

ロータリーエンコーダと超音波センサを用いた

多自由度カメラトラッキング

A Camera Tracking Method Using Rotary Encoders and Ultrasonic Sensor

百田 裕^{†1} 大島 登志^{†2} 天目 隆平^{†3} 柴田 史久^{†1} 田村 秀行^{†1}
Yutaka Momoda Toshikazu Ohshima Ryuhei Tenmoku Fumihisa Shibata Hideyuki Tamura

1. はじめに

近年の映画製作では、事前に撮影シーンをフル CG 映像で可視化する PreViz (Pre-Visualization) が作業効率を向上させるために活用されている。我々は従来の PreViz に MR 技術を応用し、撮影現場でカメラワーク^{*1}の試行錯誤が行えるよう発展させた MR-PreViz の研究を行っている[1]。本稿では MR-PreViz にて高精度な幾何学的整合性を実現することを目的として、ロータリーエンコーダと超音波センサを併用した位置合わせ手法を提案する。

MR に関する研究事例の多くは HMD をトラッキング対象としており、頭部運動の特性を精度の向上に利用する手法が報告されている[2]。本提案手法では HMD ではなく映画撮影に用いるデジタル HD カメラをトラッキング対象とし、映画撮影特有の機材を利用した時のカメラの移動の特性を考慮し、精度の向上を図る。

2. MR-PreViz における幾何学的整合性

2.1 映画撮影におけるカメラ移動手段

映画撮影においては、表 1 に示すようなカメラ設置機材が使用される。機材により独立に操作できるカメラの移動自由度が異なり、また、操作自由度の各軸の特性もそれぞれ異なる。表中、レール移動は床面上での 2 次元移動であるが、レールの上に拘束されるので位置移動の自由度としては 1 とした。提案手法ではこの中でも ~ の移動手段を用いた場合を対象とする。

表 1: 映画撮影におけるカメラ移動手段とその特徴

移動手段	自由度 (移動)	操作内容
三脚	2 (0)	パン+チルト
ドリー (タイヤ)	4 (2)	パン+チルト+床面移動
直線形レール	3 (1)	パン+チルト+直線移動
円弧形レール	3 (1)	パン+チルト+曲線移動
クレーン	5 (3)	パン+チルト+空中移動
ステディカム	6 (3)	自由移動 (振動軽減)
手持ち	6 (3)	自由移動

2.2 MR-PreViz カメラトラッキングシステム

MR-PreViz システムでは、カメラの位置姿勢計測に 2 つのロータリーエンコーダが組み込まれたカメラ雲台を利用している。この方式は、バーチャルスタジオにおいて

一般的に用いられている方式である。また、カメラレンズにはレンズエンコーダが取り付けられており、レンズエンコーダの出力するズーム値とフォーカス値からテーブルを参照し、カメラ内部パラメータ^{*2}が得られる (図 1)。以上により、本システムで 2 自由度のカメラトラッキングが実現されている[1]。

我々が研究を進めている MR-PreViz では、屋内外両環境でパン・チルト以外のカメラ移動も含めた多自由度の位置合わせの実現を目指している。多自由度化への取り組みの第一段階として、今回、屋内での 6 自由度計測を実現するために、従来のシステムに加え、照明や磁界の影響を受けない超音波式 6 自由度センサ IS900 (InterSense 社) を導入した (図 2)。提案手法ではロータリーエンコーダと超音波センサを併用し、カメラ移動手段により場合分けを行った適応的アルゴリズムを検討することで、高精度な幾何学的整合性の実現を試みた。

