

令和 6 年 7 月 3 日現在

機関番号：32832

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04723

研究課題名 (和文) 気圧センサによる標高データを用いた位置算出方法の開発

研究課題名 (英文) Development of vehicle localization algorithm based on atmospheric sensor data

研究代表者

横田 孝義 (Yokota, Takayoshi)

東京情報デザイン専門職大学・情報デザイン学部・教授

研究者番号：50417028

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,300,000 円

研究成果の概要 (和文) : サイバーテロ、自然災害などの影響でGNSSの機能が障害を受けても車両の走行位置をMEMSセンサ情報から正確に求める以下の技術を開発した。1) デジタル道路地図の道路リンク単位にセンサデータを関連付け、位置推定が必要な車両 (評価車両) の走行状況に応じて参照すべきセンサデータを探索する方法を実現した。2) 評価車両と参照車両で走行速度に大きな相違がある場合でも相互相関関数を正しく計算するためにセンサデータを走行速度に応じて時間軸上で圧縮、伸長して改めてリサンプリングを行う速度補償処理を実現した。これにより一般道路網における実験で平均でRMS誤差1.6m、最大誤差が6.5mの位置推定精度を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究による気圧センサ等のMEMSセンサを用いた車両位置算出アルゴリズムは太陽フレアや国際紛争等による妨害電話等で機能障害が発生し得るGNSS(Global Navigation Satellite System)による位置算出方法の弱点を補強し、常に安定的に車両の位置を算出する手段を提供することが可能になり、今後の自動運転などの実現に大きく貢献し得るため社会的意義が大きい。また、道路の凹凸などによる微弱な振動情報が道路の位置を特定できるほどの特徴量として機能することと、それを用いた位置算出アルゴリズムを具合的に実現し、実際の道路で行った実証実験でその効果を確認した学術的意義が大きい。

研究成果の概要 (英文) : We developed the following technologies to accurately determine the driving position of vehicles using MEMS sensor information, even when the functionality of GNSS is disrupted due to the impact of cyber-terrorism and natural disasters.

We implemented a method to associate sensor data with digital road maps on a road links and to search for the relevant sensor data in order to estimate the location of the vehicle. We realized a speed compensation process that compresses and expands the sensor data along the time axis according to the driving speed, and then resamples it to correctly calculate the cross-correlation function even when there are significant differences in driving speeds between the evaluation vehicle and the reference vehicle.

As a result, we confirmed a position estimation accuracy with an average RMS error of 1.6 meters and a maximum error of 6.5 meters in experiments on general road networks.

研究分野：高度交通システム、最適化理論

キーワード：ITS GNSS MEMSセンサ 位置算出アルゴリズム 大気圧 標高

1. 研究開始当初の背景

自動車の位置を正確に測位する方法として全地球測位衛星システム, Global Navigation Satellite System (GNSS) が広く活用されている。しかし、衛星からの電波の受信状況によっては精度が低下する場合がある。また、GNSS に対するサイバー攻撃に対する懸念も高まっている。そこで本研究では、GNSS への依存度を減らすために気圧センサ, 加速度センサ, ジャイロセンサ, 地磁気センサなどの、いわゆる Micro Electro-Mechanical System (MEMS) センサデータを用いて走行車両の位置を推定する手法の開発を行う。そのコンセプトを図1に示す。すなわち、道路の起伏や表8項の変化、右折左折などの特徴を位置情報と対応つけておくことにより上記のMEMS センサ情報により車両の走行位置を特定できるのではないかとこの着想が本研究開始のきっかけとなっている。気圧データを用いた鳥取砂丘周辺道路での基礎実験により基本的な有効性を確認したため、加速度、ジャイロ、地磁気センサの情報も利用することで本格的な研究に着手した。

