

GPS 対応ドライブレコーダーの情報から生成する 車線中心線の精度検証

当麻英梨子^{†1†2} 五十嵐雄治^{†2} 亀井克之^{†2} 伊川雅彦^{†2} 城和貴^{†1}

概要: 本稿では、GPS の受信環境が良好な区間であれば、ドライブレコーダーの情報から精度 1m 以内の車線中心線の生成可能見込みがあるかの検証について述べる。GPS 対応ドライブレコーダーの情報を収集し、車線中心線を生成するシステムを開発し、検証に用いる。開発するシステムでは、複数回の走行データを活用し、走行車線毎の自車位置情報を統計処理することで、車線中心線を生成する。生成した車線中心線は、MMS の測量データを基にした車線中心線と比較することで精度評価を行い、精度 1m 以内の車線中心線を生成できる見込みのある区間も存在することを確認する。

Accuracy Verification of Lane Center Lines Generated by Information of Driving Recorder Equipped with GPS

ERIKO TOMA^{†1†2} YUJI IGARASHI^{†2} KATSUYUKI KAMEI^{†2}
MASAHIKO IKAWA^{†2} KAZUKI JOE^{†1}

1. はじめに

運転支援及び自動運転の開発が進められており、高精度地図の整備が期待されている。現在の手法は、測量にモバイルマッピングシステム (MMS : Mobile Mapping System) が用いられている。MMS とは、レーザスキャナー、カメラ及び GNSS などを搭載した専用計測車両にて情報を収集するシステムとなっている。この専用計測車両により道路を走行し測量を行い、相対精度 25cm を満たす地図が生成されている[1][2]。

高精度地図を活用することで、右左折するために予め車線変更を行ったり、カーブを曲がるために予め減速したりといった、急な加減速を削減し、快適な乗り心地を実現することができる。また、センサで認識した地物と高精度地図内の地物の位置を照らし合わせることで、自車両位置の補正をしたり、車車間で通信を行い他車両の位置を高精度地図上にマッピングすることで、他車両の位置を正確に把握したり、安全性への補完要素の 1 つとしても検討されている。

地震による地殻変動、歩道幅や区画線の引き直しによる道路構造の変化が生じる[3]ため、車線の形状や接続情報といった基盤地図は 1 ヶ月以内の更新頻度が必要とされている[2]。つまり、ある時点において実空間と高精度地図の情報において変化が生じてから、地図の更新が行われるまでの期間、当該地図を活用すれば、自車両の位置や他車両の位置を誤認識する危険性が生じる。しかし、専用計測車両による高精度地図の生成には、費用と時間を要するという課題がある。

そこで、一般車両に搭載されているセンサ情報を収集し、地図生成および更新箇所検出に活用することが検討されている[4][5]。このようなセンサ情報はプローブ情報と呼ばれる。位置計測に用いるセンサが汎用的な GPS の場合、通常数 m ～数十 m の緯度・経度の誤差を含むため、GPS 情報だけでは走行車線の特定さえ難しく、計測精度が課題となる。

計測精度を向上させるため、走行車線毎の GPS データを統計処理する手法が提案されている[6]。20 回分データを統計処理することで、0.5m 精度の車線情報を持つ道路地図データの作成が報告されている。

高度な運転支援には、車線形状や車線接続情報を有した相対精度 1m 以内の精度が必要とされている[4]。相対精度 1m 以内の高精度地図を一般道路においても整備することができれば、運転負荷の軽減や事故防止に大きく貢献することができる。道路の計測には、普及が進んでいるドライブレコーダーの記録データを採用する。ドライブレコーダーはあおり運転などの危険な運転が社会問題となり、国土交通省では、導入経費を一部補助することで自動車運送事業者への普及促進にも努めている[7]。そのため、今後ドライブレコーダーの搭載者が増えれば、一般車両からの多数の走行データ収集が期待できる。

本稿では、GPS の受信環境が良好な区間であれば、ドライブレコーダーの情報から精度 1m 以内の車線中心線の生成できるかの検証について述べる。GPS 対応ドライブレコーダーの情報を収集し、車線中心線を生成するシステムを開発し、検証に用いる。GPS 対応ドライブレコーダーでは、画像情報だけでなく、GPS の計測情報も記録され、位置情報や車の速度も取得することが可能である。本システムは、複数回の走行データを活用し、走行車線毎の自車位置情報を統計処理することで、車線中心線を生成する。なお、画像情報から走行車線を特定した結果を入力とし、画像分析

^{†1} 奈良女子大学
Nara Women's University
^{†2} 三菱電機 (株)
Mitsubishi Electric Co.

