

ランドマーク DB を利用するビジョンベース MR トラッキング法の性能向上に向けての諸方策

北村 一博 井上 敬介 露無 将斗 一刈 良介 柴田 史久 田村 秀行

立命館大学 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: kitamura@rm.is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 我々は、複合現実感技術を用いて映画制作を支援する MR-PreViz の研究を行っており、ランドマークデータベースに基づくカメラトラッキング手法を採用している。本稿では、データベース構築時とトラッキング時で近いカメラパスを辿るように制限した「リハーサル・パス法」を提案する。またビジョンベースの手法において、自然特徴点が十分に得られないシーンや、カメラ移動が速い場合は位置合わせが難しいという問題がある。そこで、本研究ではトラッキングが困難なシーンに対して、ロータリーエンコーダや人為的マーカの併用により位置合わせを可能とする対処法を提案し、その効果を実験により確かめた。

キーワード 複合現実感, カメラトラッキング, ランドマークデータベース

Various Efforts Towards Performance Improvement of Vision-based MR Tracking Method Using the Feature Landmark Database

Kazuhiro Kitamura, Keisuke Inoue, Masato Tsuyumu,

Ryosuke Ichikari, Fumihisa Shibata, and Hideyuki Tamura

Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: kitamura@rm.is.ritsumeai.ac.jp

Abstract We are researching MR-PreViz that assists filmmaking using Mixed Reality. In this research, we adopt "Rehearsal path method" which can automatically construct feature landmark database using a constraint of camera work. We restrict the camera-work at the MR tracking to almost same camera work at the database construction. Vision based camera tracking methods including the proposed method often suffer from lack of natural feature points and fast moving of the camera. We attempted some efforts towards performance improvement of the proposed method for solving these problems. This paper introduces the effort of refining algorithm, the effort of arranging objects and utilizing rotary encoders, and the results and discussion about the efforts.

Keyword Mixed Reality, Camera Tracking, Feature Landmark Database

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) において、現実世界と仮想世界の幾何学的整合は最重要課題であり、活発に研究され、数多くの手法が提案されてきた[1].

ビデオシーンスルー方式で画像認識が利用できる場合には、アルゴリズムが簡便で安定した結果が得られることから、現実世界に人為的マーカを配置する方法が広く流通している。一方、対象シーン中の特徴点を利用するマーカレス法の研究も活性化し、並列化や特徴点探索の工夫により、高い追跡性能や計算量の軽減を達成したものも登場している[2][3].

これらは手法的には汎用であるが、必然的に対象シーンの内容や複雑さに依存するので、万能とは言い難

い。現在、位置姿勢決定や追跡性能のベンチマーク・テスト方法が検討されているが[4]、まだどの手法がどんな場合に有力かを決定できる状況にはない。

我々は、目立たない人工マーカの提案から、視聴覚併用 MR の実現、モバイル端末用共通フレームワークの実装まで、総合的に視点から MR 研究を推進している。困難な実問題への応用としては、映画制作における事前可視化 (Pre-Visualization) を選択し、MR-PreViz プロジェクト[5]を進めてきた。これは、屋内外の撮影現場の実背景に予め用意した CG データを MR 合成 (リアルタイム 3D マッチムーブ) する機能を提供し、カメラワークの事前検討や美術セットデザインのシミュレーションを支援するものである。

ここで、カメラワークがパン、チルトの2自由度に限定される場合は機械式のロータリーエンコーダの利用、屋内スタジオでの多自由度の実現には天井に配した物理的センサの併用を採用してきた。この技術体系を屋外での自由なカメラワークへと発展させるため、自然特徴点ベースの6自由度MRトラッキング法として、武富らのランドマークデータベースを用いる手法[6]（以下、LMDB法）を採用し、その改良を図ってきた。LMDB法を選択した主たる理由は、PTAM[2]等に比べて、撮影対象となるMR空間の世界座標を決定しやすいこと、オープンセット等、利用頻度の高い対象環境に対して、LMDBの構築経験が有効利用できる等の特長を有していたからである。

LMDB法の改良[7]により、手持ちカメラ移動にも耐え得るかなりパワフルな方法に育ってきたが、屋内ロケ地での様々な光景に適用すると、十分な性能を発揮できない場合が生じてきた。自然特徴に頼る手法ゆえに遭遇する問題である。我々は、多数のMR-PreViz撮影を経験する中で、状況に応じた種々の対策法を考案し、問題解決を図ってきたが、これらはMRトラッキング法一般にも通じる問題であるので、本発表では、この問題解決法を体系的に整理して報告する。

