

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

山 内 仁^{†1} 友 野 晃^{†2,*1} 金 川 明 弘^{†1}

近年，カーナビゲーションシステムが広範に普及しているが，用いられる地図データは多くとも年度更新程度であり，道路網の変化に追従できていない現状がある．これは，更新データ作成に莫大な作業が必要なためであり，そのコスト削減のためのデータ作成自動化についての研究が行われている．これらの研究としては，道路地図作成のための専用車両によるものや空撮データに基づく手法などがあげられるが，いずれも道路地図作成者の多大な労力を必要とし，広範な地域に対して更新を継続的に行うことは困難である．本論文では，近年一般車両に普及しつつある車載カメラと GPS レシーバを用い，一般車両をプローブカーとして活用する動的地図作成システムを提案する．提案する道路地図作成システムは，それぞれのプローブカーにおける処理と，その処理結果の集計・統合処理に大別できる．プローブカーにおいては，車両前方の道路幅情報とその路傍の色相情報の抽出を行い，同時に得られた GPS 位置情報に基づいた時系列蓄積によって道路形状情報を取得する．さらに，同一道路に対する道路形状情報を複数車両より得，それらを路傍色相情報に基づく DP マッチングにより統合し，統計的に信頼性の高い道路地図を作成する．実験車両を用いて複数回の実験走行により得られた道路形状情報の統合実験を行い，道路地図が正しく生成されることを確認した．

A Road Map Making Probe System by Integration of Road Shapes with Roadside Hue Information

HITOSHI YAMAUCHI,^{†1} AKIRA TOMONO^{†2,*1}
and AKIHIRO KANAGAWA^{†1}

Recently, many car navigation systems are used. And the road map are used in the car navigation systems as a main information. However, the map data may not be refreshed and the contents is remained in old information. This is caused by huge cost for refreshing. For this problem, some researches are proposed. For example, a specific measurement car is employed for high accurate

measurement. In this paper, a dynamic road map making system is proposed. The proposition system uses probe-cars which has an in-vehicle camera and a GPS receiver. On the probe-car, the system detects global position of roadside edge and road side hue information from the images taken by the camera. On the server side, the system integrates probed road shapes using DP matching based on hue information. The experimental results are shown that the proposition can generate accurate road map from plural road shapes detected by probe-cars.

1. はじめに

近年，従来からの高機能なものに加えて，比較的低機能であるものの安価に導入できる PND (Portable Navigation Device) の出現により，カーナビゲーションシステムが広範に普及している．その一方で，システムの基盤となる道路地図データについては，そのデータ作成に多大な労力を必要とするため，多くとも年度ごとの更新にとどまっており，道路交通網の変化を随時反映できていない現状がある．また，利用者もその更新頻度および手間を理由に更新を行わずに購入時のデータを利用しつづける傾向も見られ，不完全な地図データを利用している場合も多い．

前者の道路地図データ作成に関わる問題に対して，道路地図データ作成の自動化と 3 次元データ化を目的に，専用計測車両を用いた自動計測が提案されている¹⁾．また，地図データの作成ではないものの，道路周辺環境の計測・取得という観点からは Google Maps におけるストリートビューも専用車両による計測の一例である²⁾．しかしながら，これらの手法はいずれも地図作成者が専用車両を用意し，運用することが前提であり，広範な地域のリアルタイムな情報を取得することは困難である．

広範な地域のリアルタイムな情報を取得する枠組みとして，近年，多数の車両に搭載した計測機器により取得したデータを集計することで情報を得るプローブカーシステムが注目されている．これまでに提案されているプローブカーシステムとしては，各車両の走行速度に基づく渋滞情報の取得および提供システムなどがあげられる^{3),4)}．また，道路地図に関連

^{†1} 岡山県立大学情報工学部

Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Okayama Prefectural University

^{†2} 岡山県立大学大学院情報系工学研究科

Graduate School of Systems Engineering, Okayama Prefectural University

*1 現在，株式会社システムエンタープライズ

Presently with System Enterprise Co., Ltd.

したものとして、渋滞情報などの情報提供の枠組みを拡張した地図配信システムが一部で実用化されている⁵⁾。このシステムで配信される道路地図データは、行政から提供される新設の高規格道路など、および自宅や目的地周辺の道路についての最新情報である。しかしながら、そのデータは配信元あるいは地図提供者からの情報に基づくものであり、データの更新頻度が低いという問題は解消されていない。

ブローブカーシステムは、一般車両全般をセンサとして活用することが可能となる枠組みである。このようなブローブカーが広く普及し、これらによって道路地図データが収集され、そのデータの集約・統合が実現されれば、広範かつ都市部・地方部にかかわらず道路地図データが常時更新された状態で得られることになる。そこで、この更新された道路地図データをそのまま各ブローブカーに配信することで、ユーザは更新の際の手間をかけることなく、常時最新の道路地図データを利用することが可能となる。

ブローブカーを活用した地図データ作成の方法としては、ブローブカーの位置情報である GPS データから走行軌跡を取得することで、道路の形状情報を得ることが考えられる。しかしながらこの方法では、その車両の車線内での走行位置によって得られるデータに変動が生じ、正しい道路位置の特定が困難となる。さらに、複数車線が存在する道路では得られた走行軌跡から 1 つのレーンがそのような軌跡となっているのか、走行車両がレーン間を移動しているのかの判定は困難である。また、道路地図利用の観点からは、道路の幅情報が走行のしやすさや通過に要する時間を見積もる重要な手掛かりとなることから、単に道路形状が分かるだけでは不十分であると考えられる。

このほかに、複数車両から得られる GPS 位置情報と車載全方位カメラによる画像情報から都市の三次元モデリングを行う手法が提案されている⁶⁾。この手法では、全方位画像データを統合して、全周画像データを生成することが目的である。そのため、各車両からは画像データそのものを収集する必要があり、ブローブデータのデータ量は膨大である。計測を行う車両からこのような画像データを通信回線を通して送信することは、インフラの整備が必要であるとともに、ブローブカーに対して高性能な通信機器の搭載を要求することとなり、一般車両をブローブカーとして用いることは困難である。また、GPS 位置情報とレーザスキャナを用いて、車両前方の距離情報を DP マッチングにより統合することで走行環境の情報を取得する手法が提案されている⁷⁾。しかしながら、レーザスキャナは一般に高価であり、一般車両にこれを搭載してブローブカーとして用いることは困難である。また、距離情報に基づく手法であるため、特に複数車線を有する道路について、車線幅情報を得ることは不可能である。

