

CGと実写のリアルタイム合成時におけるレンズ歪の考察 A Study on the Lens Distortion Parameters for Realtime Composition of CG and Real Shot Image

大久保 英彦† 津田 貴生† 三ッ峰 秀樹† 山内 結子† 井上 誠喜†
Hidehiko Okubo Takao Tsuda Hideki Mitsumine Yuko Yamanouchi Seiki Inoue

1. はじめに

昨今の映画やテレビのコンテンツをみると、カメラアクションを含んだ実写映像とCGの合成映像が当たり前のように使用されている。これらは、コンピュータービジョンの成果を取り込んだカメラ位置割り出し(マッチムービング)ツールが一般的になり、比較的容易に実写の動きとつじつまの合ったCGが生成できるようになったためである。一方リアルタイムにCGと実写を合成するバーチャルスタジオも多くのテレビ番組で利用されているが、リアルタイム性を保つ為に大胆なカメラモデルの簡略化を行っているために、精度という意味では犠牲になっている面がある。

本研究においては、より高性能なリアルタイムHDTVバーチャルスタジオシステムの構築をめざし、「実写の位置により正確に一致した」CG生成を行うべく、撮影しているテレビカメラのレンズ歪をリアルタイムにシミュレートさせるシステムを試作した。そして、従来の場合とを比較し、CGと実写合成時の「滑り」がどの程度改善されるかを検証したので報告する。

2. バーチャルスタジオのレンズパラメータ

実写の位置に正確にCGを一致させるためには、実写のカメラレンズをパラメータ化した「レンズパラメータ」が必要である。「レンズパラメータ」は、幾何学的な意味により、レンズの位置・姿勢を表す外部パラメータと焦点距離や光軸中心位置、レンズ歪などの内部パラメータに分類される。放送用のバーチャルスタジオでは、一般にカメラの位置・撮影姿勢をある基準から相対的に割り出すために、ペDESTAL・雲台に搭載されたロータリーエンコーダーの値を利用している。またズームレンズについても、ズーム・フォーカスに同様のエンコーダーを搭載し、ズーム・フォーカスの値に対する画角やレンズ主点位置をテーブル化したデータをもとにそれらの値を決定している。このデータが「レンズパラメータ」としてCG描画装置に対して与えられ、CGが生成される。その際、内部パラメータとして焦点距離と光軸中心座標のみを取り扱うためにズームレンズの広角部ではレンズ歪の影響をうけて画面縁部での実写とCGのずれが顕著となる。そのため、例えば実写の床にCGオブジェクトが接地した状態でフレーム外からフレームインさせるような演出は制限される。さらに、外部パラメータとしてカメラ(レンズ)の位置を決定するプロセスも、大体のカメラ位置を巻尺などを利用した計測で求めたのち、実写とCGの合成画像を頼りに「見た目」でのカメラ(レンズ)位置あわせを行っているのが通常であり、画面全域における整合よりも、演出上必要な条件を満たすような限定的な整合を中心に考えられている。

そういった画面全域の整合性を高めるためには、レンズ

歪を考慮するためにそれをパラメータ化し、CG側に適用させると同時に、外部パラメータについても正確に再現させる必要があると考えられる。

3. レンズ歪のシミュレート実験

3.1 実験手法

本実験では、レンズ歪はHeikkilä [1]のモデルを使用した。これをリアルタイムにCG上でシミュレートするためにGPU(Graphics Processing Unit)プログラミングを利用した。具体的には、シーンを無歪でオフスクリーンレンダリングし、レンズ歪変形用スクリーンオブジェクトを歪による「けられ」分を考慮にいれて拡大した後に頂点シェーダー(vertex shader)を使用して歪を適用し、テクスチャマッピングを行った。

そして、実写と生成CGとの整合性の測定のために、以下の方法で評価をおこなった。

① レンズの内部パラメータの測定:

キャリブレーションツールとしてJean-Yves Bouguet氏により公開されているMatlabスクリプト[2]を利用した。これは市松模様のパターンを撮影した複数の画像からレンズの内部・外部パラメータを最適化して求めるものである。ここでは、さまざまに配置した17枚の画像から内部パラメータを算出した。