これまでに数々の屋外撮影実験、実映像制作内での利用の結果、すべての場合において高精度にカメラトラッキングを行えたわけではなく、実問題を対象にすることで判明する問題点や、それを解決する方策を検討する上での知見が得られた。

本稿では、提案手法を屋外MR-PreViz撮影に用いる上で遭遇した問題の解決に向け施した改良を加え、手法の性能向上につながる諸方策について述べる。

2. リハーサル・パス法

LMDB法に対する我々の主な改良点は、既に報告[7]したが、その要点は以下の通りである。

(1) LMDB構築作業に必要なだったシーンの基準点の計測作業を、人為的マーカを用いることで完全自動化した（武富らは光学測量器を用いて測定していた）。

(2) MRトラッキング時にとるカメラパスを事前想定し、その想定パスに沿ってLMDBを構築することで、作業の効率化を達成した。

(3) 特徴点のマッチングにSIFT特徴量を採用し、キーフレーム探索を用いた初期化の自動化とトラッキング破綻からの復帰処理の実現した。

この方法を映画にちなんで「リハーサル・パス法(Rehearsal Path Method; RPM)」と名付けた。この名称の由来は、図1に示すように、明示的にLMDB構築とLMDB利用の2つのフェーズをもつ構成を採用したことによる。「リハーサルフェーズ」では、想定する大まかなカメラパスに沿ってシーンを撮影し、

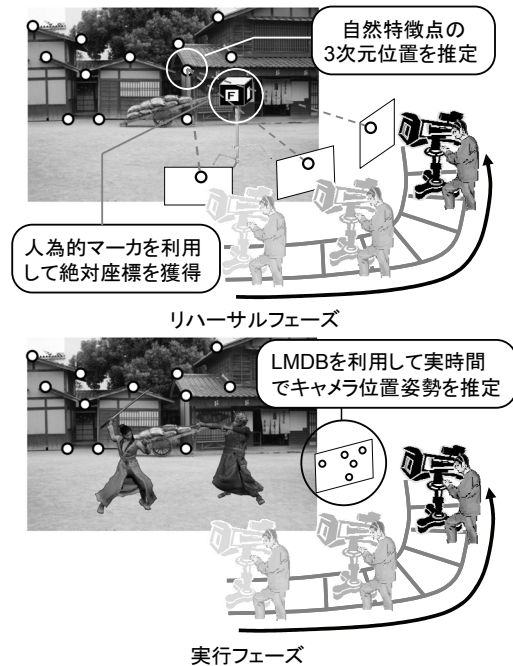


図1：RPM法の2つのフェーズ

LMDB構築に登録する情報を自動収集する。なお、特徴点検出器としては、Harrisオペレータ[8]を用いている。この際、人為的マーカを撮影中に映すことで、マーカを原点にした座標系で特徴点の3次元位置を推定するが、「実行フェーズ」では、この人為的マーカを取り除くという点がミソである。

このRPM法の導入により、屋外での6自由度3Dマッチムーブは飛躍的に性能向上したが、それでも尚、実際のMR-PreViz撮影現場に向くと、数々の困難な問題に遭遇した。撮影中の日照条件の変化、想像以上の激しいカメラワークを望む監督の意向、等々である。パラメータの調整等で対処できる場合もあるが、どうしても解決できない場合の大半は、対象とするシーンやその特徴点が、アルゴリズム開発時の想定よりも多様であり、自然特徴ゆえの問題であった。

問題を整理すると、

- ・特徴点が十分な数検出されない場合
- ・特徴点が追跡できない場合

に大別できることが判明した。これは、LMDB法やRPM法だけでなく、他のマーカレス・トラッキング法全体に通じる問題である。それぞれの場合についての我々の対処法を、以下の章に記す。

3. 特徴点の検出が困難な場合

3.1. 問題点

RPM法を屋外MR-PreViz撮影において用いる場合、特徴点検出器により検出される特徴点の数が少ないとLMDBの構築、及びトラッキングにおいて精度や頑健性が低下する。具体的には、RPM法ではLMDB構築時の初期基準点の算出に、8点の対応関係からF行列

