

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：57101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00257

研究課題名(和文) スパース表現を用いた多視点ライトフィールド画像の実時間符号化に関する研究

研究課題名(英文) Real time multi-view light field image coding using sparse representation

研究代表者

黒木 祥光 (Kuroki, Yoshimitsu)

久留米工業高等専門学校・制御情報工学科・教授

研究者番号：60290847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：多視点ライトフィールド画像の実時間符号化に関する研究を行った。このカメラ自身、多視点画像を一度に取得できる。国際標準の枠組みと異なる分散圧縮符号化の採用で目標を達成した。画像に低ランクのランダム行列を乗じるだけで符号化され、復号化側で信号のスパース性を前提とした推定処理を行う。符号化側の省電力化を実現し、クラウド環境にあるサーバで復号処理を行うため、IoTの実現に大きく寄与する。スパース表現の辞書を凸最適化問題として定式化し、視差予測にTV-L1の採用により、再生画像の高品質化と高速化を同時に実現することができた。多視点画像のエピポーラ幾何における基礎行列の高精度推定なども実現できた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop real time encoding of multi-view images captured by light field cameras. This camera itself can capture multi-view images. By employing the distributed sparse coding framework, which is different from international standards, we achieve the purpose. The encoder of this framework is very simple: the encoder just multiplies given images by a low-rank random matrix. The decoder estimates the original images on the assumption of the images' sparseness. This framework decreases energy consumption of encoders, and powerful server machines on "cloud" decode the images. Then, this scheme contributes to IoT environment. This research designs the sparse dictionaries as a convex optimization problem, and improves reconstructed image quality and efficiency by applying TV-L1 for disparity prediction. This work also developed accurate estimation of the fundamental matrix of the epipolar geometry.

研究分野：画像符号化

キーワード：ライトフィールド画像 分散圧縮符号化 多視点画像処理 信号のスパース表現 凸最適化問題

1. 研究開始当初の背景

複数のカメラで同時に同一物体を撮影する多視点動画は、単に人間が娯楽として観る、いわゆる TV としての役割のみならず、美術品や工芸品などのアーカイブ、制御工学における視覚サーボ、物体の動作解析、など幅広い分野で利用されている。使用するカメラ数が増加するほど、デジタル化された動画のデータ量は必然的に増加するため、高効率に圧縮する必要がある。最新の動画符号化標準 HEVC (High Efficiency Video Coding) の 3D 拡張では、多視点動画に各視点での距離画像が加わっており、符号化の際は動画の時間的冗長性、フレーム内画素間の空間的冗長性、異なる視点間の冗長性に加え、距離画像と実画像の関連性を用いて情報量を削減している。

研究代表者は、信号のスパース表現を多視点動画の符号化に適用して符号化効率を向上させるとともに、GPU (Graphics Processing Unit) を用いた並列化により、処理時間の高速化を行ってきた。信号のスパース表現は近年最も盛んに研究されている分野であり、与えられた信号をできるだけ少数のベクトルの線形結合で近似することを目的とし、その応用分野は顔画像の認識など多岐にわたる。また、多視点画像間におけるエピポーラ幾何の知見を活用し、視点間の冗長性を削減する方法として、基礎行列の高精度な推定法などについて研究してきた。基礎行列の推定は、特徴点の抽出と、多視点間でのそれらの対応関係を求める必要がある。特徴点は一般に着目画素の近傍とガウス関数との畳込み、およびそれに続くハイパスフィルタによるエッジ検出で求められる。このガウス関数の標準偏差がスケールパラメータと呼ばれ、特徴点に焦点が合っていれば、カメラと撮影物の距離やズームイン・ズームアウトで生じる画像の大きさの違いはスケールパラメータの変化によって吸収される。上記研究にて実験に使用した画像は MPEG のテスト画像や一般に公開されている試験データであるが、実際に画像を撮影する場合、カメラによって絞り値やシャッタースピード、焦点距離など異なるのが一般である。従って、視点間で焦点距離が異なる場合、同一物体を撮影しても映像のボケがスケールパラメータに影響を及ぼすため、正確な対応点を求めることは困難である。この問題を解決する方法として、ライトフィールドカメラの適用について検討した。その理由は以下のとおりである。

