

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03261

研究課題名(和文) 新しい圧縮原理に基づく超高効率ライトフィールド符号化

研究課題名(英文) High efficiency light field coding based on a new compression principle

研究代表者

藤井 俊彰 (Fujii, Toshiaki)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：30273262

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：ライトフィールド(LF)の高效率圧縮法として、従来の画像符号化で用いられてきた「予測符号化、変換符号化」とは全く異なる原理の開拓を試みた。まず、符号化開口カメラによるLFの取得法を検討し、深層学習(DNN)を用いて動的なLFデータの取得に成功した。次に、LFを数枚のレイヤパターンから生成可能なレイヤ型3次元ディスプレイについて検討し、高解像度モノクロレイヤの利用による品質の向上や、CNNの学習を用いた視域の外挿を実現した。これらの知見により、少ない枚数の中間表現においてLFの本質的情報が含まれていることを確認し、LFの高效率圧縮に向けた基盤技術を確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年のVR/ARの社会的認知度の向上に伴い、ライトフィールド(LF)を取得するカメラやLFディスプレイが脚光を浴びている。本研究は、LFカメラやLFディスプレイが通信や放送に利用される際に必須となるLFの情報圧縮技術の高性能化に貢献するものである。従来は、HEVCやVVCなどの2次元映像符号化方式のLF 3次元映像への拡張が検討されていた。本研究は、全く別の文脈で研究されていた「圧縮取得」や「圧縮表示」の考え方を応用し、従来の画像符号化の基本原則である予測符号化・変換符号化とは全く異なる新しい符号化方式の創出が可能であることを示し、さらなる高圧縮化が達成可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：High efficiency light field (LF) coding schemes have been investigated that are based on different principal from conventional predictive coding and transform coding. First, we studied LF acquisition using coded-aperture camera and succeeded to acquire dynamic LF data with DNN-based learning network. We also investigated layer-type 3D displays, which enable us to generate LFs from only a few layer patterns. We improved the quality of the generated LFs using high resolution monochrome layers, and also achieved extrapolation of views through CNN-based learning network. We confirmed through these experiments that such representations as coded-aperture pattern and layer-pattern include essential information about LF. These findings give an important insight to develop high efficiency LF coding schemes in the future.

研究分野：3次元画像通信

キーワード：光線空間 ライトフィールド 情報圧縮 テンソルディスプレイ 符号化開口カメラ

## 1. 研究開始当初の背景

ライトフィールド(光線空間)とは、3次元空間の「見え」の情報を光線情報として表現するものである。ライトフィールド情報を1ショットで取得できる Light Field Camera が商用化され、また3次元ディスプレイやヘッドマウントディスプレイへの応用などが次々と発表されたことから、世界的に注目を集めている。ライトフィールドは、光線が基準平面を通過する位置のパラメータ(x, y), 方向のパラメータ(u, v), 時間 t を用いて  $L(x, y, u, v; t)$  の5次元関数として表現できる。より具体的には、あるシーンを (u, v) 方向から撮影した多視点動画像  $L(x, y; t)$  の集まりを考え、これを一般的に記述したものとみなせる。この定義から分かるように、ライトフィールドの情報量は通常の2次元映像の (u, v) の方向数倍の情報量となり、数十倍から数千倍にも上る。4K や 8K といった高解像度映像が一般的に用いられるようになってきた現在、そのさらに数桁上の情報量となるライトフィールド情報の蓄積・伝送を行うためには、非常に効率的に圧縮する技術の開発が不可欠となる。

ライトフィールドの圧縮手法としては、従来の映像符号化を拡張した方式が現在の研究の主流である。映像符号化においては、上記の動画像  $L(x, y; t)$  に対する効率的な圧縮手法が数多く研究されてきた。特に、時間軸 t 方向に対して画素値の相関を用いる「予測符号化」と、空間軸 (x, y) 方向に対して直交変換領域でのエネルギーの偏りを利用した「変換符号化」の2つの技術が基幹技術として用いられてきた。最新の国際標準動画像符号化方式である HEVC (High Efficiency Video Coding) においても、空間軸方向にも予測符号化を導入したといった工夫はあるものの、基本的には前述の2つの原理を踏襲したものとなっている。一方の視点軸方向 (u, v) の圧縮方式としては、視点間の「予測」を行う方式が古くから研究されており、視差補償予測方式と呼ばれている。また、近年では物体の奥行き情報を推定もしくは計測して映像情報と奥行き情報の形に表現しておき、これを圧縮する view+depth 方式が研究されている。これは、異なる視点間の視差を奥行き情報で表現したものとみなすことができ、広義の視差補償予測符号化方式に分類できる。すなわち、ライトフィールドの圧縮はさまざまな形で研究が進められているものの、基本的には「予測符号化」「変換符号化」の2つの原理に基づくものとなっていた。

