光線空間から時間軸を加えた動的なものへの今後の拡張も期待されている。

研究成果の概要(英文)：For advanced three-dimensional visual media, arrays of multiple cameras are used to capture light fields from scenes. However, such multi-dimensional light fields are composed of enormous data. In this research, a method for efficient light field compression is proposed using three-dimensional multi-focus images synthesized from four-dimensional light fields. The method gains good quality over 30dB even when the compression ratio is 1/1000, where the conventional method using disparity compensation suffers from awful degradation of reconstructed images. The research papers received two Best Paper Awards and have been published in the top conferences and journals of image processing. The proposed method will be extended to deal with not only light fields composed of multi-view images but also light field video.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：映像メディア 画像符号化 3次元画像

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) 研究着手の際の背景として、立体感のあるいわゆる3次元テレビ(TV)や、視聴者が自由に視点を変更できる自由視点TVさらには、レンズに入射する光線を分解、再構成して焦点ぼけや動きぼけが自在に操作できるカメラ等に対し、学術分野のみならず国内外の産業界も含め、大きな注目が集まりつつある状況があった。このような自由度の高い映像メディアを実現するにあたっては、多眼画像や光線空間等といった、通常の2次元の画像に対し視点位置の2次元等の自由度が加わった非常に大きな情報量を取り扱う必要が生じる。このため、これら多次元の映像メディアに対する圧縮手法の研究が当初から既に10年以上に渡って長らく続けられており、上述の注目の高まりもあって、標準化と並行しつつ、ますます盛んとなっていた。しかし中でも、実際には取得が難しい対象シーンの奥行きマップを既知とした圧縮手法が熱心に研究され始めていた流れを鑑みれば、4次元の光線空間等の持つ冗長性を効率良く取り扱うには、やはり3次元の対象シーンの構造を反映した本質的な手法が求められている、ということは明確であった。奥行きマップを既知としないながらも、そのように本質的で高能率な圧縮が緊近の課題となっていたのである。
- (2) 研究代表者は、レンズ面を通過してきた光線群の情報を、焦点合わせを変化させながら撮像した画像群から再構成する手法に関し、いち早く検討を進めていた。すなわち、レンズ系の特性で定まる畳み込みフィルタにより、このような焦点ぼけ画像群と対象シーンの3次元情報が結びつけられることを明らかにし、レンズ面上に仮想的に設定したピンホールを通過した光線群のみを周波数領域上で自在に取り出す手法を示していたのである。当初から既に、Computer Visionの分野でもMITのDurandらが、研究代表者の文献も引用しつつ同構造を用いたセンシング技術の検討に着手していた。いわば3次元情報である焦点ぼけ画像群によって4次元の光線空間を極めて効率的に表現できることは、上記のようなセンシングのみならず、その圧縮について本質的に有効な信号処理技術になるものと十分に期待された。実際、焦点ぼけ構造に基づく本手法は奥行きマップを前提としないにも関わらず対象シーンの3次元情報をよく反映しており、1.(1)で述べた多次元映像の高能率圧縮へ求められ始めていた要件からも、とくに適切な技術と考えられたのである。

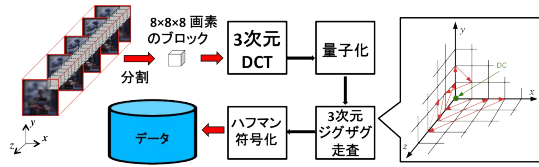
## 2. 研究の目的

- (1) 前述のとおり研究代表者の従来の成果から、焦点ぼけ画像群から多眼画像や光線空間が近似的に復元できることは既知であり、よってこれを用いて逆に、これら4次元の多次元映像情報から3次元の焦点ぼけ構造への効率の良い圧縮が期待できる。さらに、焦点ぼけ画像群は低周波成分中心に構成され、光線空間と比較して圧縮が格段に容易である。以上より、本研究課題では、焦点ぼけ構造を介した光線空間の高能率な圧縮手法を明らかにすることを目的とする。とくに具体的にはまず、焦点ぼけ画像群はJPEG/MPEG等の既存技術でも容易に圧縮できるが、周波数成分が特定の領域に集中することに注目し、3次元DCT等の活用も含め適切な圧縮手法を詳細に検討する。これに基づき、焦点ぼけ画像群からの光線空間再構成における残差の処理とあわせ、焦点ぼけ構造を介した光線空間の最適な圧縮手法を示す。
- (2) 2.(1)の圧縮処理の枠組は、視点位置が水平、垂直の2次元の自由度を持つ場合の光線空間から、焦点ぼけ画像群が容易に合成可能であることに基づいているが、例えば簡単な例として、視点位置が水平方向にのみ異なる多眼画像等の圧縮も重要な課題である。また、いずれにせよ多くの撮像機器を用いる場合、その一部の情報が故障等により欠損している前提も考慮せねばならない。これらに対しても、実際に用いた撮像機器に対応する成分にのみ広がるぼけを持つ画像群を合成し同様の流れで効率の良い圧縮、復元を実現する、柔軟な一般化が可能であることを示す。