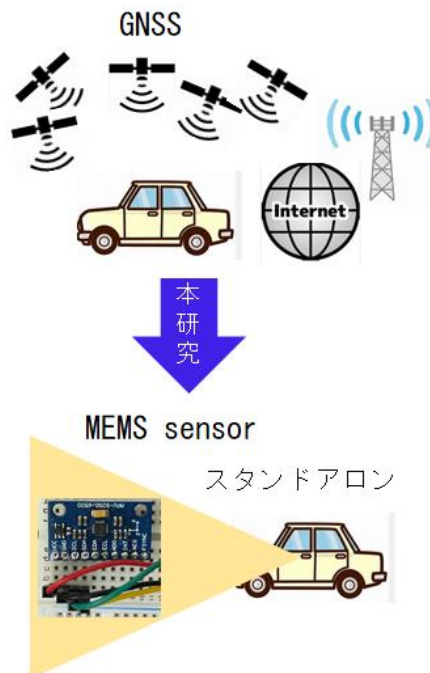


図1 本研究のコンセプト

2. 研究の目的

本研究の目的は、MEMS センサの情報を用いて RTK-GNSS の位置情報を参照データとし、通常の GNSS による測位精度（数メートルの誤差）に収まる測位方法を実現することである。これにより、RTK-GNSS や通常の GNSS 受信機を搭載していない車両でも、自車の走行位置を求めることが可能になる。

3. 研究の方法

RTK-GNSS と MEMS センサを搭載した車両で正確な位置情報と加速度 (X, Y, Z 方向)、角速度 (X 軸, Y 軸, Z 軸回り)、地磁気 (X, Y, Z 方向)、気圧の総計 10 種のセンサ情報を収集し蓄積する。これらは時系列情報である。GNSS を搭載していないが MEMS センサを搭載した車両はそのセンサデータと上記の参照用センサを比較照合することでセンサデータの相関が高い地点の位置情報をもって自車位置の推定値とすることが出来る。この原理を図2に示す。また、開発した MEMS センサ情報の収集装置を車両後部座席前に設置した様子を図3に示す。参照データと評価車両のセンサデータ間の比較には正規化相互相関関数を用いる。また、10 種のセンサデータには特徴量としての寄与率に格差があるためその格差に応じた最適な重みを設定して正規化相互相関関数を計算する。そしてこの正規化相互相関関数が最大値を与える時間差（参照用データの該当時刻と評価車両のセンサデータの現在時刻との差）が求められる。参照用車両の該当時刻の位置情報が位置推定値となる。この推定値と評価車両の位置の真値とを比較して精度評価を行う。