3. 多自由度カメラトラッキング手法

提案手法ではロータリーエンコーダと超音波センサ出力からカメラの移動状態を推定し、その状態と各センサの特長に基き適応的にセンサ出力を使い分ける (表 2)。

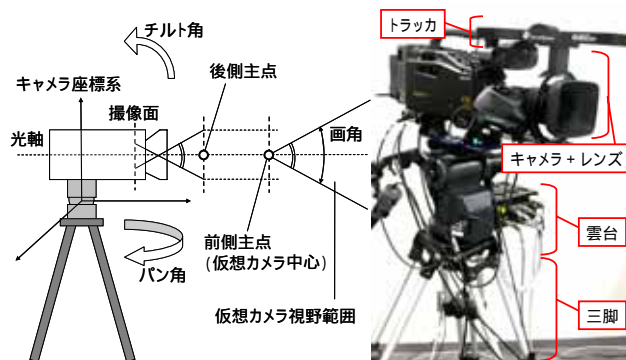


図1: カメラ座標系

図2: システム構成

表2: エンコーダと超音波センサ (IS900) の比較

	エンコーダ	超音波センサ
位置精度	N/A	4mm RMS
角度誤差	N/A (分解能 1/900°)	(tilt/roll) 0.2° RMS (pan) 0.4° RMS
動作環境の制限	特になし	物理的遮蔽に弱い
計測自由度	2自由度	6自由度
初期キャリブレーション	毎回運用前に必要	設置時のみ必要

^{†1}立命館大学 情報理工学部

^{†2}立命館大学 映像学部

^{†3}立命館大学 総合理工学研究機構

*1 「カメラ」は物理的な映画撮影用カメラを指す

*2 「カメラ」は理論上の仮想カメラを指す

表 1 中の ~ の場合では、いずれもカメラの高さとロール角は一定と見なし、その他 4 つの位置姿勢情報は以下のように求める．超音波センサの平面座標値を (x_{is}, y_{is}) 、パン角とチルト角を θ_{pan_is} 、 θ_{tilt_is} とし、エンコーダのパン角とチルト角を θ_{pan_enc} 、 θ_{tilt_enc} とする．チルト角は、雲台の水平が正確に保たれているものとし、常に θ_{tilt_enc} を適用する．その他 3 つの位置姿勢情報は、移動手段により異なる算出方法を適用する (図 3) ．

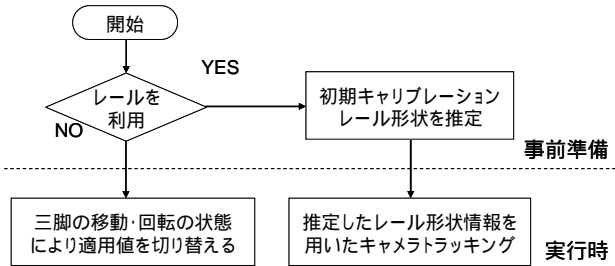


図 3：提案手法の手順

3.1 三脚・ドリーでのトラッキング

表 1 中の ~ の場合では、三脚の移動・回転の状態によりパン角 θ_{pan} と平面座標値 (x, y) に適用する値を切り替えることで、三脚の移動・回転が静止時にノイズ性の誤差を低減する．

パン角については、三脚が回転中は θ_{pan_is} を適用する．フレーム間の θ_{pan_is} の変化により三脚の回転の状態を判定し、回転が静止した際にはパンオフセット量 θ_{pan_offset} を θ_{pan_is} と θ_{pan_enc} の差分として求め、三脚の姿勢が静止中は θ_{pan_is} と $(\theta_{pan_enc} + \theta_{pan_offset})$ を重み付けした値を適用する (表 3) ． $P_{threshold}$ は実験的に求めた値、 w_{pan} は重み係数であり以下のように定義する．

$$w_{pan} = \frac{|\theta_{pan_is} - (\theta_{pan_enc} + \theta_{pan_offset})|}{P_{threshold}} \quad (1)$$