手法は扱わないものとする。評価では、実際に一般道路を走行して収集したドライブレコーダーのデータを用いて車線中心線を生成する。生成された車線中心線と MMS の測量データを基にした車線中心線（以後、MMS 車線中心線と記載）を比較することで精度の確認を行う。その結果、精度 1m 以内の車線中心線が生成できる見込みのある区間も存在することを確認する。

以下、2 章でプローブ情報による高精度地図生成手法について説明する。3 章で開発した車線中心線生成システムについて述べ、4 章で評価実験を行い、考察を述べる。

2. プローブ情報による高精度地図生成

プローブ情報を用いた高精度地図生成には、GPS の計測誤差への対策が必要となる。以下、2.1 節にてプローブ情報活用のメリットとデメリットについて説明し、デメリットの対応策である、複数データの統合処理について 2.2 節にて説明する。

2.1 プローブ情報活用のメリットとデメリット

車道幅員 5.5 メートル未満の道路を交通安全白書[7]では、生活道路として定義しており、生活道路における交通安全の確保を重要な課題として挙げている。これは、死亡事故件数全体のうち、生活道路における死亡事故件数が安定した減少傾向とはなっていないためである。生活道路における高精度地図を整備し、運転支援機能を生活道路においても利用できれば、事故防止に大きく貢献することが可能になる。一方で、高速自動車国道が約 0.9 万 km に対して、一般道路はその約 139 倍も存在し、そのうち生活道路と呼ばれる車道幅員 5.5 メートル未満の道路は約 71%を占めている[8]。広域の一般道地図整備を専用車両のみで対応するには限界がある。

広域の地図を最新の状態に維持していく手法として、プローブ情報の活用が注目されている。プローブ情報の活用メリットは、豊富な情報量とリアルタイム性である。一日に何度も同じ車線の計測が可能であり、車が走行している道路すべてが計測対象として情報収集が見込める。一方でデメリットは、情報の信頼性が低いことである。一般車両の走行目的は道路計測ではないため、一定の速度で車線変更をせず、常に車線の中心付近を走行しているわけではない。また、高精度な GNSS を搭載していることも期待できない。車線変更による影響を許容し、一般車両の多くが搭載している GPS やカメラのようなセンサを想定する必要がある。

2.2 複数データの統合処理

GPS の計測誤差への対策として、複数台の車両から取得した計測情報を統計処理して統合することで精度を向上させる手法が提案されている。統合した結果を得るために

は、複数車両から任意の時間間隔で計測される位置座標間のマッチング処理が必要となる。GPS の計測情報のみを使用し、統合する位置座標間のマッチングを行うには、ICP (Interactive Closest Point) アルゴリズム[9]を用いて、加重平均をとる統合手法がある。ICP アルゴリズムを用いるには、カーブや交差点といった特徴的な形状が必要となり、処理範囲の決定に制限が生じる。また、計算量が大きいという課題がある。

GPS の計測情報の他に、車両前方に設置したカメラから路面端位置と、路傍（車両が走行する路面領域の外側の領域にある非路面領域を意味する）の色相値を取得して統合する位置座標間のマッチングを行う手法もある[5]。この手法では、DP (Dynamic Programming) マッチング[10]を適用し、色相値の 2 乗誤差の累計が最も小さくなるよう位置座標間のマッチングを行い、マッチングする位置座標間の加重平均をとっている。特徴的な形状が存在せずともよいため、短距離単位での統合を可能としている。本手法の評価では、ICP を用いた手法と同等の道路形状データが得られ、処理速度が高速化できることを確認している。一方で、統合による精度向上の効果に関しては、評価がなされていない。

バッグガイドモニタ用に普及している後方カメラ画像を収集し、カメラ画像の相対位置関係の精度が高いことを活用し、路面マークなどを用いて統合する位置座標間のマッチングを行う手法もある[4]。位置座標群を決定し、統合処理を実施した結果、郊外路では、5~10 回分のデータで、位置誤差の 2σ は約 1m、都心部では 10 回分のデータで 10m、20 回分のデータで 6m 程度となったとしている。この手法では、30Hz のカメラ画像を使用しており、収集データ量が大きい課題がある。また、カメラ画像間の位置関係を特定するため、個々の車両のカメラの特性とカメラの位置姿勢は既知である必要がある。