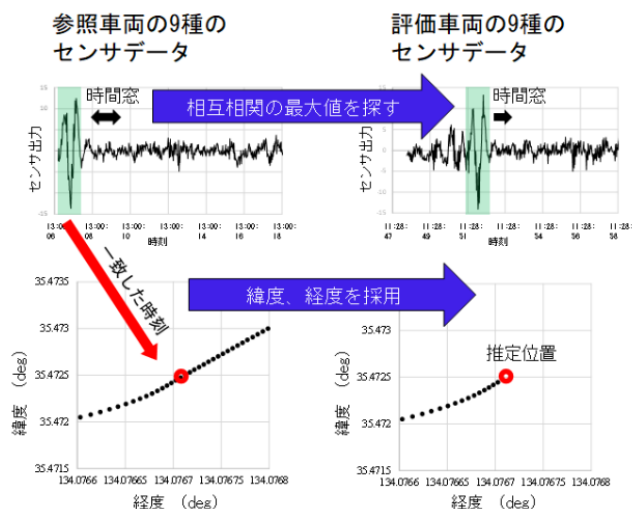


図2 車両位置推定の原理

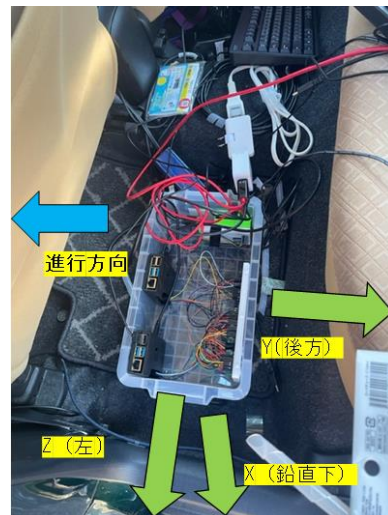


図3 MEMS センサ情報収集装置の設置状況

4. 研究成果

評価実験に用いた鳥取市内に設定した道路網を図4に示す。東西約3km, 南北約7kmのエリアで延べ31.7kmにわたりMEMSセンサデータとRTK-GNSSのデータを収集した。次に図5に示す代表的な区間で位置推定結果の評価を行った。該当区間の正規化相互相関関数の様子を図6に示す。図6から明確に正規化相互相関のピークが現れていることがわかる。このピークの値から参照車両の該當時刻を求めて得た位置情報と評価車両の位置情報とを比較して誤差評価を行った結果を図7に示す。この結果, RMS 誤差で1.6m 最大誤差6.5mという結果を得た。この誤差は通常のGNSSの誤差の水準であり, ナビゲーション目的であれば十分実用レベルにあると言える。なお, 自動運転を可能にするレベル(誤差0.1m以内程度と仮定)にはまだ至らないが, 今後はMEMSセンサデータの取得分解能の向上やカメラ画像処理の導入などにより改善可能と考えている。

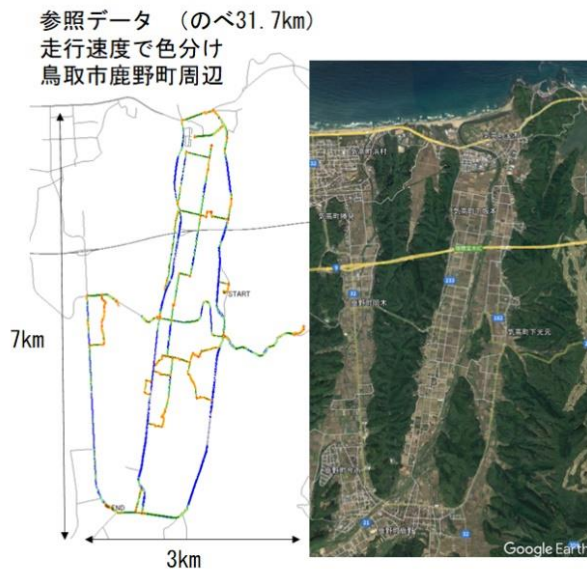


図4 鳥取市内に設定した評価用道路網

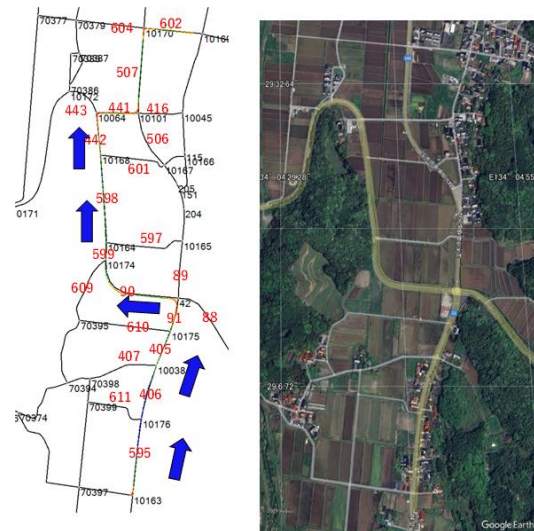


図5 評価区間(2分間, 約1.5km)