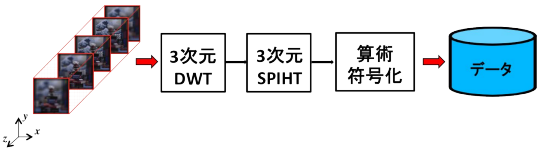
## 3. 研究の方法

- (1) はじめに、多次元映像情報の圧縮という本研究課題の基盤となる、焦点ぼけ画像群の効率の良い圧縮方式の検討を詳細に行う。研究代表者の既存の成果により、焦点ぼけ画像群から多眼画像や光線空間がほぼ再構成できることは既知であるので、この圧縮方式の性能の向上が、光線空間の高能率圧縮には必須である。まず、研究協力者とともにJPEG/MPEGといった既存の静止画、動画の圧縮方式を単純に適用した場合の結果を検証し、良好な再構成品質を実現するための圧縮時の条件等を整理する。続いてこれに基づき、焦点ぼけ画像群を3次元情報とみなしたとき、周波数成分が特定の領域に集中するという本質的な性質に着目し、具体的には図1のとおり3次元DCTや3次元wavelet変換を活用したより効率的

な圧縮手法を明らかにする。



(a) 3次元 DCT 基づく圧縮



(b) 3次元 wavelet 変換に基づく圧縮

図 1. 焦点ぼけ画像群の圧縮

(2) 3.(1)で明らかにした焦点ぼけ画像群の圧縮に関する成果をもとに、まず図 2 のように、焦点ぼけ構造を介した光線空間の高エネルギー圧縮手法の枠組を示す。具体的には、焦点ぼけ画像群からの光線空間の再構成は近似的なものであるから、その残差信号についても MPEG 等の知見から適切な圧縮手法を検討する。3.(1)の成果にこれを組み合わせることで、研究課題の中心である焦点ぼけ構造を介した光線空間の高エネルギー圧縮手法を明らかにする。さらに、水平配置の多眼画像や、一部が撮影機器の故障などにより欠損した多眼画像等の一般の多次元映像情報への適用を可能とする柔軟な拡張と体系化を行う。すなわち、図 2 の焦点ぼけ画像群の合成において、取得成分のみに限定された特殊な焦点ぼけ形状を与えた場合においても、多次元映像の再構成を安定に実現する手法を検討する。

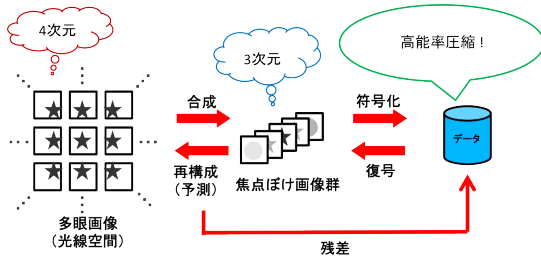


図 2. 光線空間の高エネルギー圧縮の枠組

(3) 以上で提案した多次元映像情報の圧縮符号化方式に対するさらなる実証的検討として、実際に自由視点環境等のリアルタイムの映像システムを想定し、再構成処理側的高速化に取り組む。具体的には、焦点ぼけ画像群中に圧縮された光線空間から、任意の視点に対応する画像を対象に依存しない線形結合として表現する手法を明らかにする。

#### 4. 研究成果

(1) まず、光線空間から合成した焦点ぼけ画像群に対しては図 1(b)の wavelet 変換符号化が、再構成時のブロックノイズの伝播抑制により、画像品質の向上に有効であることを明らかにした。これに基づく図 2 の圧縮の枠組により、次元削減のみならず情報量の大きな鮮鋭領域が多眼画像と異なり焦点ぼけ画像群中では合焦位置にのみ集中することで本質的な冗長性の削減が達成され、図 3 のとおり従来法では画像内容の復元が急激に困難となる 1/1000 を超える圧縮率においても 30dB 以上の有意な復元品質を実現した。実際、MPEG2 の単なる適用はもちろん、多眼画像を前提に視差補償を組み込んだ手法でも、図 4 のような不規則に変動するブロックノイズによる品質低下のため、高圧縮時の自由視点環境等での連続的な鑑賞は大きく制限された。これに対し提案法では、現在の静的な光線空間だけでなく、時間軸も加えた動的なものへの拡張も今後、十分に展開できるだけの品質を有することが確認された。

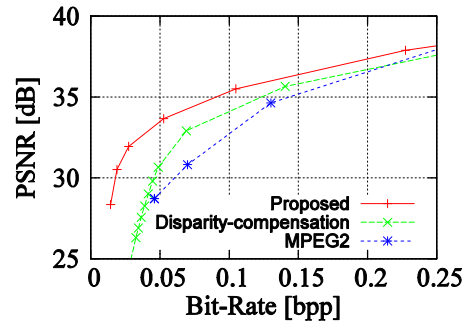
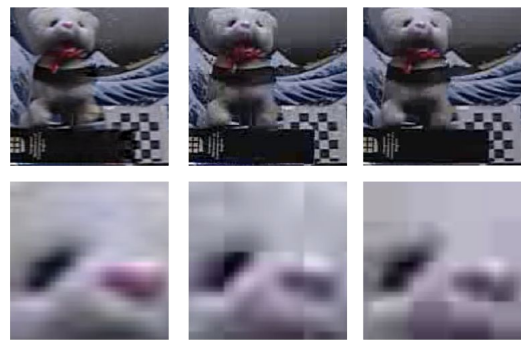