これに対して、ブローブカーを活用し、道路幅情報を有した道路地図を動的に作成する手法が提案されている^{8)–10)}。これらの手法では、単に GPS の軌跡情報から道路形状を得るのではなく、車載カメラを用いて得られる画像データから、走行している車線の両端までの距離を計測することで、その車線の幅とともに GPS により得られる車両位置に基づいた車線端の位置を取得し、道路地図データを作成している。そのため、画像データそのままをやりとりすることなく、少ないデータ量のやりとりが可能な程度の比較的性能の低い通信機器で運用可能な手法となっている。しかしながら、この手法は道路の形状特徴に依存した統合処理を用いているため、直線道路のみのデータを統合することは困難であり、曲線などを含んだ比較長距離のデータを統合する必要がある。また、統合時において参照すべきデータ量が大きく、統合処理の計算量が大きいことも問題点としてあげることができる。

本論文では、まず、ブローブカーとデータ集約先とのデータの送受信量を考慮した、ブローブカーを用いた道路地図の動的作成および配信システムの全体像を提案する。次に、動的作成手法として、ブローブカーによって得られる道路形状情報に路傍（左側路端外の非路面領域）の色相情報を付加し、道路形状に依存しない統合処理を高速に実現する手法を提案する。以下、2 章で地図作成の自動化についての既存研究について述べ、3 章で提案する動的な道路地図作成システムについて述べる。4 章で検証実験の結果を述べ、最後に 5 章で結論を述べる。

2. ブローブカーによる道路地図作成の自動化

2.1 ブローブカーシステム

渋滞情報や道路地図などの道路交通に関する情報は、それらの情報提供者が様々な方法によって情報を収集することによって得られる。たとえば、渋滞情報については、道路上に設置された車両検知センサや監視カメラにより得られた情報に基づくことができる。しかしながら、それらのセンサ類の設置コストがかかるとともに、情報の精度が左右されるために設置位置の入念な選定が必要である。また、道路地図については、測量に基づくもののほか、航空写真や衛星写真に基づいて生成するが、それらのデータの取得には莫大なコストがかかり、頻度を上げることは困難である。

道路地図の生成に関しては、道路地図データ作成の自動化と 3 次元データ化を目的に、専用計測車両を用いた自動計測が提案されている¹⁾。専用計測車両には高精度な GPS (Global Positioning System) レシーバが搭載され、計測位置の経度・緯度・高度などの情報が得られる。また、地図データの作成ではないものの、道路周辺環境の計測・取得という観点から

は Google Maps におけるストリートビューも専用車両による計測の一例である²⁾。しかしながら、これらの手法はいずれも地図作成者が高性能な計測装置を搭載した専用車両を用意・運用することが前提であり、その車両の導入コストならびに運用コストを考慮すると、広範な地域のリアルタイムな情報を取得することは困難である。

広範な地域のリアルタイムな情報を取得する枠組みとして、近年、多数の車両に搭載した計測機器により取得したデータを集計することで情報を得るプローブカーシステムが注目されている。たとえば、カーナビゲーションシステムに搭載されている GPS レシーバによる位置情報の時系列変化により各車両の走行速度が得られる。この走行速度情報を収集することにより、平均速度が著しく低い箇所を渋滞区間として検出し、その結果を渋滞情報として提供するなどのシステムの実用化がすでになされている^{3),4)}。また、各車両に搭載したワイパの稼働情報と GPS 位置情報を用いて、道路上の降雨情報を取得する実験についての報告もなされている¹¹⁾。また、道路地図の作成が目的ではないが、複数車両から得られる GPS 位置情報と車載全方位カメラによる画像情報から都市の三次元モデリングを行う手法が提案されている⁶⁾。この手法は、全方位画像データを統合して全周画像データを生成することが目的である。そのため、プローブカーからは画像データそのものを収集する必要があり、データ量の観点から、プローブデータの統合はオフライン処理または高速な通信装置の利用が必須となる。

2.2 動的地図作成

近年、衝突事故などにおける証拠記録やドライバ特性の計測などの目的で、車両にドライブレコーダの搭載が進んでいる。ドライブレコーダは、車両前方の情景画像をつねに現在時刻直前の数秒から数十秒間だけを保持し続け、車両事故などによる衝撃を検出した際に保持していた画像およびその瞬間以降の数十秒の画像を外部媒体に記録するシステムである。すなわち、常時情景画像が撮影されているにもかかわらず、定常状態においては一定以上の時間が経過したものから順に消去されていることになる。ドライブレコーダの搭載目的は車両事故などの瞬間における状況保存であるため、この動作は目的に合っているが、定常時の情景画像から得られる路面情報や周辺環境の情報を無駄に捨て去っているとも考えることができる。

このような定常状態における車両前方画像の情報を活用して道路地図を作成する手法として、車両前方の情景画像と GPS による位置情報より、車両直前の道路における路面端の計測ならびにそれらを時系列統合した道路形状情報の取得手法が提案されている⁸⁾。また、個々の車両から得られる道路形状情報には、運転者による走行変動による影響や GPS の誤

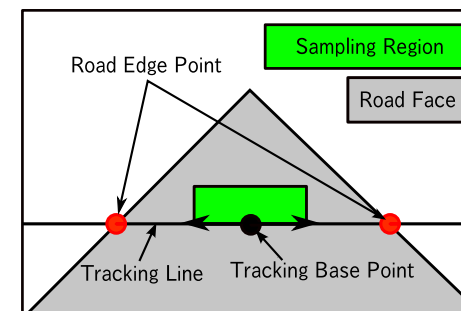


図 1 走査線と路面端検出
Fig. 1 Tracking line and road edge point detection.

