

平成 21 年 6 月 8 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700117
 研究課題名（和文）ビデオシースルー拡張現実感のための光学的整合性の向上に関する研究
 研究課題名（英文）Photometric Registration for Video See-through Augmented Reality
 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・助教
 研究者番号：10346306

研究成果の概要：本研究は拡張現実感において、より高度な幾何学的・光学的整合性問題の解決技術の確立を目指すもので、具体的には、ボケ推定による現実環境と仮想環境の画質の一致に関する研究、単眼・複数カメラを用いた光源環境推定の手法の高精度化に関して研究開発を行った。主に、撮影映像からのボケの大きさの実時間推定技術と、異なるシャッタースピードで動作する複数のカメラを用いたハイダイナミックレンジ画像の実時間生成を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：拡張現実感、複合現実感、光学的整合性、幾何学的整合性

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仮想物体をコンピュータグラフィクスにより合成・提示する技術は拡張現実感とよばれ、次世代情報処理の中核の1つとして期待されている仮想現実(バーチャルリアリティ)の最先端課題である。本技術は、現実環境に情報を付加することが可能であるため、新たな情報提示手法として、産業や医療分野における作業補助などの様々な応用が期待されている。その中でも、コンピュータグラフィクスで生成した写実性の高い仮想物体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かのように見せることで、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ている。このように、仮想物体をあたかも現実環境に存在するかのように見せることが要求されるアプリケーションへの応用を考えた場合、現実環境と仮想環境間で以下の二つの整合性問題が課題に挙げられ、これらの整合性問題の解決が急務とされている。

(1) 幾何学的整合性問題： 現実環境と仮想環境の3次元位置合わせ問題

(2) 光学的整合性問題： 現実環境と仮想

物体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に加え、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。

拡張現実感において、光学的整合性を解決するための手法が近年注目されてきており、その重要性は高いと考えられる。従来は主に仮想物体の陰影表現を再現する試みが中心であり、いかに高精度に現実環境の光源環境を実時間推定するかが課題となっていた。しかし、従来手法では幾何学的整合性を解決するための正方マーカに取り付けられた鏡面球に映りこむ光源をカメラで撮影することで、光源環境を推定していたため、推定結果の精度や分解能に限界があった。そこで、本申請研究は、複数のカメラ(多種のカメラ)を用いて、高精度に光源環境を推定する手法の開発を行った。さらに、これまでほとんど注目されていなかった現実シーンと仮想物体の画質の整合性問題を、ビデオシーズルー型拡張現実感に想定し、カメラの焦点ずれによるぼけやモーションブラーを推定することで解決を図る。このように本申請研究は、これまで行ってきた拡張現実感における光学的整合性問題を掘り下げ、より高度な実現技術を開発することが目的であり、拡張現実感における重要技術課題を解決する研究として位置づけられる。

2. 研究の目的

本申請研究は、これまでの技術課題を掘り下げ、より高度な幾何学的・光学的整合性問題の解決技術の確立を目指すものである。具体的には、以下の技術課題に取り組んだ。

1) カメラの焦点ずれとモーションブラーの実時間推定による画質の整合性の向上

これまででは、主として光学的整合性の中でも、現実物体と仮想物体の陰影の整合性を向上するために、現実環境の光源環境の推定技術の開発が注目されてきていた。そのため、仮想物体と背景の実シーンの間に画質のずれが存在した。ここでは、仮想物体である植木鉢はカメラのピントずれによるぼけなどが考慮されていないため、背景の実シーンより鮮明に描画され、違和感が存在する合成画像となっている。そこで、本申請研究では、光学的整合性問題のもう一つの大きな課題である現実環境と仮想環境の画質の一致を試みる。この問題は特に、高い写実性を持つ拡張現実環境が表現可能な重畳方式であるビデオシーズルー方式の際に重要な課題となる。一般にビデオシーズルー方式の場合、現実環境を撮影するカメラによる映像と CG

で描かれる仮想物体の画質を一致させることが課題となる。これを解決するためには、カメラによって実環境のシーンがどれだけ劣化するかを実時間で推定し、仮想物体にその劣化を擬似的に再現する必要がある。カメラによる画質の劣化の原因の主なものには、レンズの焦点ずれによるボケと、撮影中にカメラと被写体の位置関係が変化することで発生するモーションブラーがある。本研究では、ビデオシーズルー方式で撮影された映像から画像処理によりこれらの劣化を推定し、さらに仮想物体にその劣化を擬似的に再現し画質の違和感の無い拡張現実環境の実現を試みた。

