

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：14603
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23700148
 研究課題名（和文） 写実的拡張現実感のための実環境の高機能計測による光学的整合性の向上
 研究課題名（英文） Research of photometric registration for AR by sensing the real world with various camera unit
 研究代表者
 神原 誠之（KANBARA MASAYUKI）
 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授
 研究者番号：10346306

研究成果の概要（和文）：本研究は、コンピュータグラフィクス（CG）で生成されたバーチャルオブジェクトを、ユーザが見ているシーンに合成することで実環境に情報を付加する拡張現実感において、バーチャルオブジェクトがあたかも実環境に存在するように見せるために不可欠な写実性の高い合成技術の開発を行った。本研究では光学的整合性の実現に主眼をおき、実環境の高機能計測を行うとともに、写実的拡張現実環境を実現した。

研究成果の概要（英文）：The goal of the project is development of a synthesis method of the real and virtual world for photorealistic augmented reality by overlaying virtual object rendered by computer graphics onto real scene captured by various cameras. In this study, we realize a photometric registration by estimating light condition and image quality from images captured by two kind of approach.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：拡張現実感

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：拡張現実感、ハイダイナミックレンジイメージ、モーションブラー、高機能計測

1. 研究開始当初の背景

ユーザが見ている実環境のシーンに対して関連する情報やバーチャルオブジェクトを CG により合成・提示する技術は拡張現実感と呼ばれ、次世代情報提示技術の 1 つとして期待されている最先端課題である。図 1 に示すように、CG で生成した写実性の高いバーチャルオブジェクトを現実環境に合成表示し、あたかも現実環境にその物体が存在するようにユーザに見せることが可能となれば、バーチャルミュージアムや景観シミュレーションなどへの応用が考えられる。このようなアプリケーション

への応用を考えた場合、実環境とバーチャル環境間で、以下の二つの整合性問題を長時間で解決する必要がある。

(1)幾何学的整合性問題：現実環境とバーチャル環境の 3 次元位置合わせ問題

(2)光学的整合性問題：現実環境とバーチャルオブジェクトの画質のずれや陰影の矛盾の解消

これまで拡張現実感の中心課題とされてきた(1)幾何学的整合性問題は、多くの研究成果が提案され様々な活用例も示されている。さらに近年、(2)光学的整合性問題を同時に解決する研究が注目されている。これまで



図1 拡張現実感の合成画像(反射率の異なる鏡面球のバーチャルオブジェクトへの写り込みが再現されている例:しかし、映り込んだ窓の外の映像は白とびし、球が落とす影の境界は鮮明で写実性が低い)

に報告されている光学的整合性の研究は、2つに大別される。ひとつは、光源環境の推定に基づく実物体と同様のバーチャルオブジェクトの陰影を実現する研究であり、もうひとつは、実環境を撮影した映像と描画されたバーチャルオブジェクトの画質の一致を試みたものである。

これまで、これらに関する従来研究が報告されてきたが、光学的整合性の実現には様々な要因があるにもかかわらず、従来手法は陰影表現や画質の改善を個別に解決することとどまっており、それらの要因を総合的に考慮した上で統一的に光学的整合性の実現を行っている手法は存在しない。さらに拡張現実感で通常利用されるカメラで実環境を撮影した映像から光学的整合性の実現を試みているため、カメラの性能の限界から写実性を高める十分な情報が獲得できていない。本研究は、実環境を高機能計測することで、写実性の向上に必要な実環境の情報をより多く獲得するだけでなく、光学的整合性問題の様々な要因を総合的に考慮することで高い写実性を表現可能な拡張現実感を実現するものであり、当該分野をより探求する研究として位置づけられる。