差により必ずしも正しい情報とはいえないという観点から、道路形状情報を複数台の車両から得、それらを統合することで統計的に信頼性の高い道路地図を作成する手法も提案されている^{9),10)}。

この手法は、まず、車載カメラから得られる道路情景画像を基に、車両前方に相当する画像中のサンプリング領域内の色分布の平均値と分散値に基づいて路面色を特定し、路面領域と非路面領域に2値化した画像を作成する。走行レーンの路面境界を検出する方法としては、路面標示の白線を検出する方法が考えられ、その手法の提案は多いが、特に地方道路においては、白線が存在するとは限らない。そのため、この手法では路面色のサンプリングに基づく路面領域検出を行っている。次に、作成された画像上のあらかじめ設定された走査線上において、中央の走査基準点から非路面領域に達するまで探索し、その画素位置より道路幅情報を求めている（図1参照）。この走査線は、車両から前方方向へ一定距離に位置する路面に相当し、あらかじめ画像の画素位置と幅方向の距離を実測してあるものである。ここで、車載カメラが前方の道路情景画像を撮影する頻度は、多くの場合 GPS レシーバの座標位置の受信タイミングを大きく上回る。そのため、座標位置を得られないタイミングに撮影された画像については、GPS レシーバから得られた位置座標を基に、道路情景画像取得地点をスプライン補間により得ている（図2参照）。こうして得られた図2に示すような走行軌跡に道路幅情報を付加したものを道路形状情報としている。なお、路面端が破線白線である場合には、検出位置が変動することになるが、この場合には周期性を検出し、より近い側の路面端位置をその走行レーンの路面端としている。このことは、各プローブカーが収集するデータはその車両が走行するレーンにのみ限定し、隣接するレーンについて

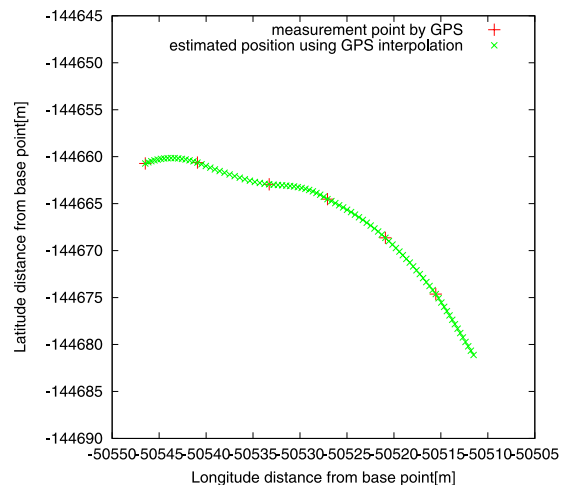


図2 GPSデータの補間による画像撮影位置の推定

Fig. 2 Position estimation of pictures using GPS interpolation.

は、そのレーンを走行する他のプローブカーが情報収集することになる。これにより、個々のプローブカーによって行う処理量を削減している。

複数のプローブカーにより得られた複数の道路形状情報を統合する際には、それらの対応関係を ICP (Interactive Closest Point) アルゴリズム¹²⁾と射影変換を用いて求め、それらの対応関係を基に位置座標間の加重平均をとることで統合している。ここで ICP アルゴリズムは、点群どうしの位置合わせ手法である。統合された道路形状情報は、統計的に収束が見込まれ、この統合作業を順次繰り返すことにより、より精度の高い道路地図が作成されることとなる。

しかしながら、ICP アルゴリズムで形状の統合を行う際、直線道路ではカーブや右左折などの形状特徴が存在しないため、そのままでは統合する際の相互の対応位置の決定ができない。よって、統合のためにはカーブなどの対応位置の決定が可能となる形状特徴が得られるまでの比較的長距離分のデータによる統合処理が必要となる。このことは、逐次処理が困難であるだけでなく、統合する際のデータ量の増加にともなう処理量の増大および処理結果が得られるまでの遅延が発生するという問題が生じる。

3. 路傍色相情報を用いた複数道路形状の統合

先に述べたように、文献 9), 10) で提案されている ICP アルゴリズムを用いた統合では、データ点数の増加にともない処理時間が膨大となる、道路の形状特徴に依存した統合手法であることによる処理量増加などの問題点が存在する。そこで、本論文では、プローブカーによって得る道路端距離情報に路傍の色相情報を付加し、道路形状に依存しない統合処理を高速に実現する手法を提案する。

3.1 地図作成システムの全体像

プローブカーシステムにおいては、個々のプローブカーに要求する計測機器や処理装置が高額になるとシステム全体のコストが上昇し、このことによって一般車両におけるプローブシステムの搭載が進まなくなる。提案手法をはじめとするプローブカーシステムにおいては、プローブ情報の量とその精度や有効性に直接関わるため、プローブシステムの搭載が進まないことは致命的である。そのため、個々のプローブカーに対する要求性能は可能な限り抑える必要がある。また、得られた情報を統合するためにはデータの送信が必要であるが、画像データなどの大容量データをそのまま送信するための高速な通信速度を要求仕様とすることは、コスト上の問題からプローブシステム普及の障壁となる。そのため、送信データ量は小さく抑える必要がある。このような観点から提案システムでは、プローブカーにおいては 2.2 節で述べたようなドライブレコーダを想定した車両前方の情景を取得するカメラと位置取得のための GPS レシーバおよび画像情報から路面端位置と路傍色相情報を取得するための計算装置、データの送信のための通信装置を搭載するものとする。また、プローブカーから順次得られたデータを集約・統合し、道路地図を逐次更新・生成するセンタ装置を設置するものとする。また、得られた道路地図データは改めて利用者であるプローブカーへと配信することで、利用者は最新の道路地図を入手可能となる。提案システムの主要な構成図とデータの流れを図 3 に示す。このシステム構成により、利用者側は地図更新の自動化、サーバ側は計測装置などの設備投資費や地図作成のための人件費の削減が図られ、双方にメリットが生じるシステムとなる。

3.2 路面端と色相情報の取得

GPS によって得られる車両の走行位置だけではなく、路面端位置の計測によって道路幅を取得することは、車両の走行する道路の選択などにおいて有用な情報である。このことから、道路情景画像において走査線を用いて路面端を取得する方法は文献 9), 10) で提案されている手法を踏襲する。ただし、提案手法では、道路形状に基づかない統合処理を行うため

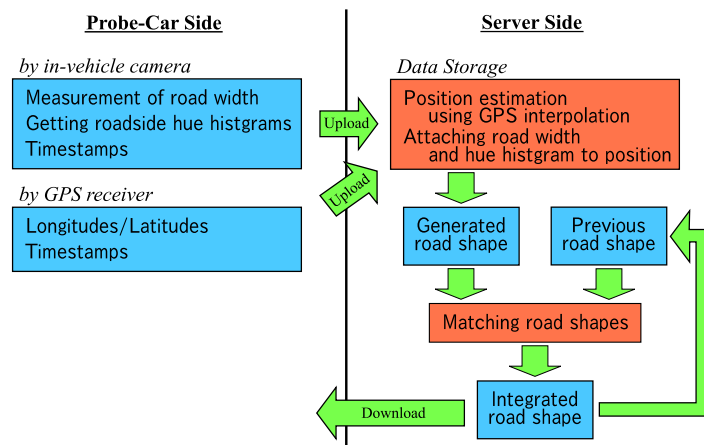


図 3 提案する動的地図作成システムのモデル

Fig. 3 The model of proposition for dynamic map making system.

