

平成22年 3月31日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19500143

研究課題名（和文）

面順次像分離装置の開発とその応用

研究課題名（英文）

Development of field-sequential image separation system and its application system

研究代表者

塩見 彰睦 (SHIOMI AKICHIKA)

静岡大学・情報学部・准教授

研究者番号：60242921

研究成果の概要（和文）：カメラの撮影画像から、プロジェクタの投影した像と投影がない状態の風景とに分離を行う像分離システムの研究である。カメラの露光時間を延長した像分離の手法を提案し、像分離システムの実装を行った。また、像分離の応用研究としてパターン投影方式での物体の形状・色情報の取得方法を提案した。物体の形状・色情報測定アプリケーションと指定パターン追跡アプリケーションを作成し、共に像分離システムの有効性、実用性を実証した。

研究成果の概要（英文）：This is the research of an image separation system which separates the image of camera into the image projected by the projector and scenery without projection. The image separation system was implemented by the proposal of extending the exposure time of the camera. The method acquiring the shape and textures of 3D objects using pattern projection is described as an applied research of image separation system. Moreover, efficiency and practicality of an image separation system were both proved by implementing application acquiring the shape and textures of 3D object and application tracing specification pattern.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：画像、文書、音声認識 情報システム 計算機システム 像分離装置

1. 研究開始当初の背景

(1). 近年、技術の発展や情報機器の普及により、プレゼンテーションなどに用いられるプロジェクタや、撮影した画像をリアルタイムに取得できるカメラは身近なもの

になっており、これらのプロジェクタとカメラを組み合わせたシステムが研究・提案されている。

プロジェクタとカメラを組み合わせたシステムの例として、プロジェクタを用いて

プレゼンテーションを行っている講演者について、カメラの撮影画像を用いて動きや顔を追跡し、カメラの撮影方向を追尾させる講演者追跡アプリケーションが考えられる。このときカメラの撮影画像には講演者とプロジェクタから投影されている像が含まれるため、プロジェクタから投影されている像に人物や人物に類似したものが含まれていると、投影されている像を講演者と誤認識して追跡に失敗する可能性がある。そこでカメラの撮影画像から、プロジェクタから投影された像(投影像)と、投影がない状態の風景(背景像)とに分離した2枚の画像を得ることができれば問題を解決できる。投影像と背景像とに分離を行う手段として、江本の所属する研究室では、色時分割方式のプロジェクタと高フレームレートのカメラを用いた像分離の研究を行っている。

先行研究では、色時分割方式のプロジェクタから投影される赤、緑、青の各投影色が投影される区間に同期し、カメラの露光をその投影色の区間のみ行い撮影する。各投影色に同期して撮影された画像は、背景像に投影像の該当するRGB成分が加算されたものと仮定し、ハードウェアに実装することによりリアルタイムに像分離を行うシステムを実現した。

先行研究により提案された手法はプロジェクタからのある投影色1色の区間のみカメラの露光を行った撮影画像を使用するため、カメラの露光時間の不足により光量が不足し、撮影画像が暗くなるという問題が生じた。この問題を避けるために補助光源を使用して撮影画像の光量を確保したが、補助光源を使用することにより人間の目にはコントラストの低下が生じるため、実用性を考えた際に問題であった。

(2). 高木の所属する研究室では、高フレームカメラの応用として像分離の研究を行っている。本研究での像分離とはカメラの撮影画像から、プロジェクタによる投影画像と投影画像を除いた背景画像とを分離することである。現在の像分離システムは撮影画像を用いて、 320×240 [pixel]の推定背景画像と推定投影画像をリアルタイムで出力することを実現している。推定背景画像とは像分離システムによって撮影画像からプロジェクタ投影像を取り除いた画像を、推定投影画像とは像分離システムによって撮影画像から背景画像を取り除いた画像を意味する。先行研究によって提案された多区間露光方式を用いることでフォトリフレクタランプなどの非常に強い光源を必要としない像分離システムが実装された。