2) 複数カメラを用いた光源環境推定手法の高精度化

現実環境と仮想環境の3次元位置合わせ問題である幾何学的整合性に加えて、陰影表現の矛盾を解消する光学的整合性も写実性の高い拡張現実環境を構築するには欠かせない課題である。しかし従来手法では、このような合成画像を生成する際、陰影表現に必要な実環境の光源環境を簡易推定するため正確な影の表現が困難であることなど、多くの問題点が存在する。そこで本研究計画では、拡張現実感においてより写実性の高い合成画像の生成を目的とした、実時間陰影表現手法の開発・検討を試みた。また、高速シャッターカメラやマルチカメラを導入することで、ハイダイナミックイメージを撮影することで、より詳細な光源環境の推定を行った。

3. 研究の方法

本研究では、カメラで撮影した実シーンの映像に仮想物体を合成するビデオシーズルー型拡張現実感において、写実性の高い合成画像の生成を目的としている。本研究では以下の研究項目に関して技術開発を行った。

1) カメラの焦点ずれとモーションブラーの実時間推定による画質の整合性の向上

画質の整合性問題に関して、カメラによって実環境のシーンがどれだけ劣化するかを実時間で推定し、仮想物体にその劣化を擬似的に再現する。本年度はカメラによる画質の劣化の原因であるレンズの焦点ずれによるぼけの推定を主としておこなう。具体的には、マーカとカメラの位置関係を推定するために利用するマーカが、画像上でどの程度ぼけが発生しているかを推定することでカメラの焦点ずれに起因するぼけの大きさ(パラメータ)を推定する。その際、第一段階として

問題を簡単化するため、1つのマーカ上ではレンズぼけは一定であるという仮定を用いた。本研究では、撮影中にカメラと被写体の位置関係が変化することで発生するモーションブラーの内、カメラの回転によって発生するモーションブラーに関して推定・再現手法の開発を行った。カメラの回転運動に起因するモーションブラーは画面全体で均一に発生する特徴があるため、ぼけモデルの簡単化が可能であり、焦点ずれによるぼけと、モーションブラーによる画質劣化パラメータの同時推定の第一段階として開発を行った。

2) 複数カメラを用いた光源環境推定手法の高精度化

多種のカメラを併用して実シーンの光源環境のより高精度な推定手法を開発した。従来の手法では、ユーザに提示するために実環境をカメラで撮影した画像から光源環境の同時推定を試みていたが、一般的に光源の輝度が強い実シーンと鏡面球に映りこむ光源の双方が同時に鮮明に撮影されることは困難であった。この問題を解決する手法として、ハイダイナミックカメラ(広範囲輝度を同時に撮影可能なカメラ)を利用することが一般的である。しかし、ハイダイナミックカメラは小型化が困難で、ビデオシーンスルー型拡張現実感で利用されるヘッドマウントディスプレイに取り付けることは難しい。そこで本研究では、近年小型化が可能となった高フレームレートカメラを利用することで、広範囲の輝度を含む画像(一般的な実シーンと光源を同時含む画像)の撮影を試みた。具体的には高速フレームレートで実環境を撮影することで、それらの画像を用いて擬似的にハイダイナミック画像を生成した。これにより、高精度な光源環境の推定が可能となる。

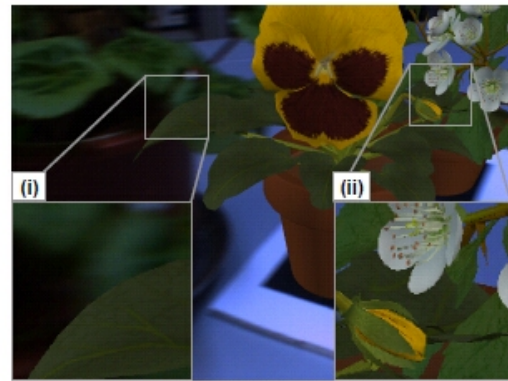
また、異なるシャッタースピードを設定した複数のカメラで現実環境を撮影し、それら撮影画像から撮影環境に応じて合成に利用する画像を適応的に選択することで、HDR画像の実時間生成を実現した。