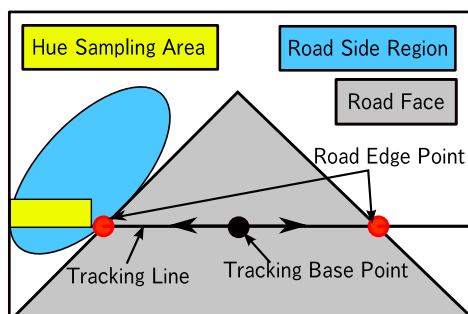


図 4 路傍領域と色相値取得領域

Fig. 4 Road side region and hue sampling area.

の指標として、路面端位置の取得に加えて、路面の左端取得位置よりも左側に該当する路傍の色相情報の取得を行う。路傍とは、図 4 で示す、車両が走行する路面領域（図中の灰色領域）に対して外側の領域である非路面領域（図中の青色領域）を指す。

色相値を取得する領域を広範にすることは、周辺の情報を幅広く取得することにつながるが、その一方で処理量ならびにサーバへの送信データ量の増大を招くこととなり、両者はト

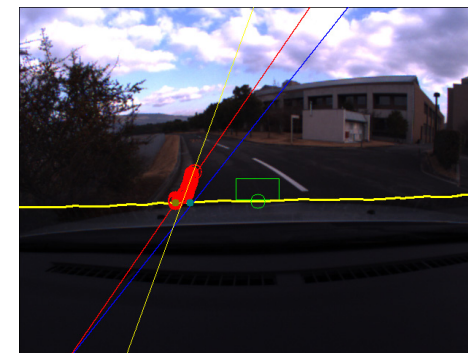


図 5 路傍情報取得の例

Fig. 5 An example of getting road side information.

レードオフの関係である。ここで、情景画像はフレームレートで順次得られることから、車両の進行方向に関して前後方向に存在する領域については他のフレームにおいて得られると考えられる。そこで提案手法では、色相値取得領域を走査線の延長上ならびに進行方向前方に相当する画像上方の m 画素の範囲を色相値取得領域とする。また、この領域内のすべての画素について、色相値を n 階級に量子化し、出現頻度を正規化したものをそのフレームにおける色相ヒストグラムとする。一般に色相 h は角度で表されることから、 $0 \leq h < 360$ とすると、色相ヒストグラムの階級 i ($1 \leq i \leq n$) の頻度値 H_i は次式で求められる。

$$H_i = \left| \left\{ h \mid \frac{360}{n} \times (i-1) \leq h < \frac{360}{n} \times i \right\} \right| \quad (1)$$

3.3 RANSAC を用いた道路幅情報取得補助

路傍の色相情報を道路形状統合の指標として用いるため、色相情報の正確な取得は重要な処理となる。そのため、左車線を走行する場合、正確な路面左端の検出により、色相情報取得位置を確定する必要がある。

提案手法では、走査線上の道路左端のほかに、その道路情景画像中における車両前方の路面に該当し、色相値取得領域の大きさに相当する、走査線の上方 m 画素についても左端位置を検出する（図 5 中の路面左側の赤点群）。このとき、これらの点群は路面領域と非路面領域の境界と考えられ、また道路境界は連続であると考えられることから、狭領域においてはその境界線は直線と見なすことができると考えられる。

点群から直線を検出する手法としては Hough 変換がよく知られている。この手法は、入

力となる点の数が十分に大きく、そのほとんどが求める直線上に存在している場合には正しい検出結果が得られる。しかしながら、ノイズに左右されやすいため、ノイズ除去の目的には不適である。

そこで、ノイズを含むデータから適切なデータをロバストに推定する手法である RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS)¹³⁾ を用いて、道路の左端位置決定の補助を行う。すなわち、得られた複数の路面左端点から RANSAC によって直線を推定し、それに基づいた路面端位置の補正を行うことで、誤領域の色相値を取得することを抑制することが可能となる。

まず、左端点群に基づいて RANSAC により路面境界線を推定する(図中の赤線)。推定された直線と直前フレームにおいて得られた左端基準線とを比較し、傾きや位置の変化が小さければ、正しい路面境界線として両者を統合した直線を求め、これをこのフレームにおける左端基準線とする(図中の青線)。また、この左端基準線と走査線との交点を左端基準点(図中の水色点)とする。次に、走査線上で検出した左端点(図中の黄点)とこの左端基準点との距離を比較し、しきい値内であれば検出点の位置を左端取得位置とする。しきい値を外れる場合には、路面左端の取得に失敗したと判断し、左端取得位置として左端基準点を採用する。この処理を行うことで、安定して左端位置を検出可能となり、その結果、安定した路傍色相情報の取得が可能となる。なお、図中央の緑矩形は路面色サンプリング領域、緑丸は走査開始点、ほぼ水平の黄線は走査線をそれぞれ示している。

3.4 弾性マッチングを用いた道路形状情報の統合

図 3 におけるサーバ側の処理として、得られた複数の道路形状情報を統合する。統合に際しては、それぞれのブローブカーから得られた道路形状どうしの位置を合わせる必要がある。ただし、GPS による位置情報に基づく統合では、GPS の誤差によって正しい位置合わせは困難である。また、ブローブカーの速度はそれぞれ異なるため、同一道路から得られたデータであってもフレーム画像が得られる位置は異なる。そこで、提案手法では、ブローブカーにおけるそれぞれのフレームにおいて取得された色相ヒストグラムに対して、弾性マッチングによる統合を行うこととする。

DP (Dynamic Programming) マッチング¹⁴⁾ は、弾性マッチング手法として広く用いられており、提案手法においてもこの DP マッチングを用いて座標位置間の対応関係を求めることで行う。すなわち、2 つの道路形状情報の色相ヒストグラム間の 2 乗誤差の値を基にした経路選択問題を想定し、この問題に対して DP マッチングを適用することで、2 乗誤差の累計が最も小さくなるような対応関係を求める(図 6 参照)。このとき、統合する 2 つの道路形状情報におけるデータ取得頻度は互いに異なっていることが想定されるが、DP マッ

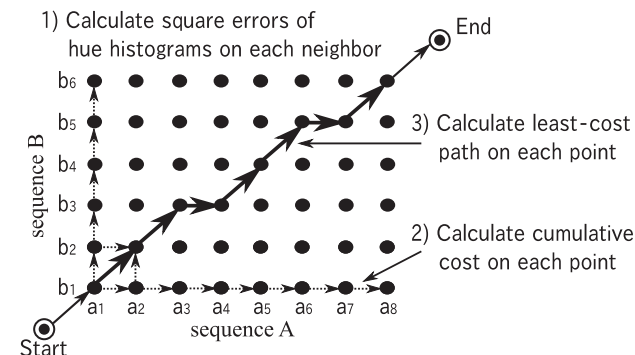


図 6 DP マッチング
Fig. 6 DP matching.

