

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02856

研究課題名(和文)超高速PROCAMSとパーティクル型ディスプレイへの応用

研究課題名(英文)A high speed procam and its application to particle display

研究代表者

小池 英樹(Koike, Hideki)

東京工業大学・情報理工学院・教授

研究者番号：70234664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,820,000円

研究成果の概要(和文)：静的な物体へのプロジェクションマッピングと異なり、高速に移動する物体へのプロジェクションでは投影の遅延が発生する。これに対し、従来研究ではカルマンフィルタを用いて物体の位置を予測する手法が提案されていたが、3次元的な形状の物体への投影には対応していなかった。そこで本研究では深層学習を用いて物体の運動を学習し、約0.5秒後の物体の3次元位置と3次元姿勢を同時に予測し、投影を行うことで上記遅延の解決を試みた。実験の結果、予測なし、カルマンフィルタ予測のみの場合と比べて投影精度の向上を実現することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、プロジェクションマッピングが一般化しているが、これらは建築物や低速で移動する物体のみを対象としていた。これに対し、本研究は、高速に移動する任意の形状の物体への正確なプロジェクションマッピングを実現した。本研究成果は、今後、立体ディスプレイへの応用、さらには、舞台芸術、テーマパーク、さらにはスポーツ等への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Unlike projection mapping on a static object, projection on a fast moving object causes a delay in projection. Previous research has proposed a method to predict the position of an object using a Kalman filter, but this method does not deal with projections onto objects with three-dimensional shapes. In this study, we attempted to solve the above delay by learning the object's motion using deep learning, simultaneously predicting the object's position and 3D posture in about 0.5 seconds, and projecting the object. As a result of the experiment, we were able to improve the projection accuracy compared to the case of no prediction and Kalman filter prediction only.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：立体ディスプレイ モーションキャプチャ 実時間追跡 プロジェクション

1. 研究開始当初の背景

これまで様々な 3 次元ディスプレイが開発されてきた。偏光メガネ方式、裸眼立体視方式、Integral Photography 方式などは両眼視差を利用して立体感を与える。しかし、投影面は 2 次元平面であり、横や後ろなど任意の方向から立体映像を見ることはできない。回転スクリーン方式は立体映像を空間的に表示できる。しかし、スクリーンが高速に回転しているため、立体映像に触れることはできない。フォグ・ディスプレイは散布された霧をスクリーンとして空間に映像を投影するが、これは 2 次元映像を霧に投影しているだけで 3 次元ディスプレイとは言えない。

これに対し近年、空間内の微小粒子(パーティクル)1 つ 1 つに、対応するピクセル値を投影することで立体映像を作り出す方式が提案されている。Nayar らはアクリル製直方体内部の微小な切り欠き 1 つ 1 つに、対応する 3 次元ピクセル値を投影した。しかし切り欠きは固定で解像度も低い。Barnum らは直線ノズル列から同期して落下する水滴に映像を投影した。これは複数の 2 次元映像が層状に表示されているもので 3 次元ではない。Burton 社はレーザープラズマを用いて空間に 3 次元映像を表示する技術を開発している。しかし、解像度が低いことと、強力なレーザーを使用することから一般の環境で使用するには危険性がともなう。

2. 研究の目的

本研究では、任意の方向から観察可能かつ接触インタラクションが可能な、空間に浮かび上がるパーティクル型ディスプレイを実現するための基礎研究を行う。基本原理は次のとおりである。(1) 微小粒子(パーティクル)を 3 次元的に空間的に浮遊させ、(2) 浮遊するパーティクルの位置を高速に実時間追跡し、(3) 次の時刻のパーティクルの位置を予測し、(4) 予測された位置に対応するピクセル値を投影する。

3. 研究の方法

本研究では以下の 3 段階に研究を進めた。

(1) 高速度カメラと高速度プロジェクタによる高速 PROCAMS を製作した。(2) 次に、パーティクルの形状を単純な球体に制限しカルマンフィルタによる予測と連続 3 フレームによる位置予測モデルを開発した。(3) 任意の形状のパーティクルに対応するために、深層学習を用いて過去の数フレームからパーティクルの位置と姿勢を予測するモデルを開発した。

4. 研究成果

(1) 高速度カメラと高速度プロジェクタによる高速 PROCAMS システムを製作した(図 1)。カメラとしては、高速モーションキャプチャユニット(OptiTrack 13W)を使用し、3 次元的な隠れ(オクルージョン)に頑健で、かつ 360fps での高速度な追跡を実現した。