しかし、像分離システムを利用したアプリケーションがないため、像分離システム

の有効性、実用性が示されていない。像分離システムの有効性、実用性を検討するために、像分離システムを利用したアプリケーションの開発が求められた。

(3). 動物体の形状と色情報の同時計測には高速な形状取得と同時刻のテクスチャが必要となる。投影パターンを用いての一般的な形状計測では高速に計測は可能だがテクスチャの同時計測は困難である。また、形状測定とテクスチャの視点が違う場合は位置あわせをする必要がある。そこで、畠山は投影画像と推定背景画像を同時に取得できる像分離システムの特性を活かした、パターン投影方式での物体の形状・色情報の取得方法を提案した。利用性の面では単一物体だけでなく空間の三次元形状についても動画から取得可能である。利用場面としては、モーションキャプチャや三次元モデリング、物体認識などが挙げられる。

2. 研究の目的

(1). 江本の研究では複数の投影色の区間に渡り露光を行った画像である多区間露光画像を像分離に用いることにより、従来の単区間の露光画像を用いた像分離手法において問題であった撮影画像の明るさの改善を目指す。また、提案した像分離手法を実装したリアルタイム像分離システムの構築を行う。手法の提案に際して、撮影画像の数理モデル化を行うことによりプロジェクタからの投影光に含まれる投影色成分を表現し、行列を用いた演算により投影画像と背景画像を求める。また、実装時には使用機器に適したパラメータの調査やボトルネックの解消を行う。

(2). 高木の研究ではプロジェクタ投影環境において有効なアプリケーションの一例である講演者追跡アプリケーションやその他像分離システムを用いたアプリケーション開発の基礎研究として、像分離システムを利用したアプリケーションを開発し、像分離システムの有効性、有効性を検討することを目的とする。

研究で用いるアプリケーションは像分離システムの有無による結果の違いを確認できる必要がある。そこで高木の研究では像分離システムの出力画像内からあらかじめ指定したパターンを追跡するアプリケーションを開発し、像分離システムの有無によるパターン検出結果の違いを評価する。また、実装したアプリケーションの実験、評価を行う。

(3). 畠山の研究では像分離システムを有効利用するシステムの一つとして像分離の特性を活かした物体の形状・色情報取得方法を提案し、実時間での形状・色情報取得を行うアプリケーションの開発を目

的とする。像分離システムに間に合う 24fps 以上での物体の形状・色情報取得を目標とする。投影パターン上の位置が高速に特定できる投影パターンの作成を行った。処理を並列化し、NVIDIA 社の GPGPU (General-Purpose computing on Graphics Processing Units) 技術を備えた CUDA (Compute Unified Device Architecture) を利用し高速化を行い、処理速度、計測精度についての実験・評価を行う。

3. 研究の方法

(1). 撮影画像、単区間露光方式の像分離手法、多区間露光方式の像分離手法の数値モデル化を行い、多区間露光画像を用いた数値モデルによる像分離手法の実現方法を確立した。また、プロジェクタの分光特性、IR カットフィルタの分光特性、カメラの露光時間を調査し、使用機器に合わせたパラメータを検証した。実装に際して、システムのリアルタイム性を実現するために、DDR-SDRAM の読み込み書き込みの高速化、システムのパイプライン化を行い、システムの高速化を図った。提案手法の数値モデルによる実現性の証明、システム構成の検証、考案、ボトルネックの解消を行い、システムのリアルタイム性の検討を行った後に、提案手法と使用機器の特性を元に、像分離システムの FPGA を用いたハードウェア構成の考案および実装を行った

実装した多区間露光画像を用いた像分離システムの評価実験では、従来研究で実装した単区間露光画像を用いた像分離システムとの明るさの違い、分離精度の差、動画像に対する出力画像の評価を行った。