チングによって、データ間隔の引き延ばしも考慮して求めることが可能となる。また、マッチングによる道路形状情報間の誤対応が生じないようにするために、最小コスト経路を選択する際に座標位置情報の距離に関するしきい値を設け、距離的に大きく離れた座標点どうしが対応関係となることを除外する。また、統合の際には時系列のデータの並びにより進行方向の区別が可能であることから、相異なる進行方向であるデータ間の統合は行わない。

求められた道路形状情報の対応関係に基づき、座標位置については互いの位置関係の加重平均をとる。ここで、新たに統合する道路形状情報は新しい情報であるため、最新の情報が反映される可能性が高い。一方、それまでの情報は過去の多数のデータの統合結果であり、その信頼性は新しい情報より高いといえる。そこで、加重平均の際の重み係数を w とし、元データの座標位置を A 、新たに統合する道路形状情報のうち A に対応する座標位置を B としたとき、次式により統合された座標位置 A' を決定する。

$$A' = wA + (1 - w)B \quad (2)$$

ここで、 w は、より信頼性の高いと考えられる既存の統合データをより反映するよう、0.5 より大きくすることが適切であると考えられる。また、データ間隔が引き延ばされたことにより、一方のデータ 1 点に対して対応する点が複数存在する場合、複数存在する点の中で最も近距離に位置する 1 点を一対の対応関係とし、残りの点は新たな座標点として統合後のデータに付加することとする。

色相ヒストグラムについては、対応する点において、互いの誤差がしきい値の範囲内であれば加重平均をとる。色相ヒストグラムの加重平均については、式 (2) の重み w を用いて、

次式で求められる．

$$H_{A',i} = wH_{A,i} + (1-w)H_{B,i} \quad (3)$$

また、新たな座標点として加えられた点の場合、付加する点の所持する色相ヒストグラム値をその点の色相ヒストグラムとする．

4. 検証実験

提案手法により、道路幅情報を保持した道路形状情報が正しく取得され、それらが適切に統合されることを確認するために検証実験を行った．実験は、1 台の車両のダッシュボード上にカメラを、天井に GPS レシーバを設置し、実験走行を行って得られた画像群を用いてオフラインで行った．実験に用いたカメラは、PointGrey Research 社製 Flea (1/3 インチ CCD, 640 × 480 [pixel], IEEE1394 接続) であり、レンズにはタムロン社製 13FM22IR (焦点距離 2.2 [mm]) を使用した．フレームレートは約 15 [fps] である．また、GPS レシーバはアンタレス 48 (単独測位精度 3.3 [m] (CEP)), プロブカーにおける処理およびサーバにおける統合処理はともに Intel Core2 Duo 3.0 GHz, 2 GB RAM の PC により行った．

GPS レシーバにより取得された位置情報は緯度経度 [deg] から、国土地理院の定める平面直角座標系 [m] に変換し、各処理を行った．平面直角座標系への変換の際に用いた基準点は、走行実験を行った地域に対して用いることとなっている 5 系 (原点緯度 36 度 00 分、経度 134 度 20 分) である．路面端検出の際に用いる走査線については、実験前に停止した車両の前方に車両中心から左右方向への距離を記したものを設置してそれを撮影し、画像上の画素とその左右距離との対応表を作成した．また、路面色の決定に用いるサンプリング領域は、左右カーブ時に路面端が含まれない範囲として、幅 60 画素、高さ 30 画素の範囲とした．

道路形状統合の際に用いる色相ヒストグラムを生成するための路傍領域は、走査線から上方 $m = 43$ 画素の範囲とし、ヒストグラム化の際の階調数は $n = 36$ とした．また、統合の際の道路形状情報の分割単位は走行距離 15, 30, 50, 100 [m] について、それぞれ実験を行った．RANSAC の際に検出する走査線上方の路面端検出数は、より多い方が適切な推定が可能となることから、サンプリング領域の高さに余裕を加えた 43 点とした．統合の際の近距離データのうち、統合対象とする最大距離は 7.0 [m] とした．なお、加重平均の重みは $w = 0.7$ とした．

4.1 同一道路における統合実験

表 1 に示す、実際の道路のほぼ同じ区間 (約 1.7 [km]) を走行して得られた data1 ~ data3

表 1 実験データ
Table 1 Experimental data.

	データ取得日時	天候	フレーム数
data1	2007 年 1 月 19 日 09:30 頃	曇り	2,923
data2	2007 年 1 月 25 日 09:30 頃	晴れ	2,946
data3	2007 年 1 月 31 日 09:15 頃	曇り	3,152
datar	2007 年 1 月 18 日 14:30 頃	晴れ	2,888

の 3 つ道路形状情報を用いて、ICP アルゴリズムを用いた従来手法と提案手法でそれぞれ統合処理を行った．これらの道路形状情報は、同一の周回道路を天候の異なる日に、時速 30 ~ 40 [km/h] 程度で時計回りに走行して得られたものである．この周回道路には、従来手法で統合が困難な比較的長い直線道路、形状特徴となる右左折、左右カーブが含まれている．また、左端に白線が存在しない箇所が多く、一部区間においては中央線が存在しないなど、比較的多くの要素が含まれている．なお、表中の datar は同一の周回道路を反時計回りに周回して得られたデータである．周回道路中の大部分は中央線があり、これらの部分においては周回方向によって走行するレーンは異なるため、統合には用いていない．