ライトフィールドカメラは主レンズと撮像素子の間にマイクロレンズと呼ばれる小型のレンズを多数有しており、マイクロレンズの位置と、そのマイクロレンズに入射する光が通過する主レンズ上の位置の関係を知らずにより、多視点画像を同時に取得することが出来る。つまり、上記のような多視点画像におけるシャッタースピードや絞りの

問題が存在しない。また、ライトフィールドカメラは撮影後にボケの異なる画像を生成できるという性質があるため、今後多分野での応用が期待される。以上の理由により、ライトフィールド画像の特徴を生かした効果的な符号化の着手に至った。

2. 研究の目的

本研究では複数のライトフィールドカメラで取得した多視点画像の符号化を行う。一台のカメラで取得された画像は前述の通り絞りや焦点距離が同じという特徴がある。また、ライトフィールドカメラ自身の特徴として、一枚の主レンズから多視点の画像を生成するため、それらは非常に密である。そこで、最初に一台のカメラで取得された多視点画像の符号化について検討し、その後、複数のカメラで取得された多視点画像の符号化へと拡張することとした。符号化の枠組みは、信号のスパース性を活用する方法である。画像符号化の性能は空間的、時間的冗長性を活用した予測画像の精度に大きく依存する。ある着目ブロックを予測する際、既に符号化済みの画像を用いるが、予測に用いる参照ブロック数は少ない方が好ましい。参照ブロックの位置情報も符号化する必要があるためである。従って、少数の参照ブロックで高い予測精度の実現を目標とするスパース表現と親和性が高い。本研究では過去の研究知見を活用し、スパース表現を用いた予測精度の向上を試みた。また、スパース表現の解は一般に計算負荷が高いため、GPU を用いた並列処理により、実時間での実現を目標とした。

3. 研究の方法

平成 27 年度に 3 台のライトフィールドカメラを購入した。ただし、27 年度は 1 台のカメラに限定した多視点画像の符号化について検討した。平成 28 年度に本研究で Nvidia 社の GTX1080 を 2 枚有する計算機サーバを購入し、並列化による高速化を行ったが、実時間での処理は困難との結論に達したため、平成 28 年度からは既存の国際標準とは異なる分散圧縮符号化へと符号化の枠組みを変更し、目標を達成した。各年度の研究方法について以下に示す。

(1) 平成 27 年度

GUP を用いたスパース表現の視点間予測について検討するとともに、エピポーラ幾何の精度を向上させる方法や、特徴点抽出の妨げとなる雑音除去の方法について検討した。

(2) 平成 28 年度

特徴点抽出に用いられるガウス関数の畳込みを実時間で実現するべく、GPU による並列化を行った。国際標準の枠組みでスパース表現を実時間処理するのは困難との結論に至ったため、符号化の枠組みを分散圧縮符号化に変更した。分散圧縮符号化では、符号化は画像信号に低ランクのランダム行列を掛けるだけであるため、容易に実時間符号化

が実現できる。符号化側の処理は復号側に移行されるが、これは高性能な計算機をインターネット上に配置して処理を行う、いわゆるクラウド環境と親和性が高い。また、符号化側の処理軽減はカメラの消費電力を低下させるため、IoT (Internet of Things) の実現に大きく寄与すると思われる。

分散圧縮符号化での復号化側の処理は凸最適化問題に帰着されるが、スパース表現のための辞書を凸最適解法の一つ、ADMM (Alternating Direction Method for Multipliers) で設計し、既存の分散圧縮符号化より高品質な再生画像を推定することができた。また、特徴点抽出の精度を向上させる方法も検討した。グラフカットで画像を前傾と背景に分離し、前景のみから特徴点を抽出する方法である。