(2). 高木の研究では、像分離システムから得られた出力画像に対して、SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) 特徴量を用いたパターン検出と、リアルタイム処理によるパターンの連続検出によるパターン追跡を行うアプリケーションを実装した。像分離システムの出力画像は、キャプチャボードを用いてアナログ映像出力を取得する。アプリケーションの処理速度を向上するために、取得画像のモノクロ化、SIFT アルゴリズムの簡略化を行い、対応した。実装したアプリケーションの評価実験では、処理速度、検出精度、追跡結果を用いた検出位置推定結果、像分離による検出精度の差について、実験・評価を行った。処理速度の計測では、100 フレーム分の処理に要する時間の平均値から 1 フレームの処理に要する時間を求めた。検出精度、追跡結果については、500 フレーム分の結果から成功数と失敗数を求めた。像分離による検出精度の差については、撮影画像における検出結

果と像分離結果画像における検出結果の比較を行い、評価した。

(3). まず測定物体に縞模様のパターンを投影し、像分離システムより推定投影画像と推定背景画像を取得する。少ない隣接色で投影位置が特定できる縞パターンの検討を行った。得られた推定投影画像に対して前処理としてメディアンフィルタを使って雑音除去を行う。雑音除去を行った画像から投影した色を推定し、隣接している縞の色から投影パターン上の位置を特定し、光切断法により物体の形状認識を行う。

光切断法はスリット光を投影し三角測量の原理で三次元座標値を得る方法であり、簡易な演算処理で高い距離精度をもつため形状取得の方法として使用した。一般の光切断法による形状認識には投影系の走査または測定物体の移動を行うので、複数回の測定が必要なため測定に時間がかかるという問題があるが、複数色からなる投影パターンを用いて一枚の画像から形状を計測可能にする。

投影パターンに使用する色は HSV 色空間における色相を使用する色数 N で等間隔で分割したものである。推定投影画像を HSV 形式へ変換し、彩度と明度が一定値以上ある場合に色相と閾値から投影色を推定する。投影パターンは高速に画像上のピクセルから形状が取得できるように、物体に投影された縞の任意の隣接している 3 色が判断できれば投影パターン上の縞の位置が特定できるものを使用する。形状計測時は物体の段差により撮影画像で縞とびが生じる場合が考えられるので、隣接 5 色によって投影位置を判断する。投影パターン上の縞の位置が判断できれば、投影する縞の幅、投影系での投影パターンの位置から投影系の x 座標が求まる。撮影位置に対応する投影系の x 座標が決まることで形状が測定できる。投影系の y 座標は形状計測に必要なではない。

3 つの色からなる縞を 1 つの縞パターンとしたときに、隣接する色が異なる縞パターンの組み合わせは N 色で $N(N-1)^2$ 通り存在する。よって、それらの縞をつなげた $N(N-1)^2+2$ 本からなる投影パターンを用いれば、任意の隣接 3 色から投影パターン上の位置 ($0 \sim N(N-1)^2-1$ 番までの縞番号) が一意に特定できる。投影パターンの作成方法を決めたアルゴリズムによって作成することで縞番号に法則性を見つけ、縞パターンから計算によって縞番号を特定した。最大計算量は $O(\log_2 N)$ であり、色数 N の数による計算量への影響が少ない。パターンに対応する縞番号をメモリに保存しておく方法もあるが、その場合の空間計算量は N^3 であり、キャッシュ効率が悪い。

物体部分の色情報(テクスチャ)は形状計

測で計測できた部分の推定背景画像を切り出す。推定背景画像は像分離システムにより推定投影画像と同時刻・同視点のものが取れるので、画像同士の位置あわせをする必要なく物体と色情報から 3D モデリングが可能である、