## 2. 研究の目的

このような背景のもと、ライトフィールドの高効率な圧縮手法の検討として、国際標準符号化方式(HEVC等)の原理として採用されている従来の「予測符号化」「変換符号化」に立脚した圧縮符号化方式の延長ではなく、全く異なる原理に基づく手法を開拓し、従来法の拡張では達成し得ない、極めて高効率のライトフィールド圧縮手法の確立を目的とする。

この目標達成に対する重要な示唆を与える2つの技術に着目する。一つ目がライトフィールドの圧縮取得である。これは、「圧縮センシング」をライトフィールド取得に応用したものであり、光線の透過率を画素ごとに制御できる符号化マスクを撮像デバイスの前に置き、マスクパターンを変化させながら複数枚の観測画像を得て、信号のスパース性を利用してL1ノルム最小化により原信号を復元する手法である。全光線数の数分の一から数十分の一程度の観測値から元のライトフィールドを再構成できるとされている。二つ目はテンソルディスプレイである。テンソルディスプレイとは、バックライトの前に透過型液晶ディスプレイを複数配置した構造を持つものであり、観察方向により光線が通過するレイヤの画素位置が異なることを利用し、所望の光線空間が再生できるような各レイヤの画素透過率を最適化により逆計算して求めるものである。数枚の2次元レイヤパターンのみからライトフィールドを再現できることから、Compressive Displayとも呼ばれている。

本研究では、上記の圧縮取得・圧縮表示の研究を情報圧縮の観点から再検討することにより、ライトフィールドが持つ本質的情報を解明し、その知見に基づく新しい圧縮原理を開拓する。従来の映像符号化が持っていた空間軸方向や視点軸方向といった概念をなくして、 $L(x, y, u, v; t)$  の5次元データが持つ真の情報量を解明し、「ライトフィールド情報理論」という新しい情報理論を創出する。その理論から導出される新しいライトフィールド圧縮原理を確立し、予測符号化、変換符号化とその新しい圧縮原理を統合することにより、超高効率のライトフィールド圧縮符号化方式を開拓することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### 1. ライトフィールドの圧縮取得の研究:

圧縮取得における基底の選択や圧縮表示におけるレイヤパターンの階数など、既存の圧縮取得・表示手法の各種パラメータと再構成結果との関係を詳細に研究する。開口パターンを工夫することで取得の性能向上や動的なライトフィールドの取得を目指す。

2. ライトフィールドの圧縮表示の研究:  
圧縮表示における各種パラメータと再構成結果との関係を詳細に研究する. 表示解像度の向上や視域の拡大といった, 情報量を増やさずにライトフィールドの再構成品質の向上を目指す.
3. 新しい圧縮原理の開拓と符号化方式の開発:  
5次元ライトフィールドを超高効率で圧縮符号化する手法を開拓し, 性能評価を行って有効性を示す.

実験室内3次元シーンを対象に, 圧縮取得・表示手法における圧縮データと, 予測符号化・変換符号化により圧縮符号化されたデータとをエントロピーの観点から詳細に検討し, ライトフィールドの本質的情報に迫る.最後に, ライトフィールド情報を超高効率で圧縮符号化するための新しい原理を創出する.予測符号化・変換符号化に加えてこの新たな原理を統合していくことにより, まったく新しい原理に基づく圧縮符号化方式の開拓へと発展させていく.