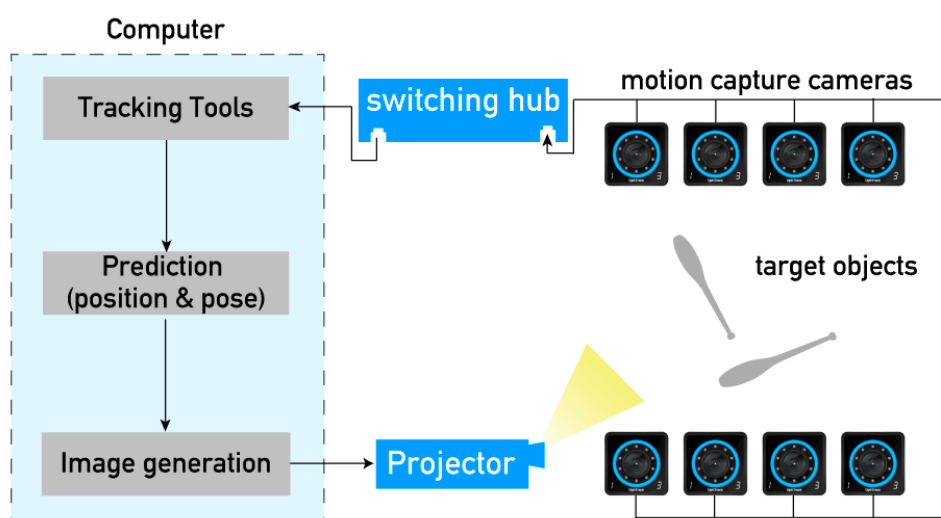


図 1 : 実時間追跡および投影システムの概要。

(2) 次に、高精度位置予測モデルとして、カルマンフィルタによる予測モデルの拡張を行なった。カルマンフィルタだけでは、粒子同士の衝突時などに予測が大きく外れる問題が生じる。そこでカルマンフィルタに記述された投げ上げ運動モデルから大きく外れる場合を自動的に

検出し、この部分に関しては過去3フレームによる予測を行う手法を実装し、カルマンフィルタと3フレームモデルを適応的に切り替えることで高精度な物体検出が可能となった。具体的には、予測の全くない場合には、平均投影精度は48.3%であるのに対し、カルマンフィルタのみの場合は90.87%、カルマンフィルタと3フレーム切り替えの手法では92.48%と向上した。

- (3) 次に、パーティクルの形状を球体に限らず、任意形状のパーティクルに対しても映像が投影できるように拡張した。具体的には、パーティクルが空中を運動する様子を高速カメラで撮影し、連続する数フレーム(約15フレーム)を入力とし、約0.1秒後のパーティクルの位置および姿勢を推定する深層学習ネットワークを設計・実装した(図2)。実験の結果(図3)、投影精度は、予測なしの場合6.63%、カルマンフィルタと3フレーム切り替えの場合59.36%だったのに対し、深層学習を用いた手法では63.55%であった。

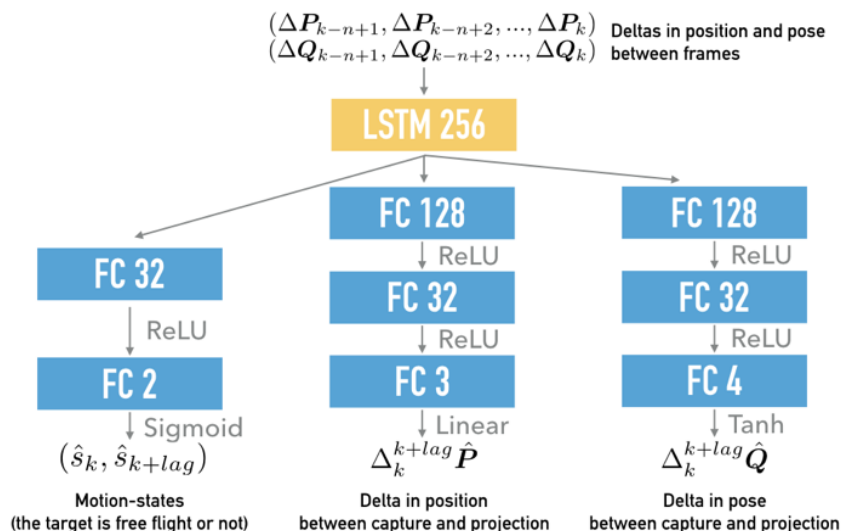


図2：実装した位置姿勢予測のための深層学習ネットワーク



図3：投影結果の比較。(上) 予測なし。(下) 深層学習による予測あり。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miyafuji Shio, Sato Toshiki, Li Zhengqing, Koike Hideki	4. 巻 UIST2017
2. 論文標題 Qoom: An Interactive Omnidirectional Ball Display	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology	6. 最初と最後の頁 599-609
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3126594.3126607	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shio Miyafuji, Masato Sugasaki, Hideki Koike
2. 発表標題 Ballumiere: Real-Time Tracking and Projection for High-Speed Moving Balls
3. 学会等名 the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shio Miyafuji, Masato Sugasaki, Hideki Koike
2. 発表標題 Ballumiere: Real-Time Tracking and Spherical Projection for High-Speed Moving Balls
3. 学会等名 the 2016 ACM on Interactive Surfaces and Spaces (ISS'16) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kosuke Maeda, Hideki Koike
2. 発表標題 MirAIProjection: Real-time Projection onto High-speed Objects by Predicting Their 3D Position and Pose using DNNs
3. 学会等名 International Conference on Advanced Visual Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Ballumiere
<http://www.vogue.cs.titech.ac.jp/projects/vision-based-hci/ballumiere>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------