4. 研究成果

(1). あ単区間露光画像を用いた像分離手法の問題である露光時間の短さと補助光源の必要性および補助光源によるコントラストの低下を解決するために、複数の投影色の区間に渡り露光を行った画像である多区間露光画像を使用した像分離手法の提案と、提案した像分離手法を実装したリアルタイム像分離システムの構築を行った。提案手法では行列を用いて投影色成分を求めように変更したため、手法の拡張が容易である。提案手法を用いた像分離の設計と実装を行い、推定した投影画像と背景画像をリアルタイムに出力する像分離システムを構築した。提案手法をリアルタイム像分離システムに実装するために、システムの構成とシステムへの入出力仕様を示し、カメラの撮影タイミングの決定と像分離演算において使用する像分離パラメータであるフィルタパラメータを決定した。また、リアルタイム処理を実現するために像分離演算のパイプライン化することにより演算を高速化し、システムのボトルネックとなる画像処理ボード IPSP1J の DDR-SDRAM への書き込み、読み出しの処理を効率的に行えるよう実装することにより、リアルタイムに像分離演算を行い、推定した投影画像と背景画像をリアルタイムに出力する像分離システムを構築した。システムの処理速度は出力画像の生成間隔は 24 [fps] である。また USB を介して PC から制御が可能であり、出力画像 2 枚を 170~180 [ms] 程度で取得可能である。

評価は従来手法と提案手法における撮影画像の明るさと、手法の変更による分離精度への影響、露光タイミングの変更による像分離の出力画像への影響について評価を行った。

実背景画像において従来手法から提案手法に変更することによりカメラの露光時間が延長され、RGB 成分の R 成分について平均値が 35.705 から 124.635 へ、G 成分が 32.025 から 115.819 へ、B 成分が 19.329 から 106.877 へと大幅に増加し、撮影画像の明るさが改善した。分離精度においては、従来手法の RGB 成分の誤差平均が 0.987、提案手法の RGB 成分の誤差平均が 1.924 であり、分離精度が向上した。また、動画の投影を行ったとき、提案手法では撮影画像の露光タイミングの時間間隔が従来手法の

22.92 [ms] から 31.25 [ms] と長くなっているため、撮影画像間の画素の対応が崩れて投影した動画の動きが出力画像に表れ色割れが生じた。色割れを改善するには、撮影画像の露光タイミングの時間間隔を従来手法と同様かそれ以下にする必要がある。図 1 と図 2 に従来手法による像分離結果と提案手法による像分離結果の例を示す。

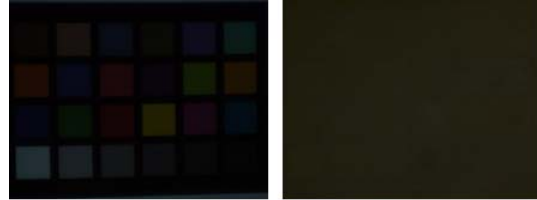


図 1. 従来手法による像分離結果(左: 投影像、右: 背景像)



図 2. 提案手法による像分離結果(左: 投影像、右: 背景像)

江本の研究によって、プロジェクタ投影環境下における実用性を有する像分離システムが確立した。より精度の高い機器を用いることで、像分離精度の向上の望めると共に、その際の手法の拡張、改良も容易であると考えられる。今後は、プロジェクタ投影環境において、本研究で実装した像分離システムを用いて、投影像や背景像に対して有効なアプリケーションやシステムの開発が進められていくと考える。

(2). 像分離システムの出力画像を用いたアプリケーションとして、SIFT 特徴量を用いたパターン検出およびリアルタイム処理による追跡アプリケーションを実装した。

実装したアプリケーションの評価実験では、処理速度、検出精度、追跡結果を用いた検出位置推定結果、像分離による検出精度の差について、実験、評価を行った。

評価実験の結果、処理速度は 7 [fps]、検出結果は 99% の成功率、追跡結果を用いた検出位置推定は 83% の成功率であった。パターン検出例として、図 3 を示す。

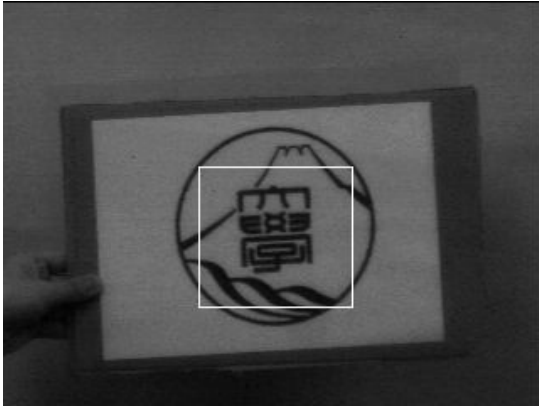


図 3. 像分離出力画像を用いたパターン検出

結果

また、像分離によるパターン検出精度についても明確な差を見ることができ、像分離システムの有効性を実証できた。図 4 に像分離の有無によるパターン検出結果の比較例を示す。

