

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24年 6月 6日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300067

研究課題名（和文） 能動照明と高自由度撮影による写真制作支援手法の開発

研究課題名（英文） Development of photo production aiding method using active lighting and high degree of freedom capture

研究代表者

日浦 慎作 (HIURA SHINSAKU)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40314405

研究成果の概要（和文）：コンピュータショナルフォトグラフィ技術に能動照明技術を組み合わせることで、(1)ステレオカメラのレンズ開口形状を符号化することにより画像からぼけを除去したり、撮影後にピント位置を変更する技術、(2)投影光を符号化することにより半透明物体や凹部を持つ物体の形状計測を高精度化する技術、(3)撮像素子の画素形状を符号化することにより、複数枚撮影した画像からより高解像度な画像を生成する技術等を確立した。

研究成果の概要（英文）：By combining the technologies of computational photography and active lighting, we established the techniques as following: (1) Removing defocus and adjusting focused distance after taking photographs by incorporating coded aperture into the lenses of stereo cameras, (2) High precision shape measurement of translucent and concave object by using encoded light projected onto the object, (3) Multi-frame super-resolution by encoding the shape of each photocell of image sensor.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	9,700,000	2,910,000	12,610,000

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：コンピュータショナルフォトグラフィ、能動照明、プロジェクタ、カメラ

1. 研究開始当初の背景

(1) 写実的な映像を得る方法には、カメラにより実シーンを撮影するほかに、計算機内部の数学的モデルから光学計算により画像を生成する、コンピュータグラフィックスが多く用いられている。それに加え、近年コンピュータショナルフォトグラフィ (computational photography) と呼ばれる手法が急速に発展してきた。これは実シーンを撮影する際に従来型のカメラや照明を必ず

しも用いるのではなく、シーンへの光の照射と光の記録方法に工夫を加え、それにより得たデータの演算により所望の映像を得るもので、2007年前後から SIGGRAPH (コンピュータグラフィックスに関する世界最大の国際会議) や CVPR (コンピュータビジョンに関するトップクラスの国際会議) では、この技術に関するセッションや講習会が行われるなど、注目を集める分野になりつつあった。この技術により例えば、つやを有する物

体の計測結果からつやのないマットな質感の物体像を得たり、照明条件や視点位置、ピント位置の変更や調整を撮影後に計算機上で行うなどの操作ができるようになりつつある。しかしこれらの研究はいまだ原理の提案や検証など、初期的かつ各論的であり、実用技術として映像制作分野に広く利用されるには至っていないという状況にあった。

(2) 応募者は従来より画像計測や仮想映像生成に関する研究を行ってきたが、特にレンズや撮像素子などセンサそのものに工夫をこらすことで画像からぼけを除去する手法や、シーンへの光の照射によりシーンの多重反射を解析する研究を行ってきた。それらは単体でシーンの形状や反射特性などの計測手法として機能するだけでなく、計測結果から新たに様々な映像を生成することにも用いることが出来る技術である。これらの背景から、研究開始当初はまさにコンピュータショナルフォトグラフィを実用にするための研究開発を行うべき時であった。また日本はデジタルカメラやプロジェクタ等の映像機器製品において圧倒的なシェアを有しており、その地位を将来にわたり確固たるものとするためにも、映像基盤技術に関する先端的な研究開発は絶対に欠くことが出来ない課題であった。

(3) 当時の映像撮影の現場は IT 化が十分進行しておらず、依然として職人技の世界であったが、これは計算機による作業支援が可能な分野である。例えばカタログ用の商品撮影において一連の商品をまったく同一の姿勢に並べたり、個々の写真の照明条件を統一するための手法や、照明条件を変更したときに対象から影がどのように落ちるかをプロジェクタ投影光により実物体上でプレビューするなど、様々な支援方法が考えられる。このようなプロジェクションベースバーチャルリアリティ分野においても応募者らは先導的に研究してきたことから、実用的なシステムを開発する準備が出来た段階にあると考えた。

2. 研究の目的

先に書いたように、コンピュータショナルフォトグラフィ研究は原理の提案や検証段階にある研究が多く、実際の映像制作に実用化可能な段階には達していない。特に生成される画像の画質が不十分なものが多く、他には計測や計算に要する時間が過大であるものも多い。また、従来は撮影することが困難であったような画像を得ることは出来るが実用上の利点が定かでないものや、現場で必要とされ、技術的にも可能であるのに十分顧みられていない課題もある。そこで本研究では、後に述べるコンピュータショナルフォトグラフィの基礎的研究と、それを応用すること

で可能となる映像制作の IT 支援フレームワークを構築することを目的としている。具体的には以下のような課題について技法を構築し、また明らかにすることを目的とした。

- (1) 従来は試行錯誤によっていた画像制作時のピントや絞りの調整などを、撮影後に調整することが出来るリフォーカシング法を開発する。
- (2) 対象物体を照らす照明を符号化することで表面下散乱（物体内部へにじみこむ光の反射）や相互反射（物体の凹部で何度も光が反射する現象）の悪影響を抑制して、物体の形状を精密に計測する手法を開発する。
- (3) 画素の形状を符号化することで撮影後に画像の解像度を向上させる超解像手法の開発を行う。