#### 4. 研究成果

##### (1) 符号化開口カメラを用いた動的な光線空間の取得[2]

符号化開口カメラとCNNを用いた動的な光線空間の取得に取り組んだ.提案手法では, 静的光線空間の取得を前提としていた稲垣ら[1]の手法を拡張し, ネットワーク構造と学習データを工夫し, 高品質な動的な光線空間の撮影を実現した.実験では, 撮影に使用する開口パターンの数, 復元に使用する撮影画像の枚数, ネットワークの学習に使用するデータの種類により分類し, 性能を比較した.撮影時刻を  $T = \{t-1, t, t+1\}$  として, 同一の開口パターン A で  $t-1, t+1$  で撮影された画像と別の開口パターン B で  $t$  の時点で撮影された画像 3 枚の撮影画像から光線空間を復元する復元に使用する 3 枚の画像の軌跡が V 字型になるため, この手法を V-shape と呼ぶ.

ネットワークの構成例を図1に示す.この図は, 光線空間が  $25(5 \times 5)$  視点で構成されており, また,  $T = \{t-1, t, t+1\}$  の場合の例である.ネットワークは2次元畳み込み層のみで構成した.学習に使用する静的および動的データについて述べる.光線空間の視点数は,  $25(5 \times 5)$  視点, および  $64(8 \times 8)$  視点とし, 動的な光線空間については従来の時間軸を含まない光線空間のデータから位置を変えながら小領域を切り抜くことで, 仮想的な動的な光線空間データを作成した.

実際の符号化開口カメラを用いて  $5 \times 5$  視点の動的な光線空間の取得を行った.ハードウェア上の制約により, 撮影画像の時間解像度は約 12 fps となり, 復元動画は約 6fps となった.カメラと被写体の関係, 撮影に用いたカメラを図2に示す.被写体は, 電動のターンテーブルに載せて回転させた.復元した光線空間の左上視点の画像と EPI を図2(下)に示す.被写体の動きを想定していない手法では物体境界が歪み, また視差の表現も不正確なものとなっている一方, 提案手法である 3-D(V-shape)を用いた場合, 動的な光線空間を高品質に復元することができた.

シミュレーション実験による定量的評価と, 実際の符号化開口カメラを用いた実写実験による定性的評価により, 提案手法の有効性を確認した.

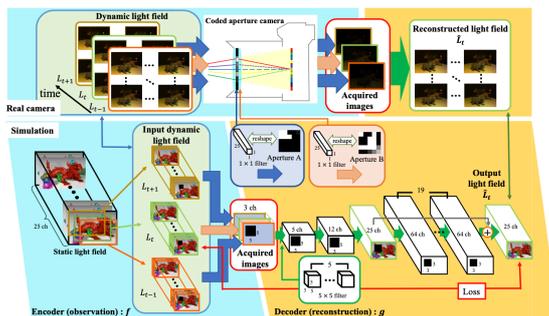


図1: ネットワークの構成例

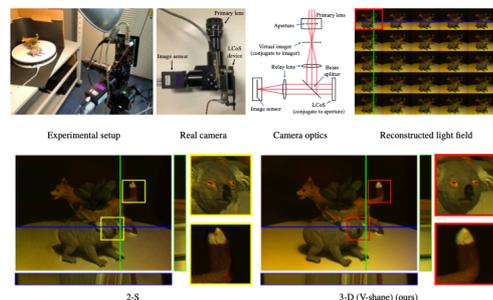


図2: 実験装置と復元された動的な光線空間

##### (2) レイヤ型3次元ディスプレイの高解像度化と広視域化[3]

レイヤ型光線空間ディスプレイとは, 裸眼で立体視が可能なディスプレイである.このディスプレイは, バックライトの前に液晶パネルが数枚積層された構造になっている.この構造のため, 観察する方向に応じて光線の通る画素位置が変化し, 視点に依存した映像(多視点画像)を表示することが可能である.このディスプレイでコンテンツを表示するには, それに合わせて各液晶パネルに表示する画像(レイヤパターン)を求める必要がある.本研究においては, モノクロレイヤ

を用いてデバイスの解像度を上げることなく高解像度化を実現した点と、少ない視点数の多視点画像から、より広範囲の視点を外挿して表現できるようにレイヤパターンの最適化を行った研究について述べる。