ところで、GPS の誤差が発生する要因として、GPS 計測装置そのものの誤差のほかにビルなどによる GPS 電波の反射の影響で発生するマルチパスによる誤差があげられる．提案手法は、誤差を含むデータに対して統計処理を行うことで真値に近づくという性質を利用するものであるため、後者のマルチパスによる影響について、その誤差を解消することを目的としたものではない．したがって本実験においては、マルチパスの影響が発生するようなビル群におけるデータは用いていない．なお、マルチパスによる影響を軽減あるいは除去する手法として準天頂衛星による位置情報提供サービスが検討されており、これにより、解消されることが見込まれている．

data1 ~ data3 を平面直角座標系に表したものを図 7 に示す．図 7 中の各色で表された曲線が道路面を表しているが、同一の道路を走行したにもかかわらず、走行経路が異なるものとして計測されていることが分かる．この点を確認するために、図中の上端カーブ付近における GPS 計測値を図 8 に示す．図では、比較のために、Google Maps で提供されている地図情報より計測した走行レーンの左右端位置の真値、反時計回りに周回して得られたデータ datar における GPS 計測値を合わせて示している．

図より、同一道路を同一方向である時計回りに周回して得られたデータであっても、それぞれ異なる位置が計測値として得られていることが分かる．この原因としては、GPS 計測

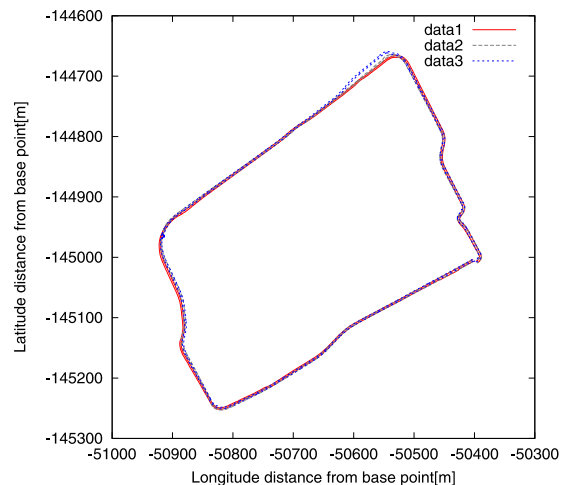


図 7 data1~data3 の道路形状情報

Fig. 7 Road shapes of data1, data2 and data3.

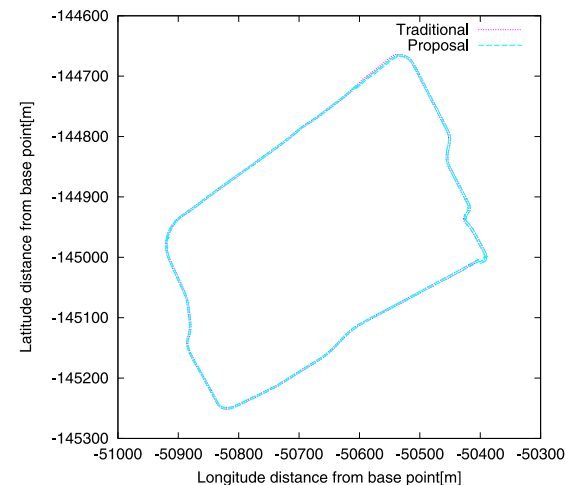


図 9 data1~data3 の統合結果

Fig. 9 Integration result of data1, data2 and data3.

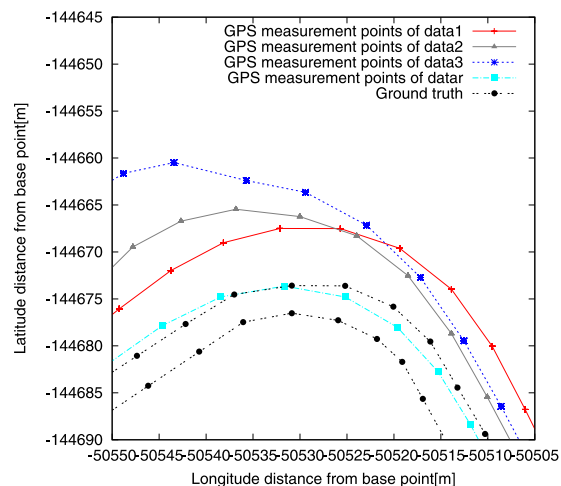


図 8 data1~data3 の GPS 計測結果 (拡大図 1)

Fig. 8 GPS measurement result of data1, data2 and data3 (magnified, no.1).

装置における計測誤差が考えられる。また、反時計回りの走行ではカーブの内側を走行するため、その計測値は時計回りの計測データ群より正しく内側に計測値が得られていることが分かる。ただし、車線間の距離は本来 2.5~3.0 [m] 程度であるが、図ではそれより遠距離となっているデータが示されている。これは、data1 についても誤差が含まれており、それに加えて他のデータも誤差を含んでいるためであると考えられる。なお、時計回りの周回データは、本来真値である左右端の間を通るはずであるが、いずれの計測値も外れている。当該カーブに特徴的な要因を精査したところ、北側に比較的高い植栽が存在することを確認した。また、図 7 の下端カーブ付近も南側に同様な植栽が存在し、同様に真値とは異なる計測値が得られていることが確認された。一方で、そのような植栽のない位置ではおおそ真値の近傍に計測値が得られていることを確認している。したがって、上端および下端のカーブにおける真値との差異は、植栽の影響による GPS 計測値の誤差であると考えられる。

data1 と data2 を統合 (統合 1) した後、得られた統合結果に対して data3 を加えて統合 (統合 2) して得られた道路形状を図 9 に、上端カーブ付近を拡大したものを図 10 に示す。ここで、従来手法における統合処理は、データを細分化すると直線道路のみのデータが生成されて統合に失敗するため、それぞれのデータ全体を入力として統合を行っている。

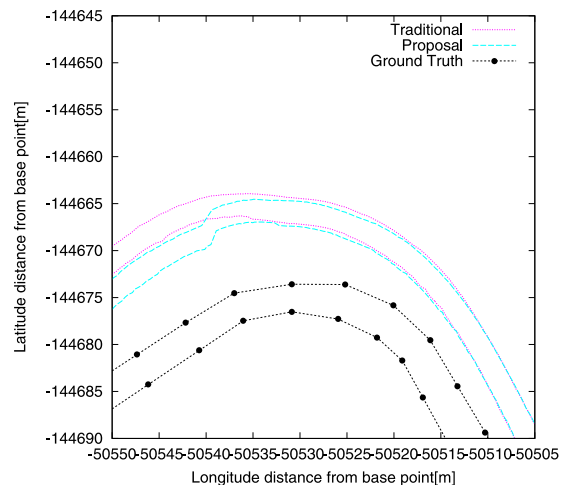


図 10 data1 ~ data3 の統合結果 (拡大図)
Fig. 10 Integration result of data1, data2 and data3 (magnified).