(3) 平成 29 年度

分散圧縮符号化では、多視点画像を独立した静止画像であるキーフレームと、キーフレームを参照して補間を行うノンキーフレームに分離させる。ノンキーフレームの復元精度はキーフレームを用いた補間の精度に依存するため、TV-L1 オプティカルフローを採用した。また、凸最適化問題を動き補償 (視差補償にも適用可能) のスパース表現である LIC (Local Intensity Compensation) に採用し、高精度な補償を実現した。

4. 研究成果

先に記した研究方法のうち、内容ごとの成果として以下にまとめる。

(1) 特徴点抽出の高精度化

グラフカットで前景のみを抽出した画像を図 1 に示す。



図 1 : 前景のみの画像

この画像で一旦基礎行列を推定した後、閾値処理にて誤差と判定される対応点を除去することにより、高精度化を実現した。画像による変動はあるが、通常の SIFT (Scale Invariant Feature Transform) に比べ、対応点の検出率が最大で約 25 パーセントポイント上昇した。

(2) 分散圧縮符号化

分散圧縮符号化では、圧縮センシングと分散符号化を合わせる手法である。圧縮センシングでは与えられた信号に低ランクのランダム行列を掛けて得られた低次元の観測ベクトルから原信号を予測する。ここで、原信号は辞書によってスパース表現される必要がある。従って、分散圧縮符号化の精度は辞書の設計精度に大きく依存する。一般に用いられる辞書の設計法は K-SVD (K-Singular Value Decomposition) であるが、本研究では ADMM を用いて設計する方法を提案した。実験の結果、再現制度は K-SVD より若干低下するが、約 2.5 倍高速に画像を再現することができた。また、ノンキーフレームの補間画像はブロックマッチングによる視差補償が一般に用いられているが、TV-L1 オプティカルフローを採用することにより、ブロックマッチングと比べ、高精度化と約 3 倍の高速化を実現できた。K-SVD が設計した辞書を図 2 に、提案法による辞書を図 3 に示す。

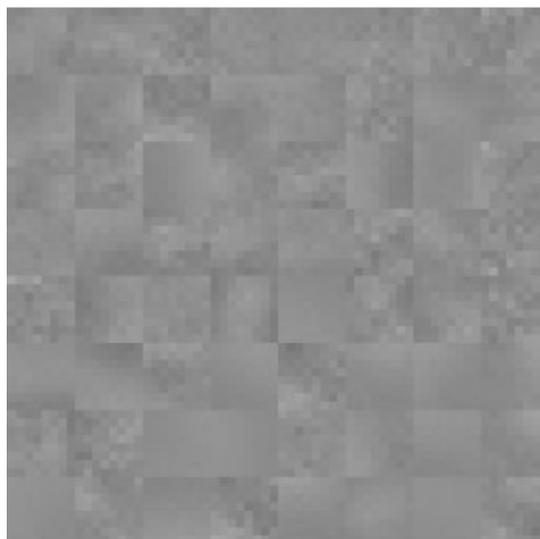


図 2 : K-SVD による辞書

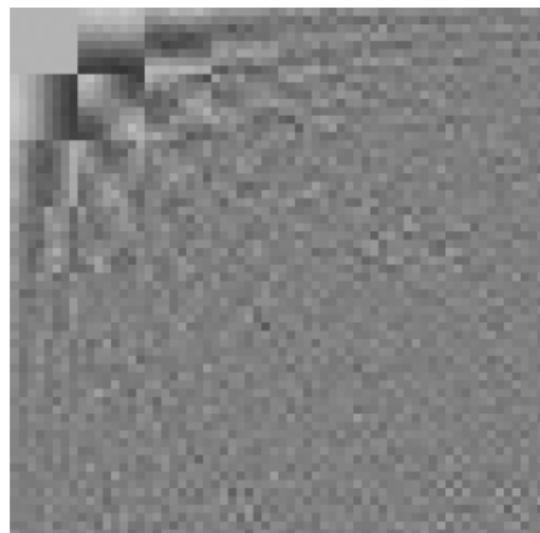


図 3 : 提案法による辞書

(3) LICのスパース表現

LICの解法の一つとしてAIHT(Accelerated Iterative Hard Thresholding)がある。AIHTはスパース性の指標であるL0ノルム(非ゼロ係数の個数)を最小化する方法で、厳密解ではない、経験的な方法である。本研究ではL0ノルムを指示関数で表現することにより、LICの解をADMMで求める手法を検討した。実験の結果、従来法に比べ、SSIMが高い動き補償画像を得ることができた。AIHTおよび提案法で生成した動き補償画像を図4と図5にそれぞれ示す。