モノクロレイヤを用いたレイヤ型ディスプレイの高角度分解能化の手法を提案し、角度分解能を水平方向に3倍にした。表示される画像の画素サイズは、(a)のカラー画素1つ(サブピクセル3つ)と同じ大きさとした。レイヤの枚数を2枚とし、計算手法には解析的手法であるNTFを用い、更新回数は50回とした。図3の左に示すのは、表示される多視点画像であり、(a)では3×3視点、(b)、(c)では3×9視点である。(b)、(c)ともに、(a)と比べて角度分解能を水平方向に3倍に向上できる。求めたレイヤパターンから再構成された多視点画像の一部を図3の右に示す。(c)では、レイヤ型ディスプレイの1枚のレイヤがモノクロでも、オリジナルの色を再現しつつ、角度分解能を向上することができた。3×9視点のすべての色空間を合わせた復元品質(すべての視点に対する平均値)参考文献は、(b)では34.67dB、(c)では、34.00dBであった。また、この実験では、回折の影響を考慮していないが、(b)、(c)ともに実際はこれよりボケてしまうと考えられる。

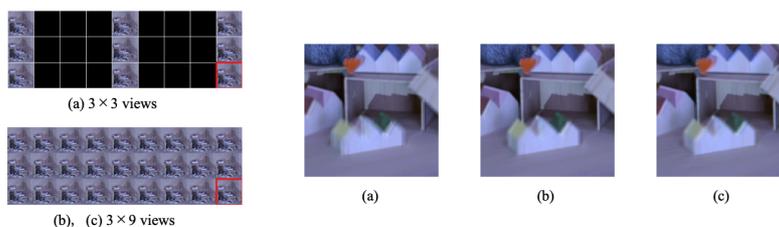


図3: 多視点画像と再生画像

広視域化の研究では、入力多視点画像の視点数を再構成画像の視点数より少なくする。CNNを学習する段階においては、表示したい視点数の多視点画像(例えば9×9視点)を用意し、そのうちの中央の視点群(中央の5×5視点)を抽出し、これをCNNの入力とする。CNNの出力をレイヤパターンとし、レイヤパターンからディスプレイの表示モデルに従って表示したい視点数分の多視点画像を再構成する。抽出を行う前の多視点画像と再構成画像との平均二乗誤差をネットワークの損失関数とする。これにより、入力に用いなかった視点が再構成時に外挿して生成されるようにCNNを学習する。

解析的手法(Analytical)、従来のCNN手法(PreviousCNN)、および提案手法(ExtrapolationCNN)を比較した。入力する多視点画像の視点数を5×5、再構成される多視点画像の視点数を9×9とした。ディスプレイの表示品質向上のため、3フレームの時分割多重を導入し、またレイヤパターンの自由度をあげるために、入力画像を定数倍暗くした。CNNのネットワーク構造と学習条件は従来法とほぼ同様である。ネットワークの損失関数は、PreviousCNNでは5×5視点、ExtrapolationCNNでは9×9視点の多視点画像の平均二乗誤差を用いた。視点を外挿補間するようにCNNを構築することによって、少ない視点数の入力から広い視域での表示が可能となるようにレイヤ型ディスプレイを最適化できた。

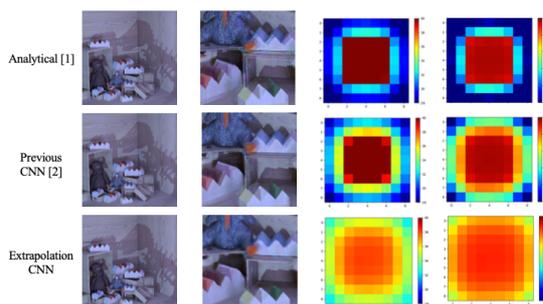


図4: 多視点画像の視域外挿の実験結果

### (3) フレーム順の最適化と基底画像を用いた光線空間の映像符号化[4]

基底生成とフレーム順の最適化を用いた映像符号化に基づく光線空間の圧縮手法を提案した。提案手法は初めに元々の光線空間情報を基底画像に凝縮し、得られた基底画像を映像符号化器で圧縮しやすくするために時系列に滑らかなフレーム順に並べ替えて符号化する。まず基底画像を時系列として滑らかな順序に並べ替えHEVCで符号化する。復号時には、復号されたフレーム画像を元の光線空間に逆変換する。最初と最後の変換はニューラルネットワークを用いてモデル化され、対象の光線空間データセットごと最適化される。フレーム順の並べ替えはLF-TSPを用いて行われる。具体的には、フレーム順最適化問題は巡回セールスマン問題として定式化され、