図 3. 圧縮性能の比較



0.022bpp(1091:1) 0.039bpp(615:1) 0.046bpp(522:1)

提案法 視差補償 MPEG2

図 4. 圧縮画像の比較

(2) 本研究課題の中心となる 4.(1)の成果に関し、IEEE 主催の ICIP、VCIP など画像符号化のトップカンファレンスでいち早く報告を実現、また、国内で 30 年近く JPEG/MPEG といった基盤技術の発展を担ってきた画像符号化シンポジウム (PCSJ)での発表は優秀論文賞(約 100 件

中上位 2 件)として高く評価された。さらに、入力系から表示系、応用系に至るまでを対象とした立体映像メディアに関する分野横断的な会議である 3 次元画像コンファレンスでの発表も優秀論文賞を受賞しており、当該メディアを支える先端技術として符号化分野に留まらない総合的な期待を受けている。

- (3) 要素技術の高速化として、焦点ぼけ画像群からの多次元映像情報再構成を、撮影対象や画像内容に全く依存しない線形フィルタで構成することに成功し、その成果は画像処理の世界的トップジャーナル IEEE Trans. Image Processing に掲載された。また、取り組んだ提案手法の様々な多眼画像への一般化についても、既に 4.(2)同様に ICIP 等に採択されはじめており、今後とも国内外で継続的に成果を展開していく。

#### 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 2 件)

Efficient Reconstruction of All-in-Focus Images Through Shifted Pinholes from Multi-Focus Images for Dense Light Field Synthesis and Rendering, Kazuya Kodama and Akira Kubota, IEEE Transactions on Image Processing, 22(11) 4407-4421 2013 年 11 月, 査読有  
(DOI: 10.1109/TIP.2013.2273668)

焦点ぼけ構造を介した光線空間圧縮の基礎検討, 坂元 敬, 児玉 和也, 浜本 隆之, 電子情報通信学会論文誌 J95-D(9) 1678-1681 2012 年 9 月, 査読有

[学会発表](計 15 件)

Linear View/Image Restoration for Dense Light Fields, Kazuya KODAMA and Akira KUBOTA, IEEE 2014 International Conference on Image Processing (ICIP 2014), 2014 年 10 月, France (Accepted)

Free viewpoint image reconstruction by using linear filters for multi-focus images on FPGA, Yusuke Minato, Kazuya Kodama, and Takayuki Hamamoto, International Conference on Three Dimensional Systems and Applications 2013 (3DSA 2013), 1-6, 2013 年 6 月 28 日, Japan

A STUDY ON EFFICIENT COMPRESSION OF MULTI-FOCUS IMAGES FOR DENSE LIGHT-FIELD RECONSTRUCTION, Takashi SAKAMOTO, Kazuya KODAMA, and Takayuki HAMAMOTO, IEEE Visual Communications and Image Processing 2012 (VCIP 2012), FP.150 1-6, 2012 年 11 月 30 日, USA

焦点ぼけ画像群を介した光線空間圧縮における 3 次元 SPIHT の適用, 坂元 敬, 児玉 和也, 浜本 隆之, 画像符号化シンポジウム(PCSJ2012), P-3.02 39-40, 2012 年 10 月 25 日, 日本  
(優秀論文賞 受賞)

A NOVEL SCHEME FOR 4-D LIGHT-FIELD COMPRESSION BASED ON 3-D REPRESENTATION BY MULTI-FOCUS IMAGES, Takashi SAKAMOTO, Kazuya KODAMA, and Takayuki HAMAMOTO, IEEE 2012 International Conference on Image Processing (ICIP 2012), 2901-2904, 2012 年 10 月 3 日, USA

Effective Global Prediction for Dense Light-Field Compression by Using Synthesized Multi-focus Images, Takashi SAKAMOTO, Kazuya KODAMA, and Takayuki HAMAMOTO, ACM The 39th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2012), Posters No.53, 2012 年 8 月 7 日, USA

焦点ぼけ画像群における周波数の偏りを考慮した光線空間の高エネルギー圧縮の検討, 坂元 敬, 児玉 和也, 浜本 隆之, 3 次元画像コンファレンス 2011, 126-129, 2011 年 7 月 15 日, 日本  
(優秀論文賞 受賞)

[その他]

焦点ぼけ画像群を介した光線空間情報の高エネルギー圧縮, 児玉 和也, 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF)「超臨場感立体映像技術に関する調査WG セミナー 3 立体映像の最新画像・信号処理技術」, 2013 年 1 月 31 日

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

児玉 和也 (KODAMA, Kazuya)

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授

研究者番号: 8 0 3 2 1 5 7 9