を線形的に解く **Eight-Point Algorithm**[9]を用いており、対応関係を得るためには対応する特徴点の候補が検出される必要がある。また、8 点以上対応が取れていたとしても、少ない対応関係から **PnP** 問題を解いて推定した場合、誤差や誤対応が含まれる可能性が高くなり、カメラ位置姿勢の精度が悪くなる。この特徴点数の減少は、以下の原因によるものだと考えられる。

・ **環境自体に特徴点が少ない**

図 2 に示すような、模様やコントラストが少ない情景においては特徴点検出器に検出される特徴点数が少なくなる。特徴点検出の閾値を下げることにより、多くの特徴点を検出したとしても、その結果は不安定で同じ場所に安定して検出される再現性が低く、トラッキング精度の向上は期待できない。

・ **照明が暗い**

照明が暗くなると、入力画像のコントラストが低下して、特徴点を検出することが困難になり、検出数が低下する。屋外は照明環境が一定でないため、常に同じ検出結果を得ることも難しくなる。特に、**LMDB** 構築時とトラッキング時で照明変化が激しい場合は、対応する点がマッチングに失敗する可能性が高くなる。

・ **カメラ移動によるモーションブラー**

一般的に特徴点検出器は、1 枚の画像中の線と線の角や交差点を検出するため、すばやいカメラ移動によりモーションブラーが発生した画像では、正常に特徴点を検出できなくなる。これは手持ちによる撮影を行う際に頻出し、トラッキング時であればトラッキング破綻を引き起こす。また **LMDB** 構築の時でも、特徴点の追跡が途切れることで、**SfM** が精度良く動作せず、**LMDB** 構築が失敗する原因となる。

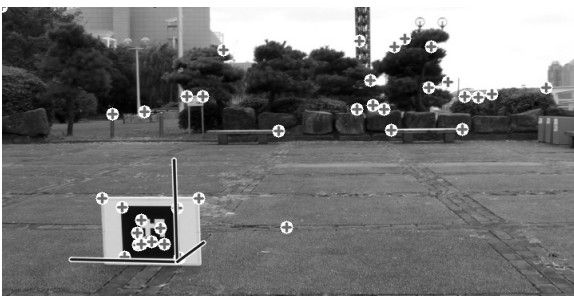


図 2：特徴点が出検されない例

3.2. 対処法

照明が暗い場合やモーションブラーへの対処としては、照明器具を用いることやシャッタースピードを調整することなどが考えられるが、屋外では電源や照明器具の確保によるコストがかかり、また撮像面の露光の仕組み上、画像の明るさ対策と、シャッタースピードを上げることによるモーションブラー対策の、どちらかを選択せねばならず最適策ではない。

そこで特徴点検出器に検出される特徴点の数を増加させる方法として有力だと考えられるのは、意図的に特徴点を生み出す物体をシーン中に配置することである。矩形マーカのなどのデザインされたマーカは、事前に形状を登録しておく必要があるが、自然特徴点を利用する **RPM** 法では、任意の景観を乱さない物体を、特徴点が少ない場所に配置して検出される特徴点数を増やすことができる。

3.3. 理想的な配置する物体の条件

MR-PreViz 撮影用途や **RPM** 法が利用している特徴点検出機構を考慮すると、配置する物体は、以下の要件を満たす物体が相応しいと考えられる。

- 1) 撮影現場の景観を乱さない
- 2) 安定して設置でき、動かない
- 3) 模様などがあり、コントラストが高い
- 4) 模様が適度に大きく単調でない
- 5) あまり立体的でなく平面的な形状である

MR-PreViz 用途を考えると、あまりに情景を乱す物を置くことは、実写背景を活かした **PreViz** の利点が薄れるので相応しくない。また、風によって揺れたり、倒れたりすると、特徴点の位置が変わってしまうので、安定して設置できる必要がある。

RPM 法では入力された画像をグレースケールに変換した上で、特徴点を検出している。そのため、コントラストの強い模様を持っている物体が望ましい。

オブジェクトに模様があったとしても、模様が細かいと遠くから撮影した際に特徴点が出検できないため、模様の意味が無くなる可能性が高い。そのため、遠くから観察してもある程度の大きさで模様が確認できるオブジェクトを選択する必要がある。