② カメラの位置および姿勢(外部パラメータ)の測定:

市松模様のボードを床に固定し世界原点を設定した。上記と同様に24枚の画像からそれぞれの外部パラメータを求め、実際のカメラ(レンズ)の位置を算出した。

③ CGと実写の合成時のずれ量を測定:

世界原点にCGオブジェクトを配置し、パン動作をおこなって実写の世界原点および連動したCGの画面上の位置を測定した。それぞれを二次元の座標データとして取り出したのち、ピクセル距離を割り出した。

④ 従来手法でのずれ量を測定:

従来手法で外部パラメータを設定、レンズ歪を適用せずに③と同様の測定を行った。

なお、今回の実験ではペDESTAL移動は行わず、またズーム・フォーカス値は固定値について測定した。

3.2 システム構成

CG描画システム:

PC: HP xw9300 / nVidia QuadroFX 4000SDI PCI-E

カメラシステム: NHK技研 知的ロボットカメラ [3]

レンズ: Canon HJ16x8B4 カメラ: 池上 HDL-37

※実験使用時 ... 水平画角 57.99° (ワイド端)

... 合焦距離 3,580 mm で固定

雲台: Pan 0.0018°/パルス, Tilt 0.0009°/パルス

† 日本放送協会 放送技術研究所 (人間・情報)

3.3 実験結果

上記①で取得したレンズ内部パラメータを図1,2に示す。

パラメータ	算出結果
レンズ焦点距離 fc (水平, 垂直) 単位: pixel	(1741.2203, 1738.0837)
光軸中心座標 cc (水平, 垂直) 単位: pixel (左上原点)	(959.4673, 579.3543)
レンズ歪係数 kc (1, 2) Radial	(-0.15574, 0.14164)
レンズ歪係数 kc (3, 4) Tangential	(0.00332, -0.00080)
画角 fov (水平, 垂直) 単位: degree	(57.739, 34.503)

図1. レンズ内部パラメータ

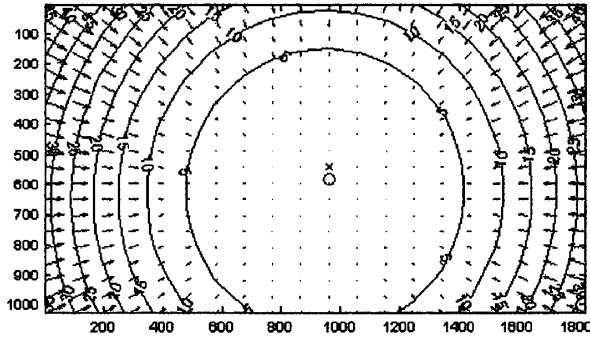


図2. レンズ歪の分布 (Radial+Tangential)

次に、図3にパン角度に対する実写原点とCG原点のずれ(ピクセル距離)を測定した実験結果、および、図4にずれの量を可視化した差分合成画像を示す。

4. 考察

内部パラメータに関しては、算出パラメータを適用することで、十分に精度の高いCG上での歪再現が実現できた。

外部パラメータについては、撮影した24サンプルの画像から得られたそれぞれのカメラ(レンズ)位置と、そのときに指定したパン・チルト角のデータとの間で整合をとることが必要であった。今回は簡便な方法としてパン方向の角度データに対するレンズの光軸方向微調整用のテーブルを作成し対応した。データ上は65°のパン角度回転に対して、パン・チルトともに約0.25°程度の光軸補正をかけることとなったが、カメラが回転系の運動を行うため、この補正は非常に有効であった。

図3で示すように、Aの提案手法はパン角度全域にわたって原点位置を精度よく再現できた。レンズ歪パラメータのみを無効にしたBでは、原点部分が画面中心にある場合は良好だが、周辺に外れるにしたがって実写との差が生じている。