Greedy 法と 2-opt 法を組み合わせで解かれる。フレーム順は画像の内容ごとに最適化される。最後の変換を表すパラメータは HEVC によって符号化されたビットストリームとともに受信側に送信される。実験では、他の HEVC を基にした光線空間符号化手法と比較を行った結果、提案手法が最もレート歪み性能が高いことを確認した。近年のディープニューラルネットワークの普及に伴って、映像を符号化するための学習ベースの手法は多くの関心を集めている。しかし、これらの手法は未だに洗練された映像符号化器の性能を超えられていない。一方で、提案手法は任意の映像符号化器を組み込むことができる。したがって、適切に設計された映像符号化器の優れたレート歪み性能とニューラルネットワークによってもたらされるデータ駆動型最適化の両方の恩恵を受けることができる。具体的には、基底画像を符号化するために高度に洗練された映像符号化器と、光線空間画像と基底画像の間の変換を最適化するためにニューラルネットワークを用いる。実験には、縦横  $15 \times 15$  視点、 $625 \times 434$  画素、グレースケールの多視点画像 Bikes から大きく劣化している角周辺の視点を取り除いた 193 視点を用いた。基底画像の数  $N$  は 193, 128, 64, 32 に設定した。映像符号化に HEVC 参照ソフトウェアである HM16.2 を用いた。提案手法は Raster と比較して平均で 25.34% のレートを削減し、最も良い性能を達成した。実験結果から、基底画像の生成が有効であり、先行研究と比較して提案手法の性能が優れていたことが分かった。