カメラ画像とミリ波レーダー情報を収集し、統合する位置座標群を決定する手法もある[6]。ミリ波レーダーにて、左側にある最も近い静止物体までの距離を計測し、カメラにて認識した区画線の横方向のマッチングを行うことで、統合する位置座標を決定している。高速道路では、一般的にガードレールが設置されていることに着目した手法で、ドイツの高速道路 80km 区間で評価を行い、20 回分のデータを統合処理することで 0.5m の精度が報告されている。しかし、一般道では、ガードレールが設置されているとは限らず、特定の地物に依存した手法では、広域の地図整備に活用することができない。

同じ位置で計測された位置座標を正確にマッチングし統合すれば統計的な精度向上が見込める。一方で、より正確なマッチング処理を実現するには、収集データの拡大や、マッチング処理の計算コストが増大する。さらに、各手法の精度向上への効果を評価するには手間を要する。同一の

場所で、同一の交通環境において収集したデータに対して、各手法を適用し、精度比較をしなければ、十分な評価ができないためである。

3. 車線中心線生成システム

本章では、マッチング処理の計算コストが少ない、横方向の位置合わせのみを行うことで、車線別に統合処理を実施する手法[6]を採用した、車線中心線を生成するシステムの開発について述べる。本システムで必要となる収集データは、GPS 対応ドライブレコーダーの情報のみとする。ドライブレコーダーを取り付ける場合、運転の妨げにならないように取り付ける場所が、国土交通省の定める道路運送車両の保安基準で定められている。その場所は、ルームミラーの裏側となっているため、おおよそ車両の中心と見なすことができる。そこで、GPS の計測位置を車両の中心位置、つまり車線の中心とみなし、GPS 情報を基に車線中心線を生成する。開発した車線中心線生成システムを用いて、一般道路を走行して収集したドライブレコーダーのデータを入力し、精度 1m 以内の車線中心線の生成が可能であるか 4 章にて検証を行うものとする。

3.1 システム構成

開発する車線中心線生成システムでは、同じ車線を複数回走行した GPS 対応のドライブレコーダーの記録データを入力とする。一般車両からの情報収集を可能とするため、走行環境に合わせた任意タイミングの車線変更の発生を考慮する。システムの構成を図 1 に示す。車線中心線生成システムは DB にて入出力データを管理する。入力データは、ドライブレコーダーの記録データから抽出し、DB 内に作成した測位データテーブルに格納して活用する。測位データテーブルのデータを用いて、車線中心線の形状情報及び接続情報を生成し、DB 内の車線中心線テーブル及び接続情報テーブルに格納する。

3.2 処理手順

車線中心線生成システムの処理手順について、説明する。以下①～⑥の処理を行うことで、ドライブレコーダーの記録データから車線中心線の形状情報及び接続情報を生成する。

- ①インポート処理
- ②不要データ削除処理
- ③link 生成処理
- ④統計処理
- ⑤車線中心線生成処理
- ⑥接続情報生成処理

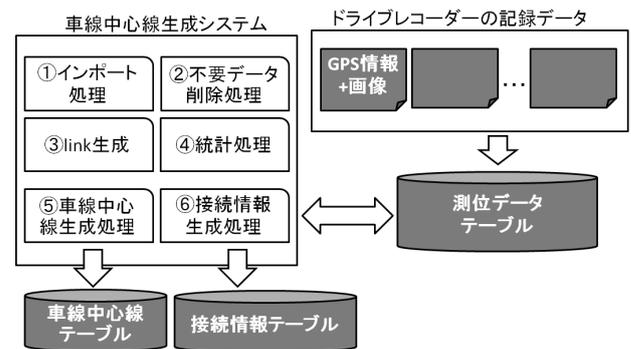


図 1 車線中心線生成システム構成

Figure 1 The configuration for lane center line generation system.

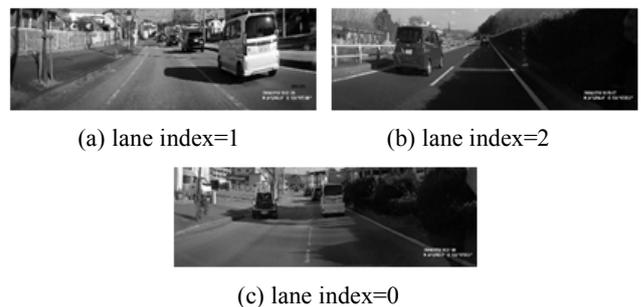


図 2 車線インデックスの割り当て方法

Figure 2 The assignment method for lane index.

表 1 測位データテーブルにインポートするデータ

Table 1 The data to be imported into the table for positioning data management.