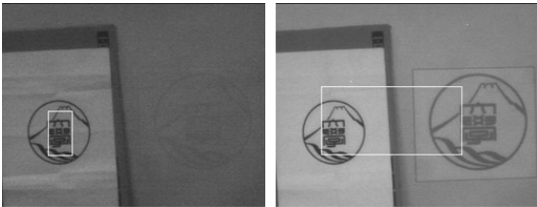


図 4. 像分離の有無による検出結果の比較

(左：像分離画像使用、右：撮影画像使用)

高木の研究によって、プロジェクタ投影環境下において、像分離システムが有益な影響を与えることが示された。今回は、像分離システムの出力画像の 1 つである背景画像を用いたアプリケーションを実装した。本アプリケーションでは、リアルタイム性、投影像の影響を受けないパターン検出、動画像への対応の実証が実現できた。本研究において、像分離システムの有効性と実用性およびアプリケーション利用が可能であることが示された。今後は、プロジェクタ投影環境において、投影画像の使用や、背景画像を用いた目的の異なるアプリケーションの開発を進めていくことができると考える。

(3) 図 5 に像分離システム出力からの色推定と形状計測結果を示す。形状・色情報取得アプリケーションの処理速度の評価結果では、計算を CPU のみで行った場合は 28fps、形状計測部分を並列処理化し GPU を利用して計算した場合は 55fps であり、共に目標速度である像分離速度 24fps 以上を達成した。並列化処理を行った場合は並列化していない場合と比べて 17.0ms、約 3.3 倍高速化した。メモリアクセス効率に関する

る処理速度の改善、雑音除去と物体の切り出し処理の並列化については今後の課題とする。

計測精度の評価では投影面での投影縞の幅との誤差を考慮した結果、結果は妥当であると結論付けた。問題点として、形状検出時に異なった計測点の座標が計測される場合や、投影物体の表面が鏡面または色の反射率が低い時に形状検出ができない場合があり、その原因について検討を行った。

皇山の研究により物体の形状・色情報取得方法の手法として像分離システムの有効性を示した。

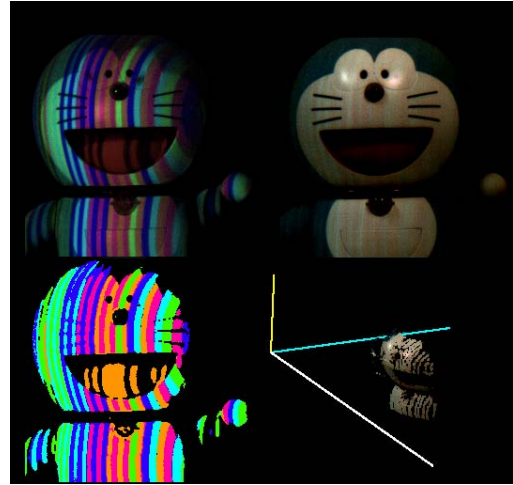


図 5. 像分離システム出力からの色推定と形状計測結果(左上：推定撮影画像、右上：推定背景画像、左下：投影色推定結果、右下：色推定と形状計測結果)

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)

[学会発表] (計 1 件)

- ① 江本幸司, 塩見彰睦: “多区間露光方式によるリアルタイム増分離システムの構築”, 2008 年映像情報メディア学会年次大会, 13-5, 2008. 8. 29, 福岡工業大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塩見 彰睦 (SHIOMI AKICHIKA)
静岡大学情報学部・准教授
研究者番号：60242921

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者