RPM 法では **SIFT** 特徴量を用いて特徴点とランドマークの対応付けを行っているため、オブジェクトの特徴点から記述される特徴量は、他の特徴点の特徴量と類似していないことが望ましい。よって、自然景観中に存在しにくく、単調でない模様の方がランドマークとの対応付けが成功しやすいと言える。

立体的な形状から検出される特徴点は、視点位置によって点の見え方が大きく変化する。一方、平面から検出される特徴点の見え方は、視点位置の変化に影響を受けにくい。よって、配置するオブジェクトの形状は平面から構成されている方が望ましく、比較的安定して特徴点を検出・追跡することが可能となる。その結果、位置合わせ精度とロバスト性の向上に繋がる。

3.4. 物体追加配置の有効性検証実験

【実験内容】撮影対象となる環境中に存在する特徴点の数が、**LMDB** に登録されるランドマーク数と位置合わせ精度に与える影響を実験にて確認する。実験用のカメラは、**SONY PMW-EX3**（設定解像度：

720×486[pixels], プログレッシブ, 30[fps]) を用いた。屋外環境において, そのままの状態 (図 3 (a)) と人工特徴点マーカ[10]に加えて特徴点を増やす目的としてオブジェクトも配置した状態 (図 3 (b)) で, LMDB を構築し, トラッキング性能を比較した。配置するオブジェクトに関しては 3.3 節で示した条件を満たすポスタを看板に貼ったものを利用する。カメラは手持ちで約 8m 動かし, 200 フレームの動画像を用いた。

【実験結果】構築を行った結果, オブジェクトを配置しない場合は 200 個, 配置した場合には 280 個のランドマークが登録された。構築した LMDB を用いて, それぞれの場合でトラッキングを行った際の破綻したフレーム数, 及び各フレームにおける前フレームから追跡されているランドマーク数の平均値を表 1 に示す。またそれぞれの場合での, 経過時間に対する追跡ランドマーク数を図 4 と図 5 に示す。

3.5. 考察

実験結果より, オブジェクトを配置することによって LMDB に登録されたランドマーク数が増加し, 破綻したフレーム数が減少していることから, 位置合わせ精度が向上していることが分かる。また各フレームにおける前フレームから追跡中のランドマーク数も増加し, トラッキングが安定している。これは, 配置したオブジェクトから検出される特徴点是对応付けが行いやすく, それにより他の特徴点も対応付けに成功するためだと考えられる。

本実験の結果より, 特徴点検出数が少ない環境において, 自然特徴点の少ない箇所に 3.3 節の条件を満たすオブジェクトを配置し, LMDB に登録されるランドマーク数を増やす対処法は有効であると思われる。

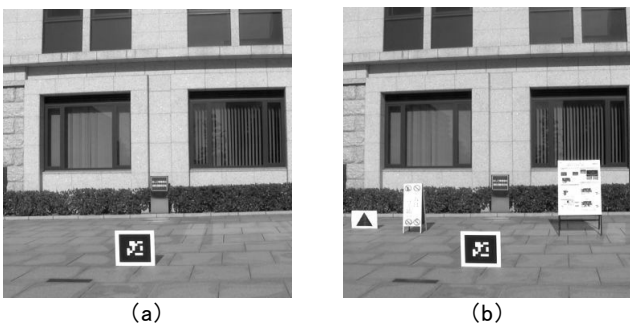


図 3 : 撮影した屋外環境

表 1 : 位置合わせ精度

	オブジェクト なし	オブジェクト あり
破綻フレーム数 [フレーム]	54	3
平均追跡ランド マーク数[個]	32	47

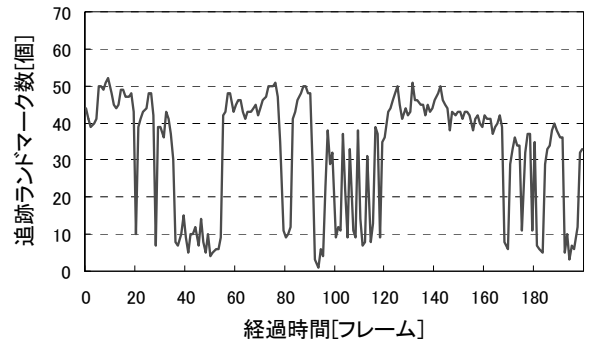


図 4 : 追跡ランドマーク数 (オブジェクトなし)