データ名	内容
データ ID	記録ファイルを一意に識別する ID
日時	計測時刻
ステータス	データの有効・無効
自車位置	緯度, 経度
速度	対地速度
方位	進行方向 (度)
車線インデックス	左から何番目の車線を走行しているかという情報

①では、ドライブレコーダーの記録データから表 1 の情報を抽出し、DB 内の測位データテーブルに登録する。ドライブレコーダーの記録データは、主に GPS 情報と画像データから構成され、一定の時間間隔で 1 つのファイルとして保存される。この保存ファイル単位で一意に識別できるようにデータ ID を割り振る。1 ファイルの中に、一定の時間間隔で計測が行われた GPS 情報が保存されているため、日時、GPS 受信環境の指標値を示すステータス、自車位置、速度、方位を抽出する。次に画像データを参照し、同日時の走行画像を取得し、左から何番目の車線を走行している

かという情報（以後、車線インデックスと記す）を生成する（図 2）。なお、車線を跨いでいる場合には、車線インデックスは「0」とする。本開発では、目視判断にて割り当てを実施している。画像データについては、車線インデックスの算出にのみ用いる。

②では、不要なデータの削除を行う。停車している（速度=0）のデータや、ステータスが無効となっているデータ、車線インデックスが 0 のデータを除去する。

③では、同データ ID を持ち、日時が連続する（時間間隔から判別）自車位置を結んだ線分（以後、link と記す）を生成する。図 3 に link 生成のイメージを示す。▲、●、★マークは自車位置を表現したものである。同じマークのものは、データ ID が同じとする。連続する日時の自車位置を接続し、link を生成する。一部接続していないマークが存在するのは、②において、不要なデータを削除したためである。

④では、任意の link (link A) から任意の閾値の長さの垂線を引き、垂線と交点を持つ link を抽出する (link 群 B)。link 群 B の中から link A と車線インデックスが一致し、方位が閾値以内の link を抽出し (link 群 C)、link 群 C の交点の重心を算出する。交点が n 個あった場合の重心の算出式は式 (1) の通りである。link 群 C 抽出時に方位判定を入れるのは別道路の link を除去するためである。図 4 は、統計処理のイメージ図である。図中の垂線は link A の垂線を指しており、図中の交点は link 群 C の交点を指している。

⑤では、④で算出した重心を車線インデックス別に接続し、車線中心線を生成する（図 5）。車線中心線の形状を構成する④で算出した重心を補間点と呼ぶものとする。生成した車線中心線の情報は表 2 の車線中心線テーブルに格納する。

⑥では、車線中心線を生成する際に統計処理した link の元となったデータ ID を抽出する。図 6 を例に説明すると、車線中心線 A は▲、●、★マークのデータから生成され、車線中心線 B は、●、★マークのデータが元になっている。同データが元になっている車線中心線は接続しているとみなし、いくつかのデータが当該車線中心線間の接続を証明しているのか、接続カウントとして算出する。車線中心線 A と車線中心線 B の接続カウントは●、★マークのデータが接続を証明しているため 2 となる。生成した接続情報は表 3 の接続情報テーブルに格納する。

4. 評価実験

本章では、開発した車線中心線生成システムを用いて、精度 1m 以内の車線中心線の生成可能見込みがあるかの評価実験を行う。ドライブレコーダーを搭載した車両で郊外を走行し、記録データから車線中心線を生成し、隣接車線との交わりのような不整合な形状生成がないかを確認する。

表 2 車線中心線テーブル

Table 2 Lane center line table.

データ名	内容
車線中心線 ID	車線中心線形状を一意に識別する ID
形状	緯度、経度座標を持つ点を結ぶ折れ線。進行方向順に接続する。
車線インデックス	左から何番目の車線という情報

表 3 接続情報テーブル

Table 3 Connection information table.

データ名	内容
車線中心線 ID	車線中心線形状を一意に識別する ID
接続車線中心線 ID	車線中心線形状を一意に識別する ID (車線中心線 ID→接続車線中心線 ID 順に接続しているものとする)
接続カウント	車線中心線 ID→接続車線中心線 ID を走行したプローブデータ数



図 3 link 生成イメージ

Figure 3 The image of generating links.



図 4 統計処理イメージ

Figure 4 The image of statistical processing.

$$\text{交点 } P_1(x_1, y_1), \dots, \text{交点 } P_n(x_n, y_n) \text{ の} \\ \text{重心} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \quad (1)$$



図 5 車線中心線生成イメージ

Figure 5 The image of generating lane center lines.