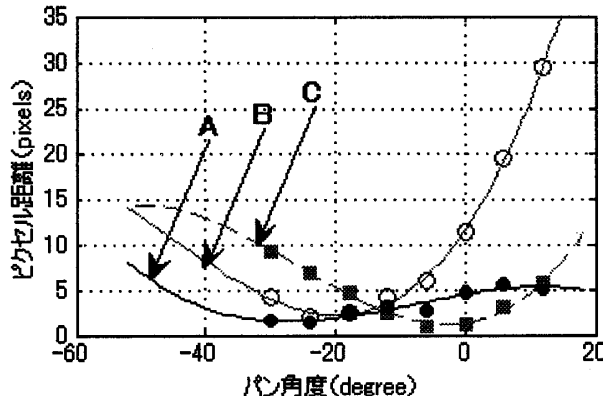


図3. パン角に対する実写とCGの原点のずれ (A: 提案手法, B: レンズ歪を無効, C: 従来手法)

Cはレンズの画角データと位置の実測をもとに合成画面の上の見た目あわせで(特に原点部分の位置精度に留意して)カメラ位置を調整したものである。それゆえ、データ上はパン角度全域にわたり精度よく見えるが、点ではなく面でその差異をとらえると、図4の差分合成結果が示すとおり色のついた誤差部分が提案手法に比べ大きくなっている。

また、描画システムのパフォーマンス測定のために、NVPerfHUD [4]のフレームプロファイラを利用した。1920x1080,60fpsは問題なく出力し、描画処理にオフスクリーン・頂点シェーダーを使用しない場合は1パイプライン処理に1.044ms、使用時にも1.657ms程度で、処理そのもののオーバーヘッドは問題ない程度だと考えられる。

5. まとめ

本研究では、HDTV解像度のCG生成においてもリアルタイムにレンズ歪をシミュレートできることを確認した。また、実験の結果から、画面全域においてより正確なバーチャルスタジオを実現する可能性を見出した。

最近ではバーチャルスタジオをVFXシーン制作におけるプレビューライゼーションとして、撮影現場でリアルタイムに合成結果を確認する手段としての利用も見込まれている。精度や運用性の向上など、残存する課題を克服して、制作現場での実使用を目指したいと考えている。

参考文献

- [1] J. Heikkilä, & O. Silven, "A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction". IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Juan, Puerto Rico, p. 1106-1112. 1997.
- [2] Jean-Yves Bouguet, "Camera Calib. Toolbox for Matlab", http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html
- [3] 津田貴生他: 「ネットワーク接続されたロボットカメラを用いた自動番組制作」, 映像情報メディア技術報告, Vol.26, No.17, Feb., 2002.
- [4] http://developer.nvidia.com/object/nvperfhud_home.html

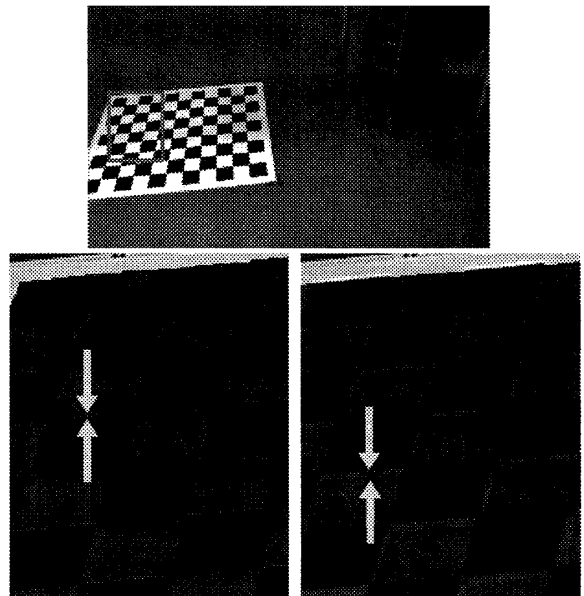


図4. 実写画像(上)と、CGチェッカーボードとの差分合成画像の一部(左下: 提案手法(A)、右下: 従来手法(C))