2. 研究の目的

本研究は、コンピュータグラフィクス(CG)で生成されたバーチャルオブジェクトを、ユーザが見ているシーンに合成することで実環境に情報を付加する拡張現実感において、バーチャルオブジェクトがあたかも実環境に存在するかのように見せるために不可欠な写実性の高い合成技術の開発が目的である。本研究では合成画像の画質の整合性や光源環境に起因する実環境とバーチャルオブジェクトの陰影の整合性を意味する光学的整合性の実現に主眼をおき、実環境の高機能計測を行うとともに、合成画像を提示するための表示機器の性能などを総合的に考慮した、写実的拡張現実環境の開発を行った。

3. 研究の方法

本研究では、上述の目的を達成するため、

下記のアプローチの研究開発を実施した。

1) 単体カメラ (異なる時刻の同じ性質の画像群) を用いた光学的整合性の実現

上記手法とは対照的に、1つのカメラで時系列で撮影されて画像群からHDR画像を生成および、ボケ推定を行うことで陰影・画質の双方を同時に解決する

2) マトリクスカメラ (同時刻の異なる性質の画像群) を用いた光学的整合性の実現

通常のダイナミックレンジを持つカメラ複数台で撮影された画像群からのHDR画像を生成し光源環境推定とボケ推定を行う。格子状に配置された複数のカメラで、同時に異なるシャッタースピードで実環境を撮影しそれらを合成することで、HDR画像の実時間生成を可能にする。

以下に、アプローチに関して詳述する。

【時間的露出変化によるHDR画像生成】

(1) 2台の全方位カメラを用いたLDR画像群の空撮

飛行船の上部に上向き、下部に下向きに、計2台の全方位カメラ(上カメラ、下カメラ)を取り付け空撮を行う。飛行船の上方から撮影されるシーンには主に太陽や空が含まれ、本研究で用いる全方位カメラで設定可能な最短のシャッタースピードで撮影を行っても輝度値の飽和が起こるため、上カメラには減光フィルタ(NDフィルタ)を取り付ける。また、少ない撮影枚数で効率的な撮影を行うため、シャッタースピードを動的に自動設定する。

(2) 多段階露出LDR画像群からのHDR画像生成

複数の異なるシャッタースピードで撮影されたLDR画像群から上下カメラそれぞれのHDR画像を生成する。多段階露出画像間には、撮影時のカメラの移動および姿勢変化によって位置ずれが発生する。本研究ではその中でも画像上の位置ずれへの影響が大きいカメラの姿勢変化を推定し、画像補正を行う。

(3) 上下カメラから撮影された画像の合成
(2)で生成された2枚のHDR画像を合成し、1枚の全天球HDR画像を生成する。本研究で用いる飛行船は形状変化が発生するため、2台の全方位カメラ間の相対的な位置関係を固定することは困難である。そのため、各カメラから撮影された画像の重複領域から相対的な姿勢変化を推定し、位置合わせを行う。また、NDフィルタの有無による色調の違いを補正する。

【シャッタースピードの自動決定】

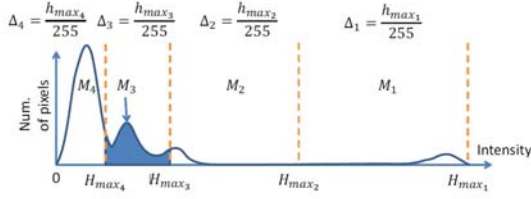


図2 シャッタースピードの自動決定方法

本研究では、以下に示すシャッタースピード更新処理により、光源環境の変化に対応する。本研究における実装では、シャッタースピード更新処理に1秒程度を要するため、更新レートを数秒に1度程度としている。

ここで、古いシャッタースピード群を短い順に $s_{old1}, s_{old2}, \dots, s_{oldn}$ 、新たに設定されるシャッタースピード群を短い順に

$s_{new1}, s_{new2}, \dots, s_{newn}$ とする。本研究で用いる全方位カメラ Ladybug2 は、シャッタースピードを格納するためのレジスタを4つ持っているため、本研究では $n=4$ として実験を行った。