図 6 接続情報の生成

Figure 6 Generating connection information.

また、生成した車線中心線の精度を評価するため、MMS 車線中心線との誤差を算出する。

実験に用いたドライブレコーダーの仕様は、1ファイルに保存されるのは5分間の記録データで、GPS情報が保存されるNMEA形式のファイルと動画ファイルがセットで生成される。GPS情報の測位間隔は1s間隔であるため、動画ファイルから1秒間隔の静止画を生成し、目視判断にて車線インデックス情報を生成した。入力とした5回分の走行データの詳細を表4に示す。なお、本入力データのGPSのステータスはすべて有効となっており、GPS受信環境は大変良好な区間と言える。基本的には同車線を走行するようにしているが、周りの交通の流れに合わせ、必要に応じて車線変更も実施している。入力データの自車位置を点として地図上に可視化した結果を図7に示す。

入力データの精度を評価するため、MMS 車線中心線との誤差を算出した。入力データとは、3.2節にて記載した車線中心線生成システムの処理のうち、②不要データ削除処理後、測位データテーブルに格納されている自車位置全点とする。誤差の算出方法は、各自車位置から5mの垂線を進行方向に向かって左右両側90度方向に作成し、MMS 車線中心線との交点を求める。交点を持つMMS 車線中心線と車線インデックスが一致する場合には、各自車位置と交点との距離を誤差 e として算出する。なお、進行方向に向かって左側の垂線との交点を持つ場合にはプラス値、進行方向に向かって右側の垂線との交点を持つ場合にはマイナス値とする。誤差を算出できた自車位置のみで平均 u を算出し、車線インデックスが一致する交点が存在しない場合は、算出不可として扱う。また、誤差 e の標準偏差 s 、誤差 e の最小誤差(絶対値)と最大誤差(絶対値)も算出した。標準偏差 s の算出方法は、式(2)の通りである。式中の e は各自車位置における誤差を指す。結果を表5に示す。なお、本結果においては、誤差が算出不可となる自車位置は4点のみだった。

車線中心線の生成結果は図8となる。約3本の車線中心線が生成できていることがわかる。一部途切れている箇所については、車線を跨いだ走行や車線変更によって、当該区間の計測結果が取得できていないことに起因している。生成できた車線中心線の総距離は約5kmだった。また、生成した約5kmの車線中心線は、隣接車線との不正な交わり等は発生しておらず、車線ネットワーク情報として不整合がないことを確認した。

統合による精度評価を実施するため、3回分以上のデータにて統合処理を行った区間を抽出し、車線中心線の形状の各補間点とMMS 車線中心線との誤差を算出した。算出方法は、入力データの精度評価と同様である。生成できた車線中心線の距離、誤差の平均、標準偏差、最小誤差(絶対

表4 入力データの詳細

Table 4 Input data details.

データID	走行距離 (km)	平均速度 (km/h)	標準偏差 (速度)	車線跨変更回数
0	1.8	38	14	6
1	2.5	47	18	5
2	2.1	44	17	6
3	2.0	41	18	6
4	3.0	46	18	6

表5 入力データの精度評価

Table 5 Accuracy evaluation of input data.

総数	平均 u	標準偏差 s	最小(絶対値)	最大(絶対値)
871	-0.72m	1.11m	0.001m	4.65m

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - u)^2} \quad (2)$$



図7 入力データの自車位置可視化結果

Figure 7 The visualization result of car positions which is input data.



図8 生成した車線中心線の可視化結果

Figure 8 The visualization result of generated lane center lines.

表 6 生成した車線中心線の精度評価

Table 6 Accuracy evaluation of generated lane center lines.

統合数	補間点数	生成距離	平均 u	標準偏差 s	最小(絶対値)	最大(絶対値)
3	42	434m	-0.18m	0.49m	0.01m	1.11m
4	67	866m	-0.90m	0.48m	0.01m	2.06m
5	17	213m	-0.87m	0.37m	0.56m	1.88m

値)と最大誤差(絶対値)を算出し、結果を表 6 にまとめた。本結果において、誤差が算出不可となる補間点はなかった。

5 回分の統合処理にて生成した車線中心線では、誤差の平均が約-0.87m、標準偏差が約 0.37m となった。平均が 1m 以内となり、一部の区間において精度 1m 以内の車線中心線が生成できる見込みが得られた。一方で最大誤差(絶対値)が約 1.88m あり、GPS 受信環境が良好な区間においても精度が悪い区間が混在する課題がある。