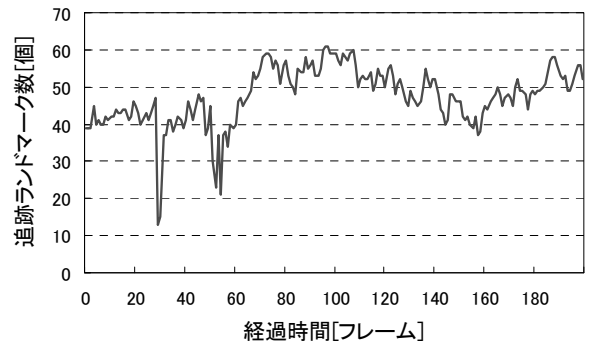


図 5 : 追跡ランドマーク数 (オブジェクトあり)

4. 特徴点の追跡が困難な環境

4.1. 問題点

特徴点検出器で特徴点が発見されたとしても, 特徴点の追跡が難しい環境では LMDB 構築及びトラッキングが困難となる。特徴点の追跡処理は, LMDB 構築の際のエピポーラ幾何, SfM において必要となる。MR トラッキング時もランドマークを画面中の全画素から探すのではなく, 前フレームのカメラ位置姿勢を用いて探索範囲を限定する追跡処理により, 実時間でのマッチング処理が可能である。以下に特徴点追跡を困難にする原因を示す。

- ・ 同じ模様が繰り返されている

タイルや格子などから検出される特徴点は, LMDB 構築時において周囲に類似したパターンが存在すると, 誤対応が発生する可能性がある。狭い間隔で同じパターンが繰り返されている模様では, 追跡時の探索範囲内に複数のマッチング候補が存在することで, 正しく対応付けることが難しいという問題がある。またカメラの初期位置姿勢を推定する際には, SIFT 特徴量の比較が行われるが, 同じ模様が繰り返す場合には, この SIFT 特徴量のユークリッド距離も短くなり, 正確な対応関係が得られない場合がある。

- ・ 樹木などの不安定な特徴点が多数存在する

画像中の樹木などからは, 特徴点は多数検出されるが, 見る角度によって検出位置や SIFT 特徴量が変動したり, 風で特徴点が移動したりするので, 安定した

追跡が難しい。

・カメラ移動が速い

カメラの移動量が多い場合や速いパン・チルト操作を行った際に、対応付け候補を探索する範囲から、本来対応付けるべき点が外れてしまう。そのため特徴点追跡が失敗し、トラッキング破綻を引き起こす場合がある。3.1節で示したモーションブラーも関係する。

・想定されないカメラパスでのカメラ移動

RPM法では、LMDB構築の際の基準点位置推定のためのエピポーラ幾何において、カメラの横方向の平行移動を想定している。画像全体で1つ主要なオプティカルフローをドミナントフローとして求め[11]、特徴点の追跡に利用している。しかし、カメラを前後に動かして撮影するとオプティカルフローは放射状になるため、特徴点の存在位置の正しい予測にならず、追跡に失敗する可能性が増える。

4.2. 対処法

特徴点の追跡能力を増すための対処法としては、下記の方法を提案し、その効果を調べる。

・追跡手法の切り替え

RPM法では前節で示した通り、LMDB構築時において、画像全体からドミナントフローによる特徴点追跡を行っている。しかし、1つの追跡手法のみでは様々な環境やカメラパスに対応することができず、追跡が不可能な場合がある。そこで環境やカメラパスによって追跡手法を切り替える。他の特徴点の予測手法としてはLucas-Kanade (LK)法[12]などがよく用いられる。LK法では、画像全体からそれぞれの場所の局所的なオプティカルフローを求めることで、各点の近くのオプティカルフローに応じた次フレームの特徴点位置の予測ができる。各手法により得意とする環境及びカメラパスの違いを考慮して、使い分ける。

・ハイブリッド手法の利用

カメラ移動が速く、カメラワークを追跡できない場合などは、物理センサを用いて、カメラ位置姿勢検出機能の使い分けが考えられる。MR・PreVizの撮影システムでは、カメラのパン・チルト角を取得可能なロータリーエンコーダが利用できる。ハイブリッド手法に関しては、次章で詳しく紹介する。

4.3. 特徴点追跡手法の比較実験

【実験内容】前節で紹介した2つの追跡手法の違いを、LMDB構築時におけるフレーム間で追跡に成功した点(インライア)の数と、登録された各ランドマークの追跡フレーム数で比較する。実験では、以下に示す3つのシーン(図6)の映像に対してドミナントフローとLK法をそれぞれ特徴点追跡に用いて、結果を比較した。