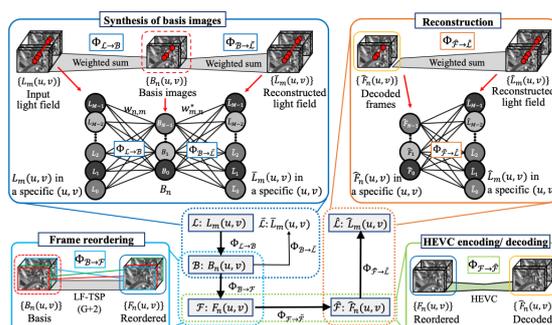


図 5: 処理の流れ

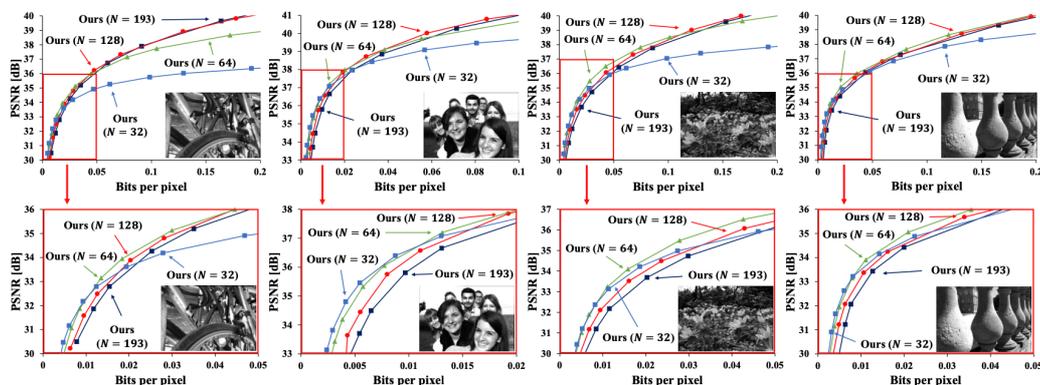


図 6: 符号化実験結果

<引用文献>

- [1] Y. Inagaki, Y. Kobayashi, K. Takahashi, T. Fujii, and H. Nagahara, “Learning to capture light fields through a coded aperture camera,” European Conference on Computer Vision, pp.418–434, Springer, 2018.
- [2] K. Takahashi, T. Fujii, H. Nagahara, “Acquiring Dynamic Light Fields through Coded Aperture Camera,” European Conference on Computer Vision (ECCV) 2020, pp. 368-385 (Jan. 2021).
- [3] K. Matsuura, K. Takahashi, T. Fujii, “Enhancing Angular Resolution of Layered Light-Field Display by Using Monochrome Layers,” Stereoscopic Displays and Applications XXXII, IS&T International Symposium on Electronic Imaging, (Jan. 2021).
- [4] 今枝 滉太, 高橋 桂太, 藤井 俊彰: “基底画像と映像符号化手法を用いた光線空間の符号化,” 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020) online (2020年11月).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Kota Imaeda, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Yukihiko Bandoh, Seishi Takamura, Hideaki Kimata	4. 巻 Vol. 9(1)
2. 論文標題 HEVC-based Light-field Coding using Basis Images and Frame Reordering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 86--94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.9.86	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 Kohei Sakai, Yasutaka Inagaki, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Hajime Nagahara	4. 巻 Vol. 9(1)
2. 論文標題 CFA Handling and Quality Analysis for Compressive Light Field Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 25--32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.9.25	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 Koichiro Yamanaka, Ryutaroh Matsumoto, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 Vol. 8
2. 論文標題 Adversarial Patch Attacks on Monocular Depth Estimation Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 179094--179104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3027372	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 Bahram Javidi, Artur Carnicer, Jun Arai, Toshiaki Fujii, Hong Hua, Hongen Liao, Manuel Martínez-Corral, Filiberto Pla, Adrian Stern, Laura Waller, Qiong-Hua Wang, Gordon Wetzstein, Masahiro Yamaguchi, and Hirotsugu Yamamoto	4. 巻 Vol. 28(22)
2. 論文標題 Roadmap on 3D integral imaging: sensing, processing, and display	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 OPTICS EXPRESS	6. 最初と最後の頁 32266-32293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.402193	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 該当する

1. 著者名 Keita Maruyama, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 8
2. 論文標題 Comparison of Layer Operations and Optimization Methods for Light Field Display	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 38767-38775
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.2975209	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 Kohei Isechi, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 Vol.8, No.1
2. 論文標題 "Disparity Compensation Framework for Light-Field Coding Using Weighted Binary Patterns	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 40-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.8.40	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 Shu Fujita, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 Vol.E103-A, No. 01
2. 論文標題 Good Group Sparsity Prior for Light Field Interpolation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 346-355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2018EAP1175	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 Koji Komatsu, Kohei Isechi, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 Vol E102-D, No. 11
2. 論文標題 Light Field Coding Using Weighted Binary Images	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2110-2119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2019PCP0001	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 -

1. 著者名 Shu Fujita Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 Vol. E102-D, No.4
2. 論文標題 Multi-View Image Extraction from a Light Field Camera Considering Its Physical Pixel Arrangement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 702-714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2018AWI0004	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 -

1. 著者名 Kohei Isechi, Yuto Kobayashi, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 Vol.9, No. 2
2. 論文標題 Light Field Compression for Compressive 3D Display	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Machine Learning and Computing	6. 最初と最後の頁 208-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 K. Isechi, Y. Kobayashi, K. Takahashi, T. Fujii	4. 巻 9
2. 論文標題 Light Field Compression for Compressive 3D Display	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Machine Learning and Computing	6. 最初と最後の頁 208-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 S. Fujita, K. Takahashi, T. Fujii	4. 巻 E102-D
2. 論文標題 High-Quality Multi-View Image Extraction from a Light Field Camera Considering Its Physical Pixel Arrangement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transaction on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 702-714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2018AWI0004	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 -

1. 著者名 石川彰夫, 奥井誠人, 山本健詞, 井ノ上直己, 寺谷メヒルダ, 高橋桂太, 藤井俊彰	4. 巻 72
2. 論文標題 多視点映像伝送システム「REI」へのSECOND-MVD手法の実装と評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会論文誌	6. 最初と最後の頁 J174-J182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/itej.72.J174	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 K. Takahashi, Y. Kobayashi, T. Fujii	4. 巻 27
2. 論文標題 From Focal Stack to Tensor Light-Field Display	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	6. 最初と最後の頁 4571-4584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIP.2018.2839263	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 -

1. 著者名 Y. Kobayashi, K. Takahashi, T. Fujii	4. 巻 57
2. 論文標題 Using high-resolution binary layers and a low-resolution multibit backlight for a layered light-field display	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 061607-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.OE.57.6.061607	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54件(うち招待講演 7件/うち国際学会 24件)