図4: AIHTの画像(SSIM=0.3973)



図5: 提案法の画像(SSIM=0.8831)

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8件)

T.Fujiyoshi, S.Fukunaga, and Y.Kuroki, "Image recovery by D-SET framework with improved BNN", ISPACS 2015, 2015年, pp.210-215, 査読有, DOI: 10.1109/ISPACS.2015.7432767.

S.Motomatsu, K.Takenaka, and Y.Kuroki, "Robust krypoint detection against affine transformation using moment invariants on intrinsic mode function", ICIIBMS 2015, 2015年, pp.403-407, 査読有, DOI: 10.1109/ICIIBMS.2015.7439463.

F.Yano and Y.Kuroki, "Fast implementation of Gaussian filter by parallel processing of binomial filter", ISPACS 2016, 2016年, pp.1-5, 査読有, DOI: 10.1109/ISPACS.2016.7824738.

T.Sumi, I.Nakamura, and Y.Kuroki, "Distributed compressed video sensing of multi-view images using ADMM", APSIPA ASC 2016, 2016年, pp.1-5, 査読有, DOI: 10.1109/APSIPA.2016.7820808.

Y.Akiyoshi, T.Sumi, and Y.Kuroki, "Dictionary design and disparity interpolation on distributed compressed sensing for light field image", APSIPA ASC 2017, 2017年, pp.279-282, 査読有, DOI: 10.1109/APSIPA.2017.8282035.

Y.Nakashima and Y.Kuroki, "Sift feature point selection by using image segmentation", ISPACS 2017, 2017年, pp.275-280, 査読有, DOI: 10.1109/ISPACS.2017.8266488.

S.Kubota, R.Yoshida, and Y.Kuroki, "L0 norm restricted LIC with ADMM", IWAIT 2018, 2008年, pp.1-4, 査読有. DOI 無.

T.Hirakawa, K.Chigita, and Y.Kuroki, "Distributed compressed hyper spectral image sensing using ADMM", IWAIT 2018, 2008年, pp.1-4, 査読有. DOI 無.

〔学会発表〕(計5件)

角 太智, 黒木祥光, "ライトフィールドカメラにおける視点間画像の冗長性削減に関する研究", 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, 2015年11月18日から20日, ラフォーレ修善寺.

本松 覚, 竹中孝介, 黒木祥光, "固有モード関数上でのアフィンモーメント不変

量を用いた特徴点抽出に関する研究”,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,2015年11月18日から20日,ラフォーレ修善寺.

Y.Nakamura and Y.Kuroki, “SIFT feature points selection using graph cut”, IWAIT 2017, 2017年1月8日から1月10日,マレーシア,ペナン.

角 太智,中村郁海,黒木祥光,”ADMMによる多視点画像の分散圧縮符号化”,電子情報通信学会画像工学研究会,2018年5月19日から20日,名古屋大学.

矢野貴大,黒木祥光,”二項フィルタの並列処理によるガウシアンフィルタの高速化”,電子情報通信学会画像工学研究会,2018年5月19日から20日,名古屋大学.

〔図書〕(計 0 件)

無し

〔産業財産権〕

無し

出願状況(計 0 件)

無し

取得状況(計 0 件)

無し

〔その他〕

ホームページ等

researchmap

<https://researchmap.jp/read0047048/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

黒木祥光(KUROKI YOSHIMITSU)

久留米高専・制御情報工学科・教授

研究者番号:60290847

(2)研究分担者

無し

(3)連携研究者

無し

(4)研究協力者

無し