

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19891

研究課題名（和文）高速路面解析に基づく移動体搭載ビジョンの完全状態把握

研究課題名（英文）State understanding of onboard cameras via high-speed proximity road surface analysis

研究代表者

平野 正浩（Hirano, Masahiro）

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：80868638

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高速カメラを用いて走行中に近接路面のテクスチャの見え方の変化を解析する高速近接路面解析により、移動体搭載ビジョンの姿勢や移動量などの状態を高速・高精度・ロバストに把握することを目的とした。その結果、カメラが路面に対して大きく振動している場面においても、姿勢角を1度以内、速度の推定誤差を1%以内で推定できることを示した。さらに高速近接路面解析を応用することで、一般的な車載カメラの車両座標系に対する姿勢角の推定手法を提案し、1度以内の誤差で推定できることを示した。さらに応用例として、ステレオ高速ビジョンを用いた高精度車間距離計測、及び死角からの飛び出しの高速検知手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により移動体に搭載したビジョンの動的な状態の把握が可能となるため、移動体自身や周囲物体の位置・速度を計測する精度や速度を向上させるための基盤的な技術を提供する。これにより、自車と周辺環境との位置関係の高速高精度なセンシングが要求される応用において特に有効である。本研究で直接の対象とした自動車だけでなく、AGVや列車、ドローンといった移動ロボット全体に対しても応用可能な技術であるため産業的な価値の高い技術であるといえる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to obtain a fast, accurate, and robust estimation of the state of a moving vehicle's onboard vision system, such as its attitude and the amount of movement, using high-speed proximity road surface analysis, which analyzes changes in the appearance of textures on the proximity road surface using a high-speed camera. Results showed that the system was able to estimate the attitude angle within 1 degree and the velocity within 1% even in situations where the camera was vibrating significantly. Furthermore, by applying the high-speed proximity road surface analysis, an estimation method for the attitude angle of a typical vehicle-mounted camera relative to the vehicle coordinate system was proposed, and its estimation error was shown to be within 1 degree. In addition, highly accurate distance measurement using stereo high-speed vision and a high-speed detection method for pedestrians jumping out of blind spots were developed as application examples.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：車載画像処理 高速ビジョン 高速路面解析 自動キャリブレーション 環境認識

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

移動体に搭載したビジョンを用いた対環境計測は、自動運転や先進運転支援システムにおけるキーテクノロジーである。移動体搭載ビジョンを用いた計測では、移動体や路面に対するイメージセンサの姿勢を正確に把握することが計測性能に直結するため、個体ごとの較正が必要であり、製造プロセスの効率化においてボトルネックとなってきた。さらに走行中の振動による姿勢のダイナミックな変化や較正時からの経年状態変化が性能に悪影響を及ぼす。このため、移動体搭載ビジョンの姿勢や移動量などの状態を高速・高精度かつロバストに把握する技術の開発が求められていた。

2. 研究の目的

本研究では、申請者が開発してきた高速ビジョンを用いた近接路面解析技術を応用し、移動体搭載ビジョンの状態を高速かつ高精度に把握するアルゴリズムを構築する。これにより、車載高速ビジョンを用いた対環境計測の高速・高精度・ロバスト化を達成することを目標とする。また、近接路面解析に基づく移動体搭載ビジョンの完全状態把握技術が貢献する例を具体的に示すことで、自動運転や安全運転支援の高性能化に寄与することを示す。

3. 研究の方法

移動中のイメージセンサの対路面姿勢と移動量を統一的にモデリングした上で、路面画像を現在の推定量に合わせて逆透視投影変換を行うことにより路面のテクスチャ変化の計測精度を向上させる Virtual Inverse Perspective Mapping (V-IPM) を提案し、幾何バンドル調整の枠組みで最適化を行うことで、上述の量の高精度推定を可能とする手法を開発した。さらに、車両のノンホロノミック拘束のもと、従来の SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術により推定した走行軌跡と照らし合わせることで、本手法を一般的な外向き車載ビジョンの車両に対する姿勢推定に応用する手法を開発した。この手法は車線などの人工物の存在に依存しないため、幅広い状況で実施可能であるという特徴を持つ。さらに移動体搭載ビジョンの完全状態把握が貢献する応用例として、ステレオ高速ビジョンを用いた前方車までの距離/相対速度/相対加速度推定手法と、死角からの飛び出しの高速検知手法の開発に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) 近接路面解析による路面ビジョンの高精度姿勢推定手法の開発