本研究では、撮影されたLDR画像枚数が少ないことによる擬似エッジなどの見た目に対する影響を低減するため、各LDR画像の量子化幅が、生成されるHDR画像においてどの程度の大きさになるかを考慮し、これが小さくなるようにシャッタースピードを決定する。そのために、まず撮影されたLDR画像群を用いて図2に示すように、生成されるHDR画像のヒストグラムを計算する。i番目 ($i \geq 2$) に短いシャッタースピード s_{newi} について、 s_{newi} で撮影されるLDR画像の最大輝度値255に対応するHDR画像上での輝度値を $H_{maxi}(s_{newi})$ とする。ここで、 $M_i(s_{newi})$ を以下のように定義する。

$$M_i = \sum_{k=H}^{H_{maxi}} j_k$$

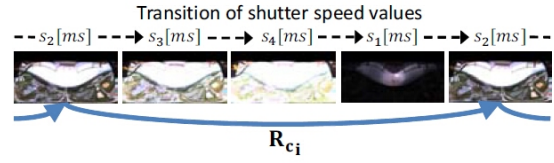
ここで、 j_k は、輝度値 k を持つ画素数とする。また、 H は以下のように定義される。

$$H_i = \begin{cases} 0 & (i=n) \\ H_{max_{i+1}} & (otherwise) \end{cases}$$

カメラのレスポンスカーブ (CCD への入射光量と画像間の関係) が線形であると仮定したとき、 s_{newi} により撮影されるLDR画像の量子化幅をHDR画像上に射影すると、以下の Δ_i のようになる。

$$E_s = \frac{H_{max_i}}{255}$$

s_{newi} は、以下のコスト関数 E_s の最小値を、 s_{newi} を変化させながら粗密探索により求めることにより決定される。



(a) 露出の等しいフレーム間での姿勢変換の推定



(b) 球面線形補間による、各フレーム間の姿勢変換の計算



(c) 参照フレームへの他フレームからの姿勢変換の計算

図3 異なる時刻に撮影された画像の位置合せ

$$E_s = \sum_i M_i \Delta_i$$

本研究ではカメラのレスポンスカーブが線形であると仮定して実験を行なったが、式(4)を変更することで、任意のレスポンスカーブに本処理を適用できる。

【多段階露出LDR画像群からのHDR画像生成】

多段階露出LDR画像間には、撮影時のカメラの移動および姿勢変化によって、撮影された物体の画像上での位置ずれが発生する。本研究ではその中でも、カメラの移動量に対して撮影される物体が遠い場合にも画像上の位置ずれへの影響が大きいカメラの姿勢変化を画像群から推定し、補正を行う。位置合わせの流れを図3に示す。まず、図3(a)に示すように、多段階露出LDR画像群から白とび (本研究では輝度値が255と設定)、黒つぶれ (輝度値が16未満と設定) の最も少ない露出画像および近傍に存在する同露出で撮影された画像を選択し、2フレーム間の対応点をKLTトラッカにより求める。得られた m 番目の特徴点および対応点を単位球面に投影したものをそれぞれ $\mathbf{p}_m, \mathbf{q}_m$ とすると、オイラー角の3パラメータで表される姿勢変換 R_{ci} は、 $\mathbf{p}_m, \mathbf{q}_m$ のユークリッド距離 j_{pm} ; q_{mj} の二乗和として定義されるエネルギー E_a を非線形最小化することにより推定される。