・同じ模様が繰り返されているシーン(図6(a))

・樹木が多く存在するシーン(図6(b))

・クレーンで撮影したシーン(図6(c))

ここで、模様が繰り返すシーンの映像は都会のオフィスビル、樹木が多く存在するシーンでは大学キャンパス内の広場において、どちらも手持ちで横方向平行移動しながら撮影したものである。またクレーンで撮影した映像は、図6(c)のロケ地において、後退しながら上昇するカメラワークで撮影された映像を用いた。

【実験結果】図6(a)を撮影した150フレームの動画像を入力して行った結果、表2に示すようにフレーム全体での平均インライア数はそれぞれ33.25, 18.99, 登録されたランドマークの平均追跡フレーム数はそれぞれ23.72, 19.34であった。図6(b)においては、どちらの追跡手法もLMDBを構築することができなかった。クレーンを用いて撮影した図6(c)の動画像を180フレーム入力して行った結果、LK法のみLMDBを構築することができた(表3)。

4.4. 考察

実験結果より、模様が繰り返されているシーンでは複数の探索窓が同じ位置または近接した位置に対応してしまい、両手法ともにインライア数も追跡フレーム数も少なかった。また、樹木が多く存在するシーンに対してLMDBを構築することができなかったことから、どちらの追跡手法も風にそよぐ草や木の葉などが画像上に多く含まれるシーンは苦手であると考えられる。一方、クレーンで撮影したシーンにおいてはLK法のみLMDBを構築することができたことから、LK法は想定されないカメラパスで撮影されたシーンの対処法として効果があると考えられる。

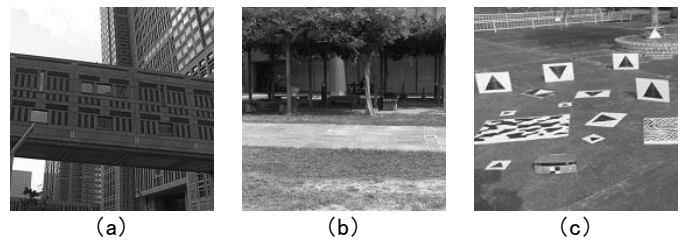


図6：実験対象

表2：図6(a)での追跡精度の比較

	平均インライア数	平均追跡フレーム数
現手法	33.25	23.72
LK法	18.99	19.34

表3：図6(c)での追跡精度の比較

	平均インライア数	平均追跡フレーム数
現手法	—	—
LK法	56.00	21.51

5. ハイブリッド手法の利用

自然特徴点を利用した位置合わせ手法では、カメラを急激に動かすとモーションブラーが発生し、特徴点が追跡できないため、トラッキングが破綻していた。そこで RPM 法にロータリーエンコーダを併用したハイブリッド型の位置合わせ手法を用いることで、位置合わせ精度の向上を図る。

RPM 法は世界座標系における 6 自由度の位置姿勢情報を取得可能であるが、トラッキング精度や頑健性は撮影現場の環境に依存する。一方、ロータリーエンコーダは三脚の上に設置されているという前提ではあるが、カメラ座標系における 2 自由度の姿勢情報が、環境に依存せず、高精度に取得できる。そこで、カメラ静止時はエンコーダから得られる相対的なパン・チルト角を、絶対的な角度に変換することで高精度に姿勢情報を推定する。そのため、パン角に関しては、カメラ座標系と世界座標系のパンオフセットを算出する必要がある(図 7)。ここで、LMDB のパン角を θ_{pan_LMDB} 、エンコーダのパン角を θ_{pan_enc} とすると、パンオフセット θ_{pan_offset} は以下の式(1)で求められる。

$$\theta_{pan_offset} = \theta_{pan_LMDB} - \theta_{pan_enc} \quad (1)$$

パンオフセットは三脚固定での撮影や直線形レールを用いた撮影では、三脚が回転しないため、一定の値となる。しかし、ドリーや円弧形レールを用いた撮影では三脚の回転により三脚とカメラの相対的な関係が変わるため、LMDB からエンコーダに切り替えるたびにパンオフセットを算出する。