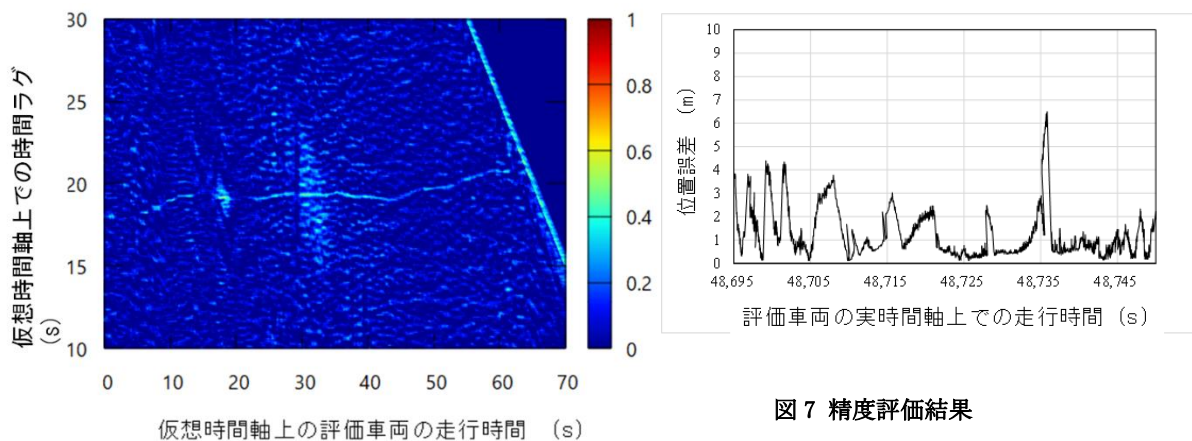


図7 精度評価結果

図6 正規化相互相関関数の様子

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計4件)

①Takayoshi Yokota, Network-wide Localization Algorithm Based on MEMS Sensor Data and Its Evaluation, Sensors & Transducers 265(12) 17-26 2024年5月

② Takayoshi Yokota, Vehicle Localization by Optimally Weighted Use of Cross-Correlated MEMS Sensor Data, Sensors & Transducers 261(2) 1-9 2023年6月

- ③ Takayoshi Yokota, Vehicle Localization by Altitude Data Matching in Spatial Domain and its Fusion with Dead Reckoning, International Journal of Mechatronics and Automation 8(4) 208-216 2021 年 12 月
- ④ Takayoshi Yokota, Vehicle localization by dynamic programming from altitude and yaw rate time series acquired by MEMS sensor. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration 14(1) 78-88 2021 年 4 月 27 日
- (学会発表) (計 12 件)
- ① Takayoshi Yokota, Network-wide Vehicle Localization Algorithm based on MEMS Sensor Data, 4th IFSA Winter Conference on Automation, Robotics and Communications for Industry 4. 0/5. 0 (ARCI' 2024) 2024 年 2 月(査読有)
- ② Takayoshi Yokota, Vehicle Localization by Correlated MEMS Sensor Data with Velocity Compensation, IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) 2023 2023 年 9 月(査読有)
- ③ 横田孝義, 速度変動を考慮した MEMS センサ情報による車両位置の推定方法 ～ 仮想時間軸による速度変動の補償 ～ 電子情報通信学会 ITS 研究会 2023 年 8 月 29 日
- ④ Takayoshi Yokota, Taiga Yamagiwa, Vehicle Localization by Optimally Weighted Use of MEMS Sensor Data. 3rd IFSA Winter Conference on Automation, Robotics and Communications for Industry 4. 0/5. 0 (ARCI' 2023) 2023 年 2 月(査読有)
- ⑤ 横田孝義, 山際大賀, 50Hz で取得した MEMS センサデータを用いた車両位置推定方式 ～ センサデータの高分解能化の位置推定精度への影響 ～ , 電子情報通信学会 ITS 研究会 2022 年 12 月 14 日
- ⑥ Taiga Yamagiwa, Takayoshi Yokota, Vehicle Localization Method Based on MEMS Sensor Data Comprising Pressure, Acceleration and Angular Velocity, IEEE ICMA 2022 Conference 2022 年 8 月(査読有)
- ⑦ 山際大賀, 横田孝義, 標高などの道路の特徴を用いた車両走行位置算出方法の一般道路ネットワーク対応について ～ 複数道路の同時評価による走行位置算出 ～ 電子情報通信学会 ITS 研究会 2022 年 3 月 11 日
- ⑧ Takayoshi Yokota, Vehicle Localization Based on MEMS Sensor Data SICE 2021, 2021 年 9 月 8 日(査読有)
- ⑨ ズル フィクリ, ビン バハリン, 横田孝義, MEMS センサによる大気圧, 加速度, 角速度などの情報を用いた走行車両位置推定方法の検討, 電子通信学会技術研究報告 120(291) 115-120 2020 年 12 月
- ⑩ Takayoshi Yokota, Localization Algorithm Based on Altitude Profile Matching Derived from Barometer , IEEE ICMA2020 2020 年 10 月(査読有)
- ⑪ Zul Fiqri Bin Baharin, 横田孝義, MEMS センサによる大気圧, 加速度および角速度情報を用いた走行車両位置の推定手法の検討 , 第 29 回計測自動制御学会中国支部学術講演会 2020 年 11 月 28 日 責任著者
- ⑫ Takayoshi Yokota, Localization Algorithm Based on Altitude Time Series in GNSS-Denied Environment, SICE 2020 2020 年 9 月(査読有)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Taiga Yamagiwa and Takayoshi Yokota	4. 巻 2022
2. 論文標題 Vehicle Localization Method Based on MEMS Sensor Data Comprising Pressure, Acceleration and Angular Velocity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)	6. 最初と最後の頁 786-791
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICMA54519.2022.9856341	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 —