5. まとめ

本稿では、ドライブレコーダーの情報から精度 1m 以内の車線中心線の生成が可能であるかの検証について述べた。GPS 対応ドライブレコーダーの情報を収集し、車線中心線を生成するシステムの開発し、生成した車線中心線の精度評価を実施した。開発した車線中心線生成システムでは、GPS の計測情報と車線インデックス情報を入力とし、走行車線毎の自車位置情報を統計処理することで、車線中心線を生成する。

評価では、実際に郊外の一般道路を 5 回走行したドライブレコーダーのデータを収集し、約 5km の車線中心線を生成した。なお、本入力データの GPS のステータスはすべて有効となっており、GPS 受信環境は大変良好な区間と言える。また、5 回分のデータの統計処理を行い、生成された約 213m 区間について、MMS 車線中心線との誤差平均と標準偏差を算出したところ、約-0.87m、約 0.37m の精度だった。

これにより、GPS の受信環境が大変良好な一部の区間において、マッチング処理の計算コストが少ない、車線別統計処理のみで、精度 1m 以内の車線中心線が生成できる見込みが得られた。また本区間において生成した車線中心線には、隣接車線との不正な交わり等は発生しておらず、車線ネットワーク情報として不整合がないことを確認した。一方で、最大誤差(絶対値)は約 1.88m あり、GPS 受信環境が良好な区間においても精度が悪い区間が混在する課題がある。

今後は、画像認識やディープラーニングを活用し、ドライブレコーダーの画像データから車線インデックス情報の自動生成を検討する予定である。また、十分な走行データが取得できていない場合や、車線変更や車線を跨いだ走行が発生すると、一部生成されない区間が発生する。さらに、はずれ値が含まれる場合、そのまま形状に影響する問題点

がある。一般的に道路は、直線、クロソイド、円弧のパターンで対応できるように設計されている[11]ため、近似線形を求めることにより、より精度が高く、より生成可能範囲が広い手法の検討を進める予定である。加えて、生成した車線中心線の利用可能な区間を判断するために、精度が悪い区間を推定したり、精度指標を算出したりする方法を検討する予定である。

参考文献

- [1] 北川知秀, 土田直, 安井嘉文. 高精度地図作成技術(「ダイナミックマップによる社会 IoT の実現とその活用」特集号). システム制御情報学会誌. 2016, vol. 60, no. 11, p. 475-480.
- [2] 小山浩, 柴田泰秀. 自動走行におけるダイナミックマップ整備(「ダイナミックマップによる社会 IoT の実現とその活用」特集号). システム制御情報学会誌. 2016, vol. 60, no. 11, p. 463-468.
- [3] 久保田誠也, 須崎純一, 栗木周. プローブデータを用いたデジタル道路地図位置ずれ自動補正手法の開発. 交通工学論文集. 2017, vol. 5, no. 2, p. A_44-A_52.
- [4] 小島祥子, 石田皓之, 寺本英二, 村瀬洋. 汎用 GPS と車載カメラデータ収集による高精度地図生成手法の提案~複数時刻の衛星情報を用いた精度向上~. 情報処理学会論文誌. 2013, vol. 54, no. 1, p. 103-115.
- [5] 山内仁, 友野晃, 金川明弘. 路傍色相情報に基づいた形状統合による道路地図作成プローブシステム. 情報処理学会論文誌. 2011, vol. 52, no. 1, p. 257-268.
- [6] Massow, K. Kwella, B. Pfeifer, N. Hausler, F. Pontow, J. Radosch, I. Hipp, J. Dolitzscher, F. and Haueis, M.. Deriving HD Maps for Highly Automated Deriving from Vehicular Probe Data. 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). 2016, p. 1745-1752.
- [7] 内閣府. 平成 28 年交通安全白書. 2016
- [8] 国土交通省. 道路統計年報 2018
- [9] Besl, P.J. and McKay, N.D.. A Method for Registration of 3-D Shapes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1992, vol. 14, no. 2, p. 239-256.
- [10] 迫江博昭. DP マッチング法とその応用 (時系列パターンの認識システムの研究). 数理解析研究所講究録. 1975, no. 229, p. 89-98.
- [11] 田中成典, 中村健二, 山本雄平, 今井龍一, 窪田諭, 姜文淵. MMS 点群データを用いた高架道路橋の線形の自動生成に関する研究. 知能と情報(日本知能情報フェジィ学会誌). 2016, vol. 28, no. 5, p. 826-845.