これに対して提案手法では、道路形状の曲線などの存在に左右されない。ここでは、15 [m] 単位で分割し、その単位ごとに順次統合処理を行った結果を示している。図 9 および図 10 より、道路形状に基づく ICP を用いた従来手法 (赤線) および色相情報に基づく DP マッチングを用いた提案手法 (青線) はほぼ一致する道路形状データを得ていることが分かる。なお、図 10 において、従来手法がなめらかな道路形状を示しているのに対して、提案手法において大きく歪んだ道路形状を示している箇所が存在する。これは、過度の統合を避けるために設定している相互距離のしきい値 7.0 [m] を超えたために、当該データの統合が行われなかったために発生したものであることを確認している。したがって、統合する道路形状の数が増加すれば解消されるものである。

また、図 9 において、データの起点および終点である右端の角の道路は接続されていない。これについて、当該部分の GPS 計測データの拡大図を図 11 に示す。図より、入力となった data1 ~ data3 のいずれもも接続されていないことが分かる。すなわち、このずれは、GPS の誤差の影響であり、統合手法によるものではないと判断できる。この点については、GPS には元来誤差が含まれていることから、さらに多数のブローブデータを統合することでこの誤差が統計的に解消され、接続された道路が生成されると期待できる。

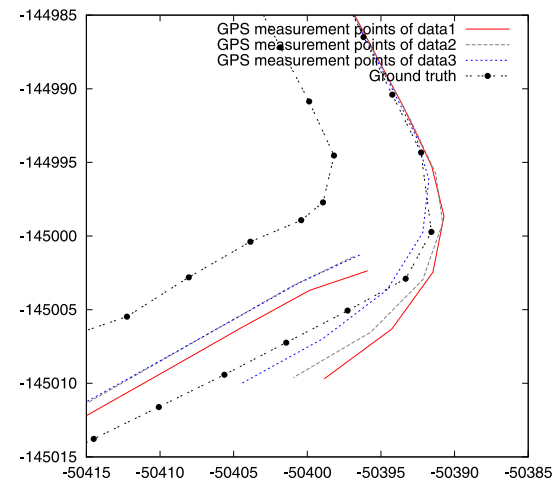


図 11 data1 ~ data3 の GPS 計測結果 (拡大図 2)
Fig. 11 GPS measurement result of data1, data2 and data3 (magnified, no.2).

表 2 統合処理に要する時間

Table 2 Processing times for integration process.

手法	統合 1 [sec]	統合 2 [sec]	合計 [sec]
従来手法	1,159.640	1,154.875	2,314.515
提案手法 (15 [m])	0.506	0.494	1.000
提案手法 (30 [m])	0.515	0.497	1.012
提案手法 (50 [m])	0.518	0.494	1.012
提案手法 (100 [m])	0.512	0.490	1.002

次に、本実験における統合処理に要した処理時間を表 2 に示す。表は、道路形状に基づく ICP を用いた従来手法および色相情報に基づく DP マッチングを用いた提案手法について、統合 1、統合 2 に要した時間およびそれらの合計を示している。表 2 より、従来手法では合計処理時間が 2,314.515 [sec]、提案手法ではいずれの分割距離においても 1.0 [sec] 程度となっており、提案手法は従来手法に比べ高速な処理を実現していることが確認できる。分割距離による統合精度への影響については、先に述べた不整合が発生する位置が変化することを除けば大きな影響は見られなかった。なお、オンラインでの処理を仮定すると、従来手法では道路形状の特徴を有することが統合の条件となるため、長距離のデータに対する統合となり、遅延が大きいものに対して、提案手法では統合する際のデータは短距離に分割し

た状態で行うことが可能であるため、データ生成の遅延を小さく抑えることが可能である。なお、提案手法におけるフレームごとの処理時間については、平均で、約 18 [fps] の処理速度が達成されており、プロブカーにおいてほぼフレームレートで処理が行えていることが確認されている。

提案手法では、統合の際に著しく異なった道路形状どうしを統合することのないよう、相互距離や進行方向による統合可否の判定を行う必要がある。これは、道路形状全体を統合の対象としている従来手法では考慮していなかった点であるが、そのため、提案手法では図 10 に見られるように、統合の可否判定が変化した地点において不適切な不連続などが発生する場合がある。ただし、従来手法も提案手法も、多数の道路形状情報を統合することによって精度を向上させることを念頭にいたものである。そのため、図の例のような 2 データ間の統合において、不適切な道路形状が生成されることを防止する処理を行って処理量を増加させるより、処理量を抑えてシステム全体のコストを下げることの方が重要であると考えられる。

4.2 接続道路間の統合実験

4.1 節では同一道路において取得した道路形状情報の統合実験の結果を示し、その妥当性および高速性を確認した。しかし、実際にプロブカーが路上を走行する場合に、すべての車両が同一経路を走行するとは限らない。そこで、システムの実運用により近い状況である、分岐・流入・対向車線を含んだ統合実験を行った。図 12 に使用したデータの data4 ~ data6 を示す。data4 ~ data6 は、data1 と同日に走行したデータから当該区間を走行しているデータを切り出したものである。

この data4 ~ data6 に対して、まず data4 と data5 を統合し、得られた結果と data6 を統合した結果を図 13 に示す。図 13 より、従来手法では対応不可能であった分岐・流入部分についての統合が提案手法によりなされていることが確認できる。ただし、(-50480, -145050) 付近の分岐において、本来は接続している道路が切断される結果となっている。直進時のデータと右折時のデータを統合する際、右折の初期には双方の進行方向のなす角が小さく、統合処理が行われる。しかしながら、右折の途中からは角が大きくなり、統合処理を停止して新たな道路として付加されることになり、その境界となった地点において分断が生じていると考えられる。また、右折後の道路の統合結果が、GPS 計測値と離れた位置に示されている。これは統合において対象となる道路形状データが存在せず、分岐直前の統合効果の位置に基づいて付加されるためである。したがって、このズレは、多数の道路形状データを統合することにより解消されることが見込まれる。

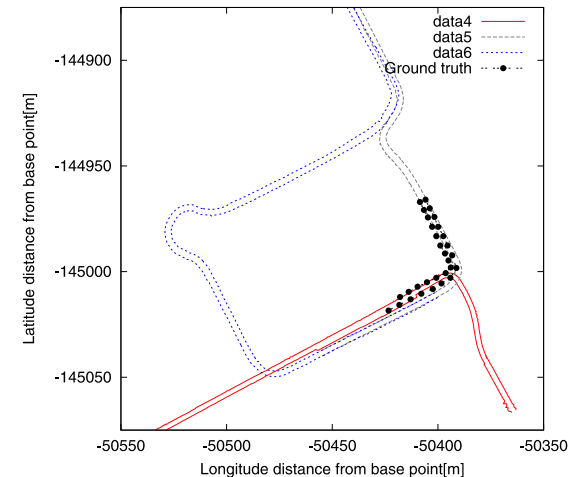


図 12 data4 ~ data6 の道路形状情報

Fig. 12 Road shapes of data4, data5 and data6.