4. 研究成果

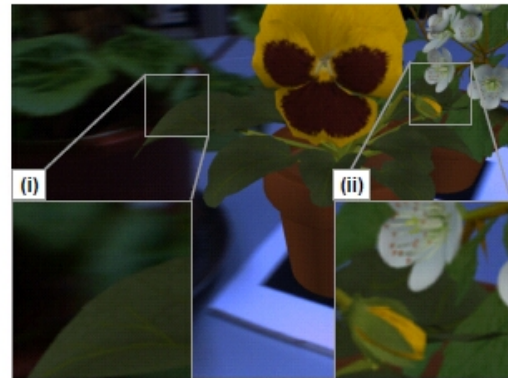
本研究では、各研項目に対し以下の成果を得た。

1) カメラの焦点ずれとモーションブラーの実時間推定による画質の整合性の向上

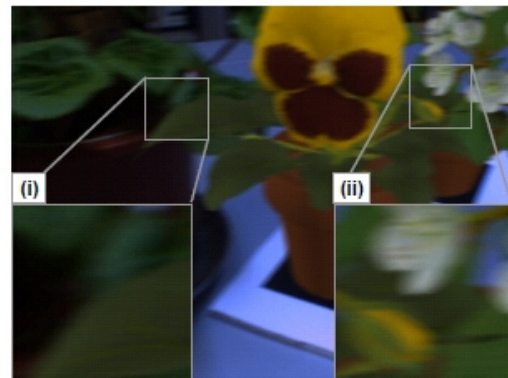
楕円PSFに基づくぼけの推定処理を行い、カメラの合焦位置とモーションブラーのパラメータを推定している。本研究では様々な大きさのモーションブラーが発生した場合における、カメラの合焦位置とモーションブラー



(a) Image composition without blur representation



(b) Image composition with defocus blur representation



(c) Image composition with motion blur and defocus blur representation (proposed method)

図1 ボケを考慮した合成画像

ーパラメータの推定精度の評価を行った。提案手法は画質の一致を図る手法であり、応用例としてインテリアデザインのシミュレーションなど、仮想物体と実物体の光学的整合性が重要なアプリケーションが考えられる。本実験では提案手法による画質の一致の有効性を確認するため、仮想インテリアデザインを想定し、仮想物体として植木鉢を用いた画像合成実験を行った。幾何学的整合性の解決には実環境中に配置された2個のマーカを用い、カメラ座標系におけるそれぞれのマーカの位置・姿勢を用いて仮想物体の位置合せを行った。

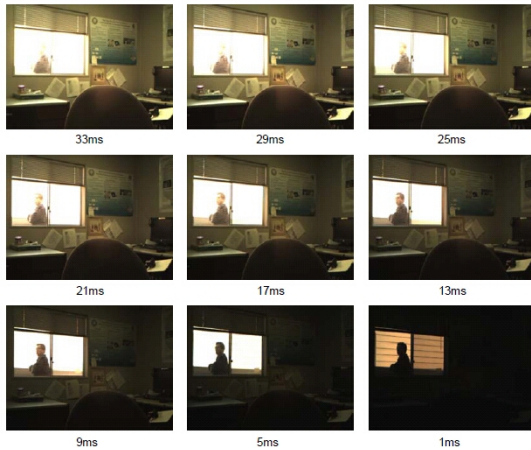


図 2 入力画像

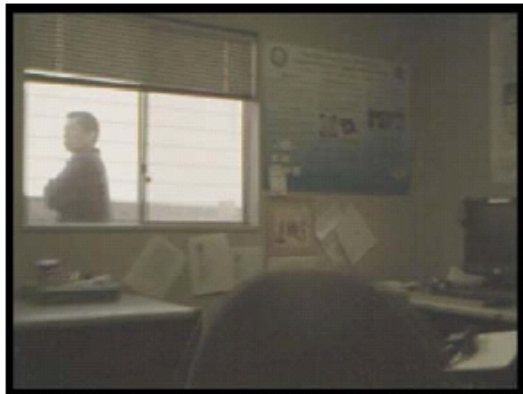


図 3 合成された HDR 画像

図 1 において、(a) はぼけ再現を行わない画像合成結果、(b) は焦点ずれによるぼけのみを再現した画像合成結果、(c) は提案手法によって焦点ずれによるぼけとモーショントラを再現した画像合成結果であり、実画像に焦点外れによるぼけと、カメラの水平方向の回転によるモーショントラが生じている。(a) において、仮想物体は常に鮮明に描画されているため実物体との画質の差が発生してしまい違和感が大きい。これに対して (b) では、焦点ずれに応じたぼけが再現されており、画質の差が軽減できている。しかし、実画像にモーショントラによる強いぼけが発生しているにもかかわらず仮想物体にはぼけが生じていないため、依然として違和感が残っている。(c) ではモーショントラも再現されているため、画像全体の画質が実画像と似ており違和感が大幅に軽減できていることがわかる。