近接路面解析における計算速度を向上させるため、Spectral Self-windowing 法を提案し、位相限定相関法における逆フーリエ変換に要する計算時間を 4.6 倍高速化することに成功した [1]。また、図 1 に示す通り、近接路面解析に基づく V-IPM を用いた姿勢・移動量推定アルゴリズムを提案した [2]。提案手法を評価するため、室内環境で真値が計測可能な評価システム (図 2) を構築し、実験した結果を図 3 に示す。青、赤、黄色の線はそれぞれ初期推定結果、Refinement を 1 回適用、Refinement を 2 回適用した推定結果である。緑色の線は比較対象である SV02 [3] による推定結果を表し、黒の点線はモーションキャプチャシステムで計測した真値を表す。この結果、提案手法は路面テクスチャが乏しい場合でも機能することや、カメラが比較的安定している状況での速度の推定誤差が 0.5%、カメラが強く振動している条件下でも高々 1% 程度の結果となることがわかった。

(2) 近接路面解析を応用した車載ビジョンの対車両姿勢推定手法の開発

一般的な外向き車載ビジョンの車両に対する姿勢の推定精度が、周辺車両や障害物などの物体までの距離計測精度に与える影響を解析したところ、並進成分と比べて回転成分が大きな影響を与えることがわかった。そこで、回転成分の推定精度に関して、シミュレーション及び 1/10 スケールの RC カーを用いて提案手法を評価した結果、路面状況が悪い状況でも 1 度程度の誤差で推定可能であることを示し、高精度な自動キャリブレーションが可能であることを示した。

(3) 本研究が貢献する応用例

本研究が貢献する応用先の例として、2 台の高速ビジョンを用いた前方車両までの距離/相対速度/相対加速度推定手法 [4] を開発した。提案手法では、複数の独立な画像ベースの距離計測を高速に計算する手法 (Multiple Patch Multiplexing) を提案し、統計的な処理を施した上でカルマンフィルタを適用することで、レーザレンジファインダと同程度の精度を達成することを実証した。また、車載の単眼高速ビジョンを用いた死角からの飛び出し検知の高速化 [5] についても取り組んだ。単眼高速ビジョンから推定したデプスマップを用いて飛び出しの危険性のある死角領域を特定し、その領域を優先して検出することで、視野全体に対して検出を行う場合と比べて検出までに要するレイテンシを低減できることを示した。