平面位置座標については、三脚位置が移動中は (x_{is}, y_{is}) を適用する． (x_{is}, y_{is}) と (x_f, y_f) の距離 D により三脚の移動の状態を判定し、移動が静止した際にはそのときの平面座標位置を (x_f, y_f) として求め、三脚位置が固定している間は (x_{is}, y_{is}) と (x_f, y_f) を重み付けした値を適用する (表 4) ． $D_{threshold}$ は実験的に求めた値、 w_{pos} は重み係数であり、以下のように定義する．

$$w_{pos} = \frac{D}{D_{threshold}} \quad (2)$$

表 3：適用するパン角の切替え

三脚姿勢	静止中	回転中
θ_{pan}	$w_{pan}\theta_{pan_is} + (1-w_{pan})(\theta_{pan_enc} + \theta_{pan_offset})$	θ_{pan_is}

表 4：適用する平面位置座標の切替え

三脚位置	静止中	移動中
x	$w_{pos}x_{is} + (1-w_{pos})x_f$	x_{is}
y	$w_{pos}y_{is} + (1-w_{pos})y_f$	y_{is}

3.2 レールでのトラッキング

表 1 中の ~ の場合では事前に初期キャリブレーションにてレール形状を推定し、実行時には計測した位置座標値を

レール上に補正し、エンコーダのパン角とキャリブレーション時に推定したパンオフセット量の和をパン角として適用する．

初期キャリブレーションでは、設置したレール上でカメラを端から端まで移動させながら計測値を記録する．その際は雲台上のカメラは固定しておき、 θ_{pan_is} の値の変化によりレール形状が直線か円弧かの識別を行う．そして、レール上を移動中に得られた座標値 (x_{is}, y_{is}) を入力とする回帰分析を行い、カメラの移動の軌跡とそのときのパンオフセット量の変化を推定する．直線形レール上では、カメラの移動の軌跡を一次式の回帰直線として計算し、パンオフセット量は一定とする．円弧形レール上では、カメラの軌跡とパンオフセット量の変化をそれぞれ三次多項式の回帰曲線として計算する．

4. 実験結果

提案手法の有用性を検証するために実験を行った．使用ハードウェアは、デスクトップ PC (CPU:Xeon 3.60GHz, GPU: nVIDIA QuadroFX 3450/4000, メモリ:4.0GB) , HD デジタルカメラ (Sony HDW-F900R) , ズームレンズ (Canon HJ22ex7.6B) , カメラヘッド (昭特製作所製 ビスカム 150 TU-03) 等である．図 3 に推定したレールの軌跡とセンサ実測値を示す．センサ実測値をレール軌跡上に補正することにより、の誤差が低減されることが分かる．

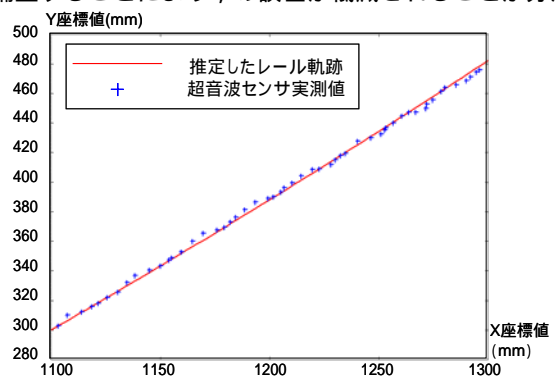


図 3：レール軌跡とセンサ実測値

5. むすび

本稿は、映画撮影に用いられるデジタル HD カメラをトラッキング対象としたセンサベースのトラッキング手法について述べた．提案手法は、映画撮影特有の機材を利用した時のカメラの移動の特性を考慮し、精度の向上を図った．今後は屋外でも利用可能なビジョンベースの位置合わせ手法の提案を目指す．本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業「映画制作を支援する複合現実型可視化技術」及び、一部、科学研究費補助金 (若手研究 (スタートアップ) No.18800062) による．

参考文献

- [1] 一刈他：“MR-PreViz：映画制作のための複合現実型プレビジュアルゼーション”，第 2 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集，2 - 4, 2006.
- [2] 横小路, 菅原, 吉川：“画像と加速度計を用いた HMD 上での映像の正確な重ね合わせ”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol4, No.4, pp. 589 - 598, 1999.