3. 研究の方法

前項における研究の目的を達成するため、3つの項目それぞれに付いて以下の方法で研究を行った。

- (1) ライトフィールドカメラ等のコストの高いカメラを使うことなくリフォーカシングを実現するため、ステレオカメラの双方のレンズに符号化開口を装着した装置を制作し、これを用いて画像のぼけ除去とステレオ視差による距離計測を安定化する計算方法について検討した。
- (2) 従来より広く用いられている形状計測手法であるスリット光投影法について、その投影光の符号化について検討し、つづいてより高速な計測手法であるグレイコードパターン光投影法へ拡張するという方法により検討を行った。
- (3) 画素形状の符号化については、まずはシミュレーションによる性能向上について確認した後に、撮像素子上に黒色粉末を散布することで実際の符号化を行い、実機による性能向上を確認するという手順で研究を行った。

4. 研究成果

ここまで述べてきた3つの研究目的について得られた成果は以下のとおりである。

- (1) ステレオカメラの双方のレンズに符号化開口を装着し、それにより距離計測の精度が向上することを確認した。また、それにより得られた画像と距離情報を融合することで、レンズの開口形状を符号化しない場合に比べ原画像の復元精度が向上することを確認した（図1）。さらにこれらの画像をもとにして、例えば、背景にピントをあわせて撮影した画像からぼけを除去し、さらに前景にピントを合わせ背景をぼかした画像を制作できることを示した（図2）。



図1 ぼけの除去例



図2 リフォーカス実行例

(2) 形状計測を行うために対象物体に照射するパターン光を、カメラとプロジェクタの配置から計算できる方向（エピポーラ線方向）に沿った縞模様とすることで、相互反射や表面下散乱に影響されにくい形状計測が可能であることを示した（図3）。

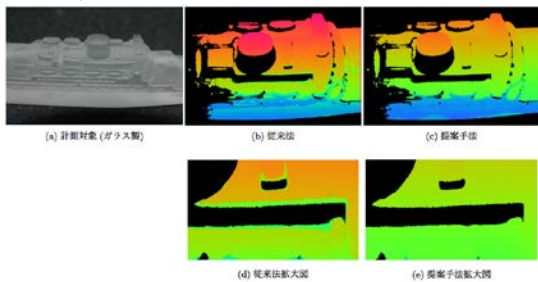


図3 半透明物体の形状計測結果

(3) 黒色粉末を散布した撮像素子の各画素の受光感度分布を、ディスプレイ上に表示したパターン光を撮影することにより特定する手法を開発した。またこれにより求められた受光感度分布にスパース最適化手法を組み合わせることで、符号化を行わない撮像素子を用いる場合よりも超解像の性能が向上することを確認した（図4）。

コード化を行わなかった場合			
観測画像	RL	TV	Sparse
PSNR	15.122	15.713	15.355
コード化を行った場合			
観測画像	RL	TV	Sparse
PSNR	16.398	16.608	17.720

図4 超解像処理後の画質の比較

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) Takehiro Tachikawa, Shinsaku Hiura and Kosuke Sato, Robust Estimation of Light Directions and Albedo Map of an Object of Known Shape, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 3, pp. 172-185, 2011. DOI: JST.JSTAGE/ipsjtcva/3.172

(2) Shinsaku Hiura, Ankit Mohan and Ramesh Raskar, Krill-eye : Superposition Compound Eye for Wide-Angle Imaging via GRIN Lenses, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol.2, pp. 186-199, 2010. DOI: JST.JSTAGE/ipsjtcva/2.186

(3) 古瀬達彦, 日浦慎作, 佐藤宏介: スリット光の変調による相互反射と表面下散乱に頑健な三次元形状計測, 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 10, pp. 589-597, 2010.
<http://www.sice.or.jp/kaishi/ronbun/ron2000/ron201010.htm#paper1>

〔学会発表〕（計30件）

(1) Yuichi Takeda, Shinsaku Hiura and Kosuke Sato, Coded Aperture Stereo for Extension of Depth of Field and Refocusing, International Conference on Computer Vision Theory and Applications, pp. 103-111, 2012年2

月 26 日, ローマ.

- (2) Tomoki Sasao, Shinsaku Hiura and Kosuke Sato, Coded Pixels : Random Coding of Pixel Shape for Super-Resolution, International Conference on Computer Vision Theory and Applications, pp.168-175, 2012 年 2 月 25 日, ローマ.
- (3) 河本悠, 日浦慎作, 浅田尚紀, 符号化開口を用いたバーコード画像のぼけ除去, MIRU2011 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp. 930-935, 2011 年 7 月 22 日, 金沢市.
- (4) 楠本夏未, 日浦慎作, 佐藤宏介, 視点と露光量が任意な画像群からの高輝度領域のぼけ生成, MIRU2010 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp. 1671-1678, 2010 年 7 月 29 日, 釧路市.

[図書] (計 2 件)

- (1) 高松淳, 日浦慎作, 長原一, 富永昌治, 向川康博(著), 八木康史, 斎藤英雄(編), コンピュータビジョン最先端ガイド4, アドコム・メディア (分担執筆: 執筆箇所「第 2 章 コンピュータショナルフォトグラフィ理解のための光学系入門」), 2011
- (2) 蚊野浩, 川出雅人, 藤吉弘亘, 西一樹, 富永昌治, 日浦慎作, デジカメの画像処理, オーム社 (分担執筆: 執筆箇所「第 7 章 コンピュータショナルフォトグラフィ -画像処理技術が拓くデジカメの進化-」), 2011

[その他]

ホームページ等

<http://www.cv.info.hiroshima-cu.ac.jp/~hiura/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日浦 慎作 (HIURA SHINSAKU)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 40314405

(2) 研究分担者

佐藤 宏介 (SATO KOSUKE)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号: 90187188

(H21 まで分担者として参画)

岩井 大輔 (IWAI DAISUKE)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号: 90504837

(H21 まで分担者として参画)