1) 複数カメラを用いた光源環境推定手法の高精度化

実際に提案手法を用いて、マルチカメラユニットを利用し、HDR 画像の実時間生成実験を行った。本実験では、マルチカメラユニットの 25 眼のカメラ内、3 × 3 の 9 眼のカメラ

ラを利用して生成実験を行った。使用したカメラの露光時間の可能範囲は、1~33ms の間であるため、各カメラの露光時間はそれぞれ、33, 29, 25, 21, 17, 13, 9, 5, 1ms に、 $\gamma = 2.0$ に設定した。

図 2 に、9 眼のカメラで撮影された入力画像を示す。撮影環境は、屋内にカメラを設置し、窓の外が同時に撮影されている環境である。露光時間が長いカメラでは、暗い部分が撮影可能であるが、明るい部分はサチレーションが起こり白飛びしてしまっていることが分かる。逆に、露光時間が短い画像では、暗い部分は画素値が低くほとんど情報がないが、窓の外のような明るい部分でも正確に撮影されていることが確認できる。図 3 に、生成した HDR 画像を、表示可能な階調を超える階調を持った画像を表示可能な階調に変換を行うトーンマッピング手法を用いて、表示した例を示す。結果より、暗い部分と明るい部分が同時に計測され、表現が可能になっていることが確認できる。

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 1 件)

- (1) 奥村 文洋, 神原 誠之, 横矢 直和: "焦点外れによるぼけとモーショントラの推定に基づく拡張現実感における光学的整合性の実現", 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol. J90-D, No. 8, pp. 2126-2136, Aug. 2007.

[学会発表] (計 8 件)

- (1) 神原 誠之, Tobias Hollerer, 横矢 直和: "マルチカメラを用いたハイダイナミックレンジ画像の実時間生成", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2009) 講演論文集, 2009, 松江・島根, 査読無. (掲載確定)
- (2) M. Kanbara, T. Hollerer, and N. Yokoya: "Image Acquisition high dynamic range image multiple cameras", Proc. The Int. Conference on Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP2009), 2009, Cambridge UK, 査読有. (掲載確定)
- (3) Y. Nishina, B. Okumura, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Photometric registration by adaptive high dynamic range image generation for augmented reality", Proc. IEEE and ACM Int. Sympo. on Mixed Augmented Reality (ISMAR 08), pp. 53-56, 2008 年 9 月 18 日, Cambridge UK, 査読有.
- (4) 仁科 勇作, 奥村 文洋, 神原 誠之, 横矢 直和: "適応的なハイダイナミックレ

- レンジ画像合成による拡張現実感のための
光学的整合性の実現”, 画像の認識・理解
シンポジウム(MIRU2008)講演論文集, pp.
1108-1113, 2008年7月30日, 軽井沢・
長野, 査読無.
- (5) 仁科 勇作, 奥村 文洋, 神原 誠之, 横
矢 直和: “適応的なハイダイナミックレ
レンジ画像合成による拡張現実感のための
光源環境推定”, 電子情報通信学会 技術
研究報告, PRMU2007-193, 2008年1月18
日, 龍谷大学、滋賀, 査読無.
- (6) B. Okumura, M. Kanbara, and N. Yokoya:
“Precise Geometric Registration by
Blur Estimation for Vision-based
Augmented Reality”, Proc. IEEE and ACM
Int. Sympo. on Mixed Augmented
Reality(ISMAR 07), pp. 221-224, 2007
年11月16日, 奈良県新公会堂、奈良, 査
読有.
- (7) 仁科 勇作, 奥村 文洋, 神原 誠之, 横
矢 直和: “ハイダイナミックレンジ動画
像からの光源推定によるビデオシースル
ー型拡張現実感”, 日本バーチャルリア
リティ学会第12回大会論文集, pp.
522-525, 2007年9月21日, 九州大学、
福岡, 査読無.
- (8) 奥村 文洋, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡
張現実感のための画像のぼけ推定に基づ
くカメラ位置姿勢推定の高精度化”, 画
像の認識・理解シンポジウム(MIRU2007)
講演論文集, pp. 1552-1557, 2007年8
月1日, 広島市立大学、広島, 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・助教

研究者番号: 10346306