

Ballumiere: 高速浮遊物体への実時間追跡投影システム

須ヶ崎 聖人* 宮藤 詩緒† 佐藤 俊樹† 小池 英樹†

概要. 3次元的な実時間追跡と実時間投影を行うシステム Ballumiere を提案した. Ballumiere では, これまでのプロジェクションマッピングでは実現が困難であった高速移動物体への映像投影を行うことができる. 物体の追跡から投影までに起こる遅延は直前3フレームの位置情報を用いることで克服し, 奥行きを描画方法を見直し, 投影率を上げることができた.

1 はじめに

近年, プロジェクションマッピング (PM) が着目されている. Raskar らの ShaderLamps[4] は立体にプロジェクタからその物体形状に合うように映像を投影することで, CG を実世界で表現することを可能にした. しかし, 現在の多くの PM は静止している物体が動きの遅いものにしか行われていない. 移動体の追跡・投影を行う場合, 遅延の問題が生じるため従来の PM 手法では不十分である.

移動物体を投影対象としている研究として奥村らの Lumipen がある. この研究は高速視線制御ユニットとなるサッカードミラーに高速画像処理プロセッサとプロジェクタを同軸状に設置することで, 対象への映像投影を可能としている. しかし, 投影対象となる物体一つ一つにプロジェクタ光軸を合わせるため, 複数物体への投影に対応できない. Knibbe ら [2] はジャグリングボールへの投影を行った. この研究では, カルマンフィルタに加えて, 運動モデル外の動きに対してメモリアルックアップを使用したボールトラッキング手法を提案している.

これに対し著者は, 250FPS のモーショントラッキングカメラとプロジェクタを使い, カルマンフィルタを用いた位置予測により空中で高速に動く複数物体への動的プロジェクションを可能にした [1]. LumoSpheres は投げ上げモデルにカルマンフィルタを用いて予測を行ったが, それ以外の運動に対応できなかった. そこで本システムでは, 速度, 加速度だけに着目した予測手段を利用して, 一般的な動きに対応できるようにした, また奥行き投影改善を行うことによって, 投影精度を上げることに成功した.

2 システム構成

実際に物体の位置を測定し, その測定値そのものに対応する映像を映そうとすると, 位置を観測して

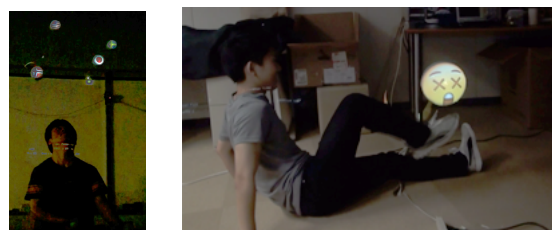


図 1. ジャグリングボールとサッカーボールへの投影

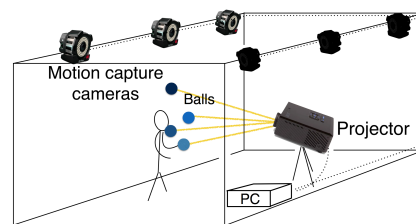


図 2. Ballumiere システムの構成

から画像を投影するまでに遅延が生じ, 投影位置のずれが生じる. 本研究では, このずれを解消するため, 空中で運動している物体の直前3フレームの位置から速度, 加速度を計算し, 遅延時間後にその物体が何処に位置するかを予測することで, 投影対象物に的確な画像投影を可能とした. システム構成を図2に示す.

投影対象の位置を3次元的に把握するため, カメラは250FPSのNaturalPoint OptiTrack S250e 6台を図2のように設置し, 再帰性反射材を付けた投影対象をトラッキングする. Tracking Toolsソフトウェアを用い, カメラから得た映像から位置座標を取得. プログラムによって現在の座標位置と速度を抽出し, プロジェクタ投影時の投影対象の位置予測を行う. プロジェクタは60Hz, 1280 × 720pixelのプロジェクタ BenQ W1070を用いた.

今までのLumoSpheresでは, ワールド空間の奥行きとカメラ空間の奥行きの変換は行われていたが, プロジェクタ空間の投影サイズとボールの大きさと

Copyright is held by the author(s).

