

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11891

研究課題名（和文）IMUを用いた多様な環境下で動作可能な立体測位技術の確立

研究課題名（英文）3D Positioning with IMU in various environments

研究代表者

内山 英昭 (Uchiyama, Hideaki)

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：90735804

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：周辺環境の影響を受けないデータ計測を行うIMUを用いた移動体の立体測位技術を確立する。従来のIMUを用いた測位の課題は、ノイズ・バイアス推定、重力方向推定の不完全さである。本研究では、両者をニューラルネットワーク(NN)によって記述した学習に基づく手法を構築し、カメラを用いた立体測位を真値として導入したNNの学習手法を提案する。さらに、IMUセンサ特性を学習させることで、IMUの違いに対する頑健性を向上させる。これにより、測位運用時には、学習したNNを用いてIMUのみから任意環境下での立体測位を実現する。実環境で計測した実践的検証を行うことで、提案手法の汎化性能を明らかにする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ニューラルネットワークを用いて暗または陽にIMUのセンサ特性をモデル化し、運動学を用いて移動量推定を行う手法を提案した。現在の移動量推定はカメラに基づく技術が主流である。しかし、暗所では測位できず、見えの変化のある動的環境では、測位精度が大きく低下する。そこで、周辺環境の影響を受けないデータ計測を行うIMUを用いて高精度な移動量推定を行う技術を確立した。実験では空中のみならず、水中と空中を行き来する移動においても高精度な推定を行えることを示した。IMUのみを用いて移動量推定を実現することは、計算量及び環境に対するロバスト性の高さの面でナビゲーション技術として貢献した。

研究成果の概要（英文）：Our objective is to develop a three-dimensional positioning method for any moving objects by using an Inertial Measurement Unit (IMU) which sensing is robust to the surrounding environment changes. The challenges are the estimation of noise and biases, as well as the incomplete determination of the gravity direction. In this work, we propose a method based on learning using a neural network (NN) to describe both noise and bias estimation and gravity direction estimation. Especially, we use camera-based positioning as ground truth for training the NN. Furthermore, we enhance the robustness against variations in IMU sensors by training the IMU sensor characteristics. During positioning inference, we can achieve three-dimensional positioning in any given environment using only the IMU through the utilization of the trained NN. We demonstrate the practical validation through measurements in real-world environments to assess the generalization performance of the proposed method.

研究分野：ナビゲーション

キーワード：IMU ディープラーニング オドメトリ キャリブレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

移動体測位技術は自動車や人の移動計測，ドローンの自立制御などに不可欠である．測位技術はインフラ型絶対測位と移動体搭載型相対測位に分類され，後者に焦点を当てた研究が行われている．相対測位は絶対測位ができない領域での移動に必要であり，環境に影響を受けない利点がある．相対測位の技術の中で，DR (Dead Reckoning) は IMU を使用し，人の運動制約等を組み込むことによって実現する平面測位のみが可能な技術である．一方，VO (Visual Odometry) はカメラ映像の見え方の変化を利用し，任意移動体の立体測位が可能であるが，暗所や動的環境では測位精度が低下する．多様な環境と動きに対応した高精度な立体測位技術の実現を目指し，DR と VO の改善と利点の活用を検証し，環境や動きに関係なく高精度な測位を実現する枠組みを構築する必要がある．

2. 研究の目的

任意移動体の 3 次元運動を計測可能な DR の立体測位技術を確立する．従来 DR の確率モデルの不完全さ・加速度分離の不完全さの解決方法として，両者を深層ニューラルネットワーク (NN) で記述する．さらに，理想環境下の VO の立体測位データと IMU データを用いて NN を学習する．これにより，測位運用時には，学習した NN を用いて IMU のみから任意環境下での立体測位を実現する．周辺環境の影響を受けない従来 DR の平面測位を立体測位化し，従来困難であった炎天下や暗所，狭空間での人の測位やドローン制御を，IMU のみを用いて実現する．

3. 研究の方法

(1) NN を用いた DR の立体測位手法の開発

時系列 IMU データを入力とし，運動学を模倣した NN に基づく立体測位を開発する．

(2) センサ特性を学習する NN を用いた手法の開発

IMU センサ特性を学習する機構を NN に組み込み，精度変化の要因を解析する．

(3) 多様な実問題に対する精度評価

多様な環境下において VO と同精度を達成できるか検証する．

4. 研究成果

(1) NN を用いた DR の立体手法として，図 1 に示すアーキテクチャを提案するとともに，NN のモジュールに用いられるパラメータの組み合わせの違いによる精度検証を行った．運動学を用いた立体測位は，姿勢変化の算出と速度の算出の 2 つの算出プロセスから構成される．姿勢変化の算出では，角速度の積分に基づく．速度の算出では，加速度から姿勢に応じて重力加速度を除去することで，移動体そのものの加速度を算出し，積分することで速度とする．これらのプロセスを行う際に，IMU データを運動学演算に直接利用するのではなく，IMU データを特徴ベクトルに変換する Feature Extraction Block を提案し，Kinematic Block にて運動学演算を行った．パラメータの組み合わせにおいては，KITTI と呼ばれる自動車データセットを用いて探索的分析を行った．その結果，過去のデータのみならず，未来のデータを用いて特徴ベクトルを算出する方式の精度が最も高いことを明らかにした．また，幾何演算においてもクォータニオンを用いた姿勢表現の場合の収束性が高いことを示した．