当初はカメラ移動の有無を判定し、自動的な切り替えを目標としていた。カメラの状態を判定するためには、仮想カメラ位置から三脚の位置を割り出し、フレーム間でその三脚位置を比較する必要がある。しかし LMDB より求まる仮想カメラ位置である前側主点位置(図 8)の算出が困難なことや、RPM 法の精度により、カメラ移動の有無を正確に判定できなかった。そのため、現在は手動による切り替えを採用している。

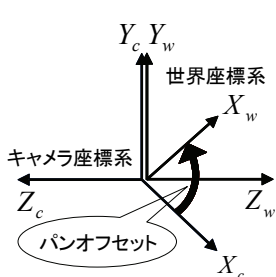


図 7: パンオフセット

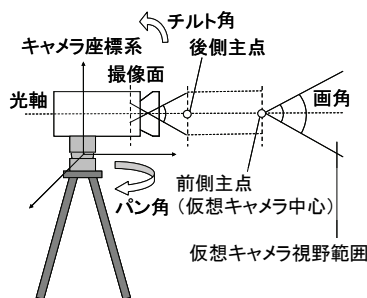


図 8: カメラ座標系

6. むすび

自然特徴点を利用したビジョンベース MR トラッキング法の実応用例として、MR-PreViz 撮影のための屋外 6 自由度カメラトラッキングで遭遇した課題に対して、その問題解決の諸方策を紹介した。映画撮影という要求事項が厳しい課題ゆえの問題も多々あるが、自然特徴点の探索・追跡を目的とした手法に共通した問題であると考えている。実際、現 RPM 法で対処できなかった対象には、PTAM 等を用いても大差ない結果しか得られなかった。

紹介した対処法は、対症療法的、場当たりの見えるかも知れないが、万能の方法がなく、自然特徴のバリエーション、アルゴリズム考案者の想定範囲外の環境変化に対処するには、現実的には、手法の使い分けや併用を考えざるを得ない。むしろ、適用範囲が明確であり、場合場合に依じて使い分けは可能な信頼性の高い手法を積み上げて行くことが肝要である。

謝辞 本研究は、JST の CREST「映画制作を支援する複合現実型可視化技術」の支援による。

文 献

- [1] 佐藤清秀, 内山晋二, 田村秀行: “複合現実感における位置合わせ手法”, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp.171 - 180, 2003.
- [2] G. Klein and D. Murray: “Parallel tracking and mapping for small AR Workspaces,” Proc. ISMAR 2007, pp. 225 - 234, 2007.
- [3] D. Wagner, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond, and D. Schmalstieg: “Real-time detection and tracking for augmented reality on mobile phones,” *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 16, No.3, pp. 355 - 368, 2010.
- [4] 柴田史久, 池田聖, 蔵田武志: “AR/MR 位置合わせ&トラッキング手法の評価手法策定”, 日本 VR 学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 37 - 41, 2010.
- [5] 田村秀行, 一刈良介: “映画制作を支援する複合現実型可視化技術”, 同上, Vol. 15, No. 2, pp. 32 - 36, 2010.
- [6] 武富貴史, 佐藤智和, 横矢直和: “拡張現実感のための優先度情報を付加した自然特徴点ランドマークデータベースを用いた実時間カメラ位置・姿勢推定”, 信学論(D), Vol. J92-D, No. 8, pp. 1440 - 1451, 2009.
- [7] 樋下航, 一刈良介, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行: “ランドマークデータベースに基づくカメラトラッキング法の高速化と安定化”, 信学技報, Vol. 109, No. 373, pp. 255 - 260, 2010.
- [8] C. Harris and M. Stephens: “A combined corner and edge detector,” Proc. Alvey Vision Conf., pp. 147 - 151, 1988.
- [9] R. Hartley: “In defense of the eight-point algorithm,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 6, pp. 580 - 593, 1997.
- [10] 増川照道, 樋下航, 一刈良介, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行: “人工特徴点マーカの援用による AR/MR 追跡法の位置合わせ精度の向上”, 第 72 回情処全大 (4), 2ZJ-2, 2010.
- [11] D. Wagner, T. Langlotz, and D. Schmalstieg: “Robust and unobtrusive marker tracking on mobile phones,” Proc. ISMAR, pp. 121 - 124, 2008.
- [12] B. Lucas and T. Kanade: “An iterative image registration technique with applications in stereo vision,” Proc. DARPA Image Understanding Workshop, pp. 121-130, 1981.