1. 著者名 Takayoshi Yokota	4. 巻 8
2. 論文標題 Vehicle localisation by altitude data matching in spatial domain and its fusion with dead reckoning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Mechatronics and Automation	6. 最初と最後の頁 208～216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1504/IJMA.2021.120379	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 Takayoshi Yokota	4. 巻 60
2. 論文標題 Vehicle Localization Based on MEMS Sensor Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 60th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)	6. 最初と最後の頁 1094～1100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Takayoshi Yokota	4. 巻 14
2. 論文標題 Vehicle localization by dynamic programming from altitude and yaw rate time series acquired by MEMS sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 78～88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/18824889.2021.1906018	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

1. 著者名 Takayoshi	4. 巻 2022
2. 論文標題 Development of position calculation method using elevation data by barometric pressure sensor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 26～27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21820/23987073.2022.1.26	査読の有無 無
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 —

1. 著者名 Takayoshi Yokota	4. 巻 14
2. 論文標題 Vehicle Localization by Dynamic Programming from Altitude and Yaw Rate Time Series Acquired by MEMS Sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 78-88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/18824889.2021.1906018	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 —

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 横田孝義，山際大賀
2. 発表標題 50Hzで取得したMEMSセンサデータを用いた車両位置推定方式 ～ センサデータの高分解能化の位置推定精度への影響 ～
3. 学会等名 電子情報通信学会ITS研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takayoshi Yokota, Taiga Yamagiwa
2. 発表標題 Vehicle Localization by Optimally Weighted Use of MEMS Sensor Data
3. 学会等名 3rd IFSA Winter Conference on Automation, Robotics and Communications for Industry 4.0/5.0 (ARCI' 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山際大賀, 横田孝義
2. 発表標題 標高などの道路の特徴を用いた車両走行位置算出方法の一般道路ネットワーク対応について ～ 複数道路の同時評価による走行位置算出～
3. 学会等名 電子情報通信学会ITS研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takayoshi Yokota
2. 発表標題 Localization algorithm based on altitude time series in GNSS-denied environment
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayoshi Yokota
2. 発表標題 Localization Algorithm Based on Altitude Profile Matching Derived from Barometer
3. 学会等名 IEEE ICMA (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ズル・フィクリン・ビン・バハリン、横田孝義
2. 発表標題 MEMSセンサによる大気圧、加速度、角速度などの情報を用いた走行車両位置推定方法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ITS研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦彦音、横田孝義
2. 発表標題 大気圧センサによる標高計測を用いた位置推定方法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ITS研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 横田孝義(分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 6
3. 書名 自動運転車に向けた電子機器・部品の開発と制御技術	

〔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
---------	---------