1. 発表者名 Kotaro Matsuura, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Enhancing Angular Resolution of Layered Light-Field Display by Using Monochrome Layers
3. 学会等名 Stereoscopic Displays and Applications XXXII, IS&T International Symposium on Electronic Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fumitaka Tateiwa, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Learning to Synthesize Dense Focal Stack and All-in-Focus Images from Sparse Focal Stack
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology 2021 (IWAIT 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aki Kunieda, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Comparing Pixel Predictors for Lossless Image Coding
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology 2021 (IWAIT 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Sakai, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Hajime Nagahara
2. 発表標題 Acquiring Dynamic Light Fields through Coded Aperture Camera
3. 学会等名 European Conference on Computer Vision (ECCV) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉江 孝士, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 単眼深度推定を用いた自由視点映像生成の基礎検討
3. 学会等名 電気学会東海支部若手セミナー「IoTのための情報通信と信号処理」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國枝 滉, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 符号化順の異なる深層予測器を用いた可逆画像符号化の性能比較
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井 俊彰
2. 発表標題 3次元画像符号化技術の動向と展望
3. 学会等名 画像電子学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井 俊彰
2. 発表標題 ライトフィールドイメージング
3. 学会等名 日本光学会年次大会OPJ2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山中 幸一郎, 松本 隆太郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 単眼深度推定に対する攻撃
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立岩 史孝, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 CNNを用いたフォーカルスタックの補間と全焦点画像の合成
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國枝 滉, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 可逆画像符号化における深層予測器の比較
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松浦 孝太郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 CNNを用いたレイヤ型光線空間ディスプレイの視域拡張
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂井 康平, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 回転型符号化開口法による動的光線空間の撮影
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩附 大誠, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 微分可能なステレオマッチングの光線空間への応用
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今枝 滉太, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 基底画像と映像符号化手法を用いた光線空間の符号化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山中 幸一郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰, 松本 隆太郎
2. 発表標題 単眼深度推定 CNN とオプティカルフロー推定 CNN に対する同時攻撃
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立石 航平, 坂井 康平, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 符号化露光法を用いた光線空間の取得
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三上 裕, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 オートエンコーダの過学習に基づく新たな画像符号化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム(PCSJ2020・IMPS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松浦 孝太郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 非負値テンソル因子分解と CNN を組み合わせたレイヤ型3次元ディスプレイの最適化
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三上 裕, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 オートエンコーダの過学習に基づく画像の圧縮符号化に関する基礎検討
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立石 航平, 高橋 桂太, 藤井 俊彰, 長原 一
2. 発表標題 符号化開口と焦点変更による光線空間の取得
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂井 康平, 高橋 桂太, 藤井 俊彰, 長原 一
2. 発表標題 符号化開口カメラを用いた光線空間撮影の高フレームレート化
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩附 大誠, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 光線空間からの教師なし視差推定
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山中 幸一郎, 松本 隆太郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 単眼深度推定CNNに対する攻撃
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立岩 史孝, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 CNN を用いたフォーカスタック補間における開口パターンの最適化
3. 学会等名 3次元画像コンファレンス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松浦 孝太郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 モノクロレイヤを用いたレイヤ型3次元ディスプレイの高角度分解能化
3. 学会等名 3次元画像コンファレンス
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kota Imaeda, Kohei Isechi, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Yukihiro Bandoh, Takehito Miyazawa, Seishi Takamura, Atsushi Shimizu
2. 発表標題 LF-TSP: Traveling salesman problem for HEVC-based light-field coding
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Inagaki, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Light Field Acquisition from Focal Stack via a Deep CNN
3. 学会等名 International Display Workshop (IDW19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Maruyama, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Munekazu Date, Hideaki Kimata
2. 発表標題 Comparative Study on Layered Light-Field Displays and Optimization Methods
3. 学会等名 International Display Workshop (IDW19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keita Maruyama, Yasutaka Inagaki, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Hajime Nagahara
2. 発表標題 A 3-D Display Pipeline from Coded-Aperture Camera to Tensor Light-Field Display through CNN