* 東京工業大学情報工学科

† 東京工業大学大学院情報理工学研究科

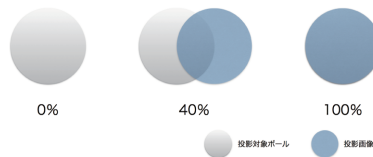


図 3. 投影率

のキャリブレーションは行われていなかったため、このまま投影を行うと、実際のボールのサイズとプロジェクタ空間の奥行きに応じた投影のサイズが合わなくなる問題があった。そこで、Ballumiereではキャリブレーション時にプロジェクタによる投影のサイズを測ることによってこの問題を解決した。

3 ボール位置の予測方法

フレーム n 時のプロジェクタ空間内での予測ボール位置 P_n を式 (1) に示す。ここで、 p_n はカメラから取得された現在のボール位置、 α はカメラやプロジェクタ、プログラム自体で発生する内部レイテンシの補正係数、 d_n は式 (2) に示すように、1 フレーム前と現在のボール位置の距離、 d_{n-1} は 2 フレーム前と 1 フレーム前のボール位置の距離である。

$$P_n = p_n + \alpha_1 d_n + \alpha_2 (d_n - d_{n-1}) \quad (1)$$

$$d_n = p_n - p_{n-1} \quad (2)$$

予測ボール位置 P_n は現在のボール位置 p_n に、速度の補正項となる d_n と加速度の補正項となる $d_n - d_{n-1}$ を加えることで求めている。

4 アプリケーション

実際にジャグリングボールとサッカーボールに画像を投影した様子を図 1 に示す。このボールの速度変化を見ることでボール振動の検出が可能である。これによりジェスチャー認識によって投影する画像を変えることができる。

5 評価

投影対象への画像投影の正確性の評価は、システム外部のカメラで LumoSpheres 実験結果を撮影し、その画像を評価プログラムで解析することで行った。投影率の定義は、投影対象に画像を映した際、ボールのプロジェクタ側から見える半球を 2 次元化した面積に対するボール上に投影された部分を 2 次元化した面積の割合とする。図 5 と図 4 は、常に運動予測とカルマンフィルタを用いた場合と運動予測を今回のモデルで行った場合のそれぞれの投影率を表している。両グラフとも投影率が大幅に下がっている部分が 3 回出てきている。これがボールの投げ上げと受け取りの瞬間であり、この瞬間の投影率の復帰

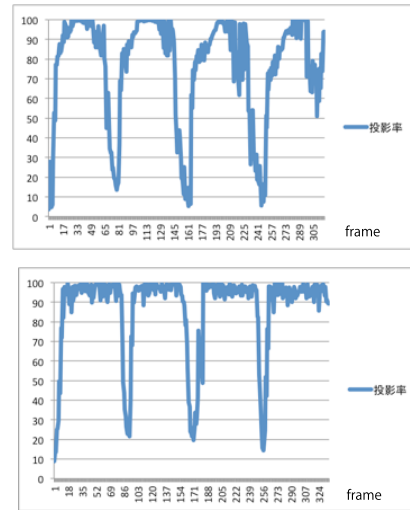


図 4. 運動予測とカルマンフィルタの投影率 (上) と速度、加速度による補正の投影率 (下)

の速さと正確性は運動予測とカルマンフィルタを用いた場合より速度、加速度による予測で行った場合の方が上がっており、常に運動予測とカルマンフィルタを用いた場合と運動予測を今回のモデルで行った場合のそれぞれの投影率を比較すると、全体での投影率の平均も 76.57% に比べ 86.82% に上がった。

6 まとめ

我々は、運動モデルに投影率が左右されない投影位置の予測方法である、速度、加速度による運動予測方法を提案した。今後は複数プロジェクタでの投影手法を探求したい。

参考文献

- [1] H Yamaguchi, H Koike “LumoSpheres: Real-Time Tracking of Flying Objects and Image Projection for a Volumetric Display” 6th Augmented Human International Conference (AH’15), pp.93–96, (2015)
- [2] J Knibbe, H Benko, A D Wilson “Juggling the Effects of Latency: Motion Prediction Approaches to Reducing Latency in Dynamic Projector-Camera Systems” <http://research.microsoft.com/apps/pubs/default.aspx?id=245094>
- [3] K Okumura, H Oku, M Ishikawa; Acitve Projection AR using High-speed Optical Axis Control and Appearance Estimation Algorithm 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2013), pp.1–6, (2013).
- [4] R Raskar, G Welch, K Low, D Bandyopadhyay; “Shader Lamps: Animating Real Objects with Image-Based Illumination” Eurographics Workshop on Rendering, London, pp.89–101, (2001)