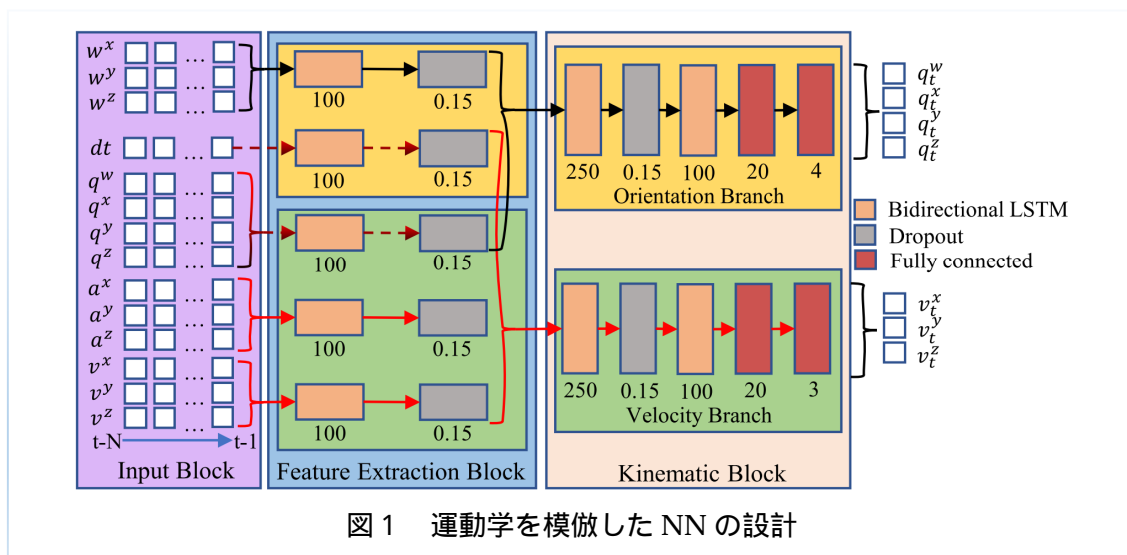


図 1 運動学を模倣した NN の設計

(2) センサ特性を学習する NN を用いた手法として、図 2 に占めるアーキテクチャを提案するとともに、DR の高精度化に寄与する要因を明らかにした。(1)で提案したアーキテクチャでは、センサ特性としてノイズやバイアス等の誤差要因を暗にモデル化していたのに対し、図 2 では加速度と角速度に含まれる誤差要因を陽に推定する枠組みを提案した。ノイズ、バイアス、センサの取り付け誤差から構成される誤差要因のそれぞれを推定することは困難であるため、これらをまとめた誤差要因量を推定する NN を加速度と角速度それぞれに対して構築した。NN の学習では、モーションキャプチャ等から得られる位置を真値として誤差伝搬を行う枠組みを設計することで、誤差要因量の真値がなくとも移動体の軌跡から誤差要因量をモデル化した。実験では EuRoC と呼ばれるドローンデータセットを用いて、提案手法の Ablation study を行った。その結果、角速度に対する誤差要因補正が高精度化に最も寄与することを明らかにした。さらに、Visual-Inertial Odometry (VIO) と呼ばれるカメラと IMU を併用した測位技術に対し、提案する NN を用いて誤差要因補正を行うことで、従来の VIO の精度を 20% 向上させられることを確認した。これは、IMU を利用する様々な技術に対し、提案手法を用いて誤差要因補正を行うことで高精度化を実現できることを示唆している。