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Inagaki, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Hajime Nagahara
2. 発表標題 Learning-Based Framework for Capturing Light Fields through a Coded Aperture Camera
3. 学会等名 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiaki Fujii
2. 発表標題 3D Visual Communications
3. 学会等名 9th International Conference on Electronics, Communications and Networks (CECNet2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiaki Fujii
2. 発表標題 3D Visual Communications: from Capture to Display
3. 学会等名 The 11th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今枝 滉太, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 オートエンコーダを用いた光線空間圧縮に適した潜在表現の生成
3. 学会等名 画像 符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山敬太, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 演算特性や最適化手法が異なるレイヤ型ディスプレイの比較
3. 学会等名 画像符号 化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 安隆, 高橋 桂太, 藤井 俊彰, 長原一
2. 発表標題 CFAを考慮した符号化開口法による光線空間取得
3. 学会等名 画像符号 化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊瀬知 洸平, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 適応的な視差補償を含めた二値画像の荷重和による光線空間符号化
3. 学会等名 画像符号 化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今枝 滉太, 伊瀬 知洸平, 稲垣 安隆, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 HEVC を用いた光線空間圧縮のフレーム順の最適化における色空間の違いによる性能評価
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山 敬太, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 レイヤ型ディスプレイの演算特性や最適化手法の違いによる光線空間の再現性能の比較
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山 敬太, 高橋 桂太, 藤井 俊彰, 伊達 宗和, 木全 英明
2. 発表標題 レイヤ型3次元ディスプレイにおける演算特性の違いによる光線空間の再現性能の比較
3. 学会等名 3次元画像コンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今枝 滉太, 伊瀬 知洸平, 高橋 桂太, 藤井 俊彰, 坂東 幸浩, 宮澤 健人, 高村 誠之, 清水 淳
2. 発表標題 HEVCを用いた光線空間符号化への巡回セールスマン問題の適用と性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Irene Viola, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Touradj Ebrahimi
2. 発表標題 A comprehensive framework for visual quality assessment of light field tensor displays
3. 学会等名 Electronic Imaging 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiaki Fujii
2. 発表標題 3D Image Processing - from Capture to Display -;
3. 学会等名 SPIE Electronic Imaging (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiaki Fujii
2. 発表標題 3D Image Processing Based on Machine Learning
3. 学会等名 IDW 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Koji Komatsu, Keita Takahashi and Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Multi-View Image Coding Using Disparity-Compensated and Weighted Binary Patterns
3. 学会等名 The 2019 Joint International Workshop on Advanced Image Technology and International Forum on Medical Imaging in Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shu Fujita, Sho Mikawa, Mehrdad Panahpourtehrani, Keita Takahashi and Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Extracting Multi-View Images from Multi-Focused Plenoptic Camera"
3. 学会等名 The 2019 Joint International Workshop on Advanced Image Technology and International Forum on Medical Imaging in Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mehrdad Teratani, Shu Fujita, Wehzhe Ouyang, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 3D Imaging System Using Multi-Focus Plenoptic Camera and Tensor Display
3. 学会等名 2018 International Conference on 3D Immersion (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Wenzhe Ouyang, Shu Fujita, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 A Pipeline from Raytrix to Tensor Display
3. 学会等名 2018 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Keita Maruyama, Hiromichi Kojima, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Implementation of Table-Top Light Field Display with Stacked Layers
3. 学会等名 International Display Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Koji Komatsu, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Scalable Light Field Coding Using Weighted Binary Images
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Gou Houben, Shu Fujita, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Fast and Robust Disparity Estimation for Noisy Light Fields
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Shu Fujita, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 How Should We Handle 4D Light Fields with CNNs?
3. 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Yasutaka Inagaki, Yuto Kobayashi, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii, Hajime Nagahara
2. 発表標題 Learning to Capture Light Fields through a Coded Aperture Camera
3. 学会等名 European Conference on Computer Vision (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Kohei Isechi, Yuto Kobayashi, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii
2. 発表標題 Light Field Compression for Compressive 3D Display
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Computer and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高木康博 監修 (共著)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 S&T出版	5. 総ページ数 360
3. 書名 空間立体表示とユーザインタフェース	

〔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
研究分担者	高橋 桂太  (Takahashi Keita)  (30447437)	名古屋大学・工学研究科・准教授   (13901)	
研究分担者	寺谷 メヘルダド  (Teratani Mehrdad)  (70554830)	名古屋大学・工学研究科・特任准教授   (13901)	削除：2019年12月18日

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
---------	---------

スイス	EPFL			
-----	------	--	--	--