$$E_a = \sum_m |\mathbf{p}_m, \mathbf{q}_m|^2$$

ここで、誤対応による推定誤差を軽減するため、RANSACを用いて外れ値を除去する。次に、図2(b)に示すように、 R_{ci} から、

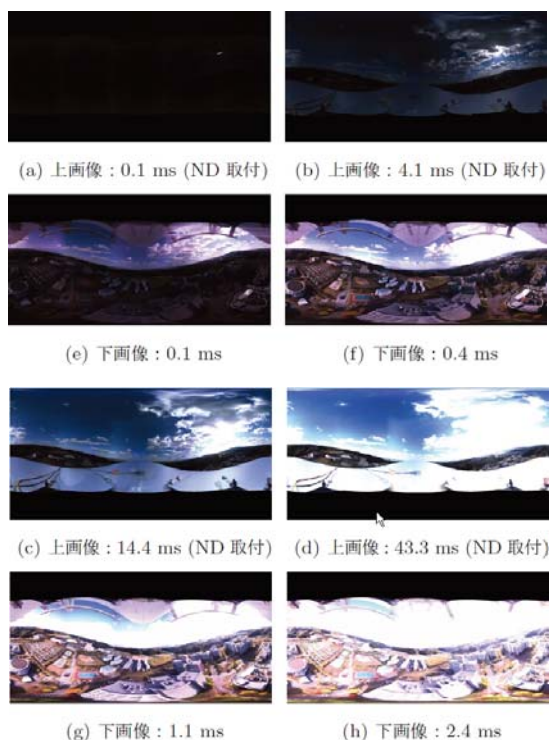


図4 各カメラで撮影された多段階露出画像

各フレーム間の姿勢変換パラメータ R_f を球面線形補間を用いて求める．動画像中の任意のフレームを参照フレームとし，図2(c)に示すように， R_f を用いて参照フレームに対する他の露出画像からの姿勢変換を計算し変換を行うことで，参照フレームに位置合わせされた多段階露出 LDR 画像群を得る．動画像中の各フレームを参照フレームとして処理を繰り返すことにより，動画像全体に対して位置合わせ処理を行うことができる．

4. 研究成果

実際にキャンパス上空から飛行船を用いて空撮を行い，不可視領域のない全天球 HDR 画像を生成した．撮影時，飛行船の高度はおよそ 130m 程度であり，約 3m/s で移動でほぼ直進しながら飛行していた．これは，本実験における平均的な撮影条件である．各画像のシャッタースピードと，撮影された多段階露出画像例を図4に示す．撮影された画像群から生成された HDR 画像が，図5である．

上下画像の姿勢および色調は違和感なく合成されていることが確認できる．変換後の輝度は適切に表現され，実際に撮影された多段階露出 LDR 画像に近い見えに変換されており，生成された HDR 画像が実際に撮影された環境を忠実に反映している．



図5 トーンマッピングにより出力された HDR 画像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

1. 大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: "無人飛行船に搭載された2台の全方位カメラを用いた不可視領域のない全天球 HDR ビデオの生成", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 17, No. 3, pp. 139-149, Sep. 2012. 査読有.

〔学会発表〕(計5件)

1. F. Okura, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Fly-through Heijo Palace Site: Historical tourism system using augmented telepresence", Proc. ACM Multimedia (MM2012) Technical Demo, pp. 1283-1284, Oct. 2012, Nara, JAPAN. 査読有

2. 大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: "蓄積再生型テレプレゼンスにおける空撮全天球 HDR 画像の提示手法", 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2012-42, Sep. 2012, 北海道根室市, 査読無.

3. F. Okura, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Full spherical high dynamic range imaging from the sky", Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME2012), pp. 325-332, July 2012, Melbourne, Australia, 査読有

4. 大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: "無人飛行船に搭載された2台の全方位カメラを用いた不可視領域のない全天球 HDR 画像の生成", 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2011-171, Jan. 2012, 京都府京都市, 査読無.

5. 大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: "2台の全方位カメラを用いた不可視領域のない空撮全天球 HDR 画像の生成", 情報科学技術フォーラム(FIT) 一般講演論文集, Vol. 3, pp. 187-190, Sep. 2011, 北海道函館市, 査読無.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神原 誠之 (KANBARA MASAYUKI)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学

研究科・准教授

研究者番号：10346306