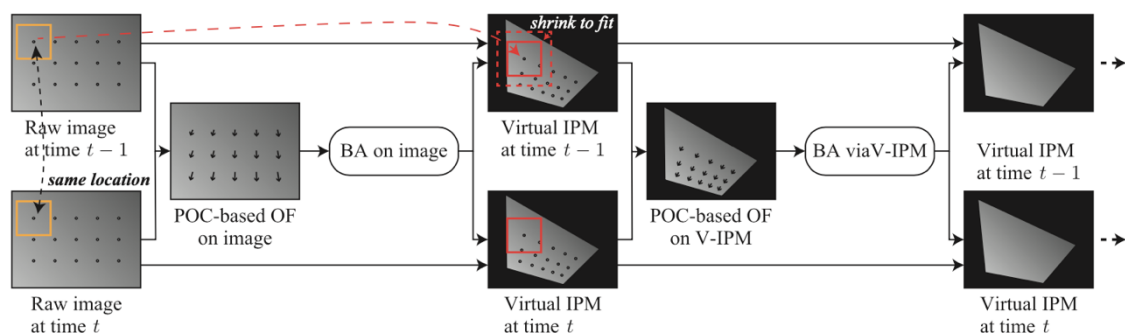


図 1 Virtual Inverse Perspective Mapping を用いた推定手法の概要

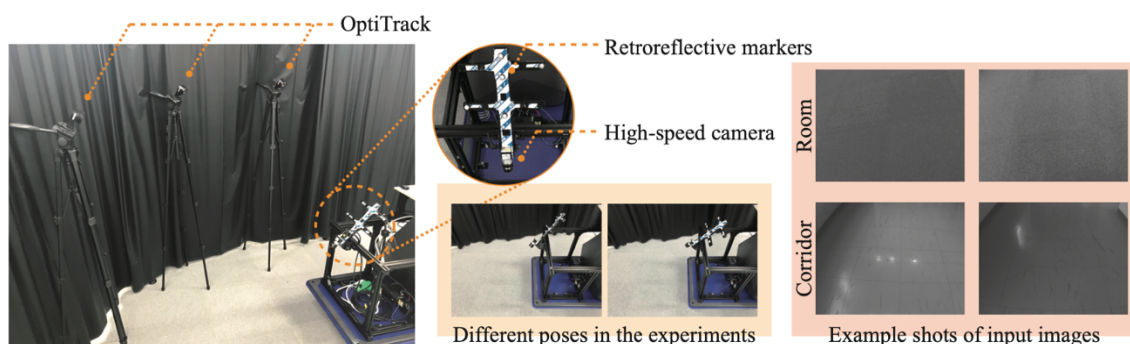


図 2 路面高速ビジョンシステムの評価系

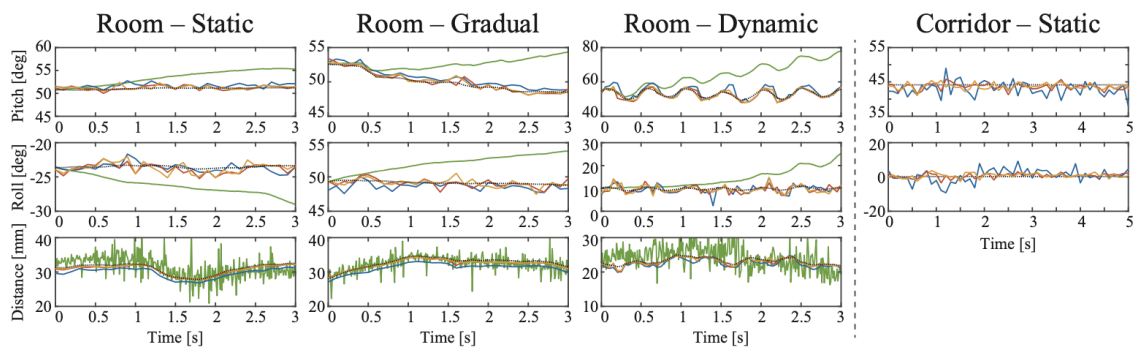


図 3 路面高速ビジョンシステムの評価結果

<引用文献>

- [1] M. Hirano, Y. Yamakawa, T. Senoo, M. Ishikawa, An acceleration method for correlation-based high-speed object tracking, Measurement: Sensors, Vol 18, No. 100258, 2021.
- [2] M. Hirano, T. Senoo, N. Kishi, M. Ishikawa, Virtual Inverse Perspective Mapping for Simultaneous Pose and Motion Estimation, arXiv, 2023.
- [3] C. Forster, Z. Zhang, M. Gassner, M. Werlberger, and D. Scaramuzza, SVO: Semidirect visual odometry for monocular and multicamera systems, IEEE Transactions on Robotics, vol. 33, no. 2, pp. 249-265, 2017.
- [4] M. Hirano, Y. Yamakawa, T. Senoo, N. Kishi, M. Ishikawa, Multiple Scale Aggregation with Patch Multiplexing for High-speed Inter-vehicle Distance Estimation, Intelligent Vehicles Symposium, pp. 1436-1443, 2021.
- [5] J. Zhou, M. Hirano, Y. Yamakawa, High-Speed Recognition of Pedestrians Out of Blind Spot with Pre-Detection of Potentially Dangerous Regions, International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 945-950, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 2件）

1. 著者名 Hirano Masahiro, Yamakawa Yuji, Senoo Taku, Ishikawa Masatoshi	4. 巻 18
2. 論文標題 An acceleration method for correlation-based high-speed object tracking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement: Sensors	6. 最初と最後の頁 100258 ~ 100258
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.measen.2021.100258	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Masahiro Hirano, Taku Senoo, Norimasa Kishi, Masatoshi Ishikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Virtual Inverse Perspective Mapping for Simultaneous Pose and Motion Estimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.48550/arXiv.2303.05192	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	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 2件）

1. 発表者名 Masahiro Hirano, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, Norimasa Kishi, Masatoshi Ishikawa
2. 発表標題 Multiple Scale Aggregation with Patch Multiplexing for High-speed Inter-vehicle Distance Estimation
3. 学会等名 2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Hirano, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, Masatoshi Ishikawa
2. 発表標題 An acceleration method for correlation-based high-speed object tracking
3. 学会等名 XXIII IMEKO World Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiacheng ZHOU, Masahiro HIRANO, Yuji YAMAKAWA
2. 発表標題 High Speed Recognition of Pedestrian out of Blind Spot for Advanced Emergency Braking System with Pre-checking of Potentially Dangerous Regions
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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