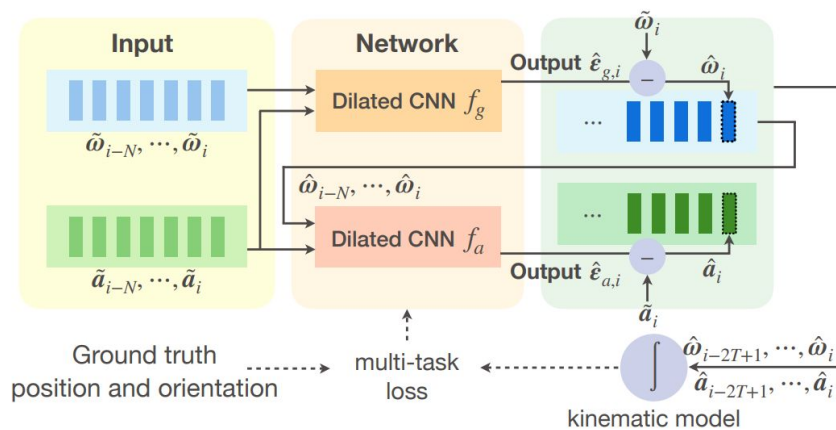


図 2 センサ特性を学習する NN の設計

(3) 多様な実問題に対する精度評価において、水中ドローンなどの水中移動体を対象とした実験を行った。水中測位は、ロボット工学やナビゲーションにおいて技術である。ソナーや水中 GPS などを用いた既存の技術は複雑な機器構成となり、さらに限られた条件下でのみ使用可能であった。そこで、IMU のみを用いた水中測位システムを提案した。NN の教師あり学習のためには水中における IMU の軌跡の真値を作成する必要がある。そこで、図 3 に示すように、モーションキャプチャ用マーカと IMU を剛体接続する棒状のジグを設計し、水中の IMU の軌跡を水上のマーカから算出する枠組みを構築した。実験では、特に既存技術で推定することの難しい水中や水上を行き来する動作に関するデータセットを構築し、IMU のみを用いて軌跡推定が行えることを示した。

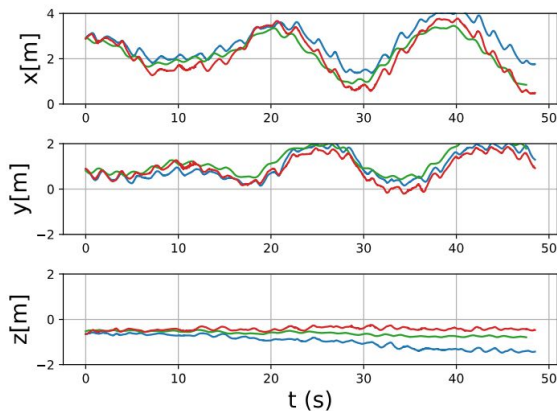
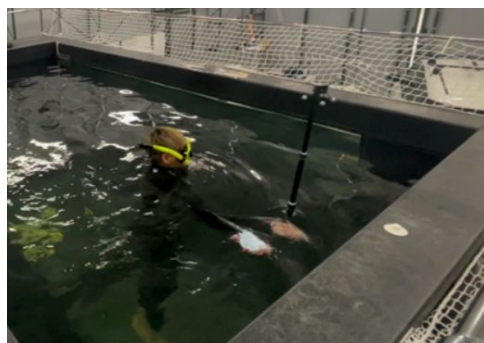


図 3 水中でのデータ計測と平泳ぎデータにおける精度検証

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Khan Dawar, Cheng Zhanglin, Uchiyama Hideaki, Ali Sikandar, Asshad Muhammad, Kiyokawa Kiyoshi	4. 巻 104
2. 論文標題 Recent advances in vision-based indoor navigation: A systematic literature review	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computers & Graphics	6. 最初と最後の頁 24 ~ 45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cag.2022.03.005	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 該当する

1. 著者名 Dugne-Hennequin Quentin Arnaud, Uchiyama Hideaki, Paulo Silva Do Monte Lima Joao	4. 巻 9
2. 論文標題 Understanding the Behavior of Data-Driven Inertial Odometry With Kinematics-Mimicking Deep Neural Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 36589 ~ 36619
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3062817	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 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 IMUを用いた6自由度水中オドメトリシステムの基礎検討
3. 学会等名 第73回コピキタスコンピューティングシステム合同研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いたIMUに基づくXDRの高精度化に向けた初期検討
3. 学会等名 HCGシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 Performance Analysis of Smartphone based Global 3D Body Tracking for Gait Tracking with Foot Mounted IMU and Target-Tracking Camera
3. 学会等名 HCGシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 What Can Data-driven Calibration Do for 6DoF Visual-Inertial Odometry?
3. 学会等名 HCGシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 Nursing activity recognition based on Exploratory Data Analysis
3. 学会等名 HCGシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 What Can Data-driven Calibration Do for 6DOF Inertial Odometry?
3. 学会等名 第75回ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 Deep Inertial Underwater Odometry System
3. 学会等名 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山英昭
2. 発表標題 A Classification Technique based on Exploratory Data Analysis for Activity Recognition
3. 学会等名 International Conference on Activity and Behavior Computing (国際学会)
4. 発表年 2022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