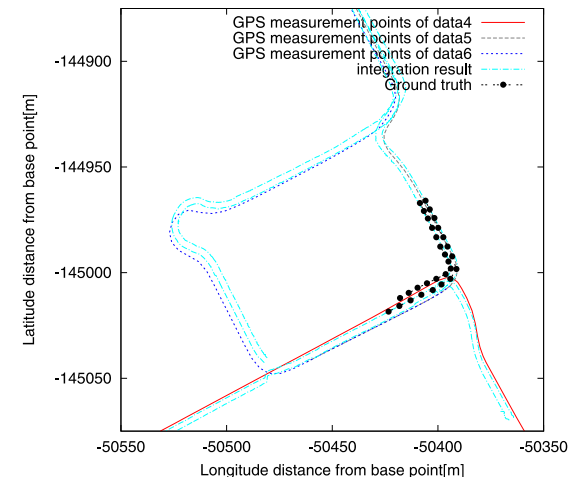


図 13 data4 ~ data6 の GPS 計測結果

Fig. 13 GPS measurement result of data4, data5 and data6.

図 12 の data5 と data6 が重なっている部分は進行方向が異なっており、互いに対向車線を走行したデータであるが、その統合結果である図 13 では双方が隣接ではなく、重なった結果が得られている。この原因としては、双方とも 1 データでの統合であり、GPS 誤差がそのまま残存していると考えられるため、多数データの統合により解消されると期待できる。一方で、互いに異なる進行方向のデータを単に距離が近いという理由で強制的に統合をせず、異なる車線として結果が得られていることは重要であると考えられる。

真値との比較においては、下辺において相違が認められるが、これは 2 データでの統合により、双方の重み付き平均となっていることが原因である。これについても、他の考察と同様に統合する道路形状数が増大すれば、解消される問題である。

5. ま と め

本論文では、一般車両に搭載された単眼カメラと GPS をプローブカーのセンサとして活用し、動的に道路地図を作成するシステムの提案を行った。それぞれのプローブカーでは、路面左端位置の検出および路面端外側の色相情報をそのフレーム画像における計測データとしてサーバに送信する。また、路面端位置の検出の頑健性を RANSAC により確保しながら、サーバへの送信は位置情報と色相ヒストグラムのみとすることで通信量を抑制している。サーバ側では、収集した道路形状情報を色相ヒストグラムに基づく DP マッチングによって統合することで、道路形状の特徴に左右されることなく、比較的短距離の単位での統合を実現している。検証実験により、頑健かつ高速に統合結果が得られることを確認した。

提案システムは、普及しつつあるセンサをそのまま活用するものであり、プローブカーに対する投資は最小限であるといえる。また、地図作成者が高精度な専用機器を用いたセンシングを直接行うことなく、地図データを得られるため、道路地図の更新にかかる総コストを抑制できるシステムであるといえる。

個々のプローブデータの精度は、普及型センサの流用であることもあり、専用機器に比べて低いものとなる。しかしながら、提案手法はプローブデータの量による精度を確保する手法である。そのため、今後の課題としては、多数のデータを用いた詳細な検証実験による精度向上の確認、様々な道路形状や高速道路をはじめとする路傍色相情報の変化が乏しい環境・風景における評価および検討などがあげられる。

参 考 文 献

- 1) 昭文社：ニュースリリース「カーナビゲーション事業へ本格参入—共同出資会社設立」(2006).
- 2) グーグル：Google マップストリートビュー，グーグル（オンライン），
(<http://www.google.co.jp/help/maps/streetview/behind-the-scenes.html>)
(参照 2010-03-31).
- 3) 本田技研工業：インターナビ・フローティングカーシステム，インターナビ・プレミアムクラブ（オンライン），(<http://www.premium-club.jp/technology/tech1.html>)（参照 2010-03-31）.
- 4) トヨタ自動車：G-BOOK mX プローブコミュニケーション，G-BOOK（オンライン），
(http://g-book.com/pc/whats_G-BOOK_mX/technology/probe.asp)（参照 2010-03-31）.
- 5) トヨタ自動車：G-BOOK mX マップオンデマンド，G-BOOK（オンライン），
(http://g-book.com/pc/whats_G-BOOK_mX/technology/map.asp)（参照 2010-03-31）.
- 6) 松久亮太，川崎 洋，小野晋太郎，阪野貴彦，池内克史：複数系列の車載全方位カメラ画像の対応付けによる広域都市モデル構築，画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2009）論文集，IS3-30，pp.1570-1577（2009）.
- 7) 渋谷奈保，高橋友和，井手一郎，村瀬 洋，小島祥子，高橋 新：車載レーザスキャナによる距離データマップの構築と高精度自車位置推定，電子情報通信学会論文誌 D，Vol.J92-D，No.2，pp.215-225（2009）.
- 8) 藤原良子，山内 仁，高橋浩光：路面色抽出による動的な道路地図作成の提案，電子情報通信学会技術研究報告，ITS2004-68，pp.19-23（2005）.
- 9) 岡 史晃，山内 仁，高橋浩光：車載カメラと GPS を用いたスプライン補間による道路地図作成法，第 8 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム（8th HISS）論文集，pp.247-248（2006）.
- 10) 山内 仁，岡 史晃，高橋浩光：複数のプローブカーによる道路形状情報の統合処理，電子情報通信学会技術研究報告，ITS2006-62，pp.109-114（2007）.
- 11) 慶應義塾大学インターネット ITS 共同研究グループ：インターネット ITS 研究開発報告書（オンライン），(<http://internetits.org/ja/projects/pdf/report.pdf>)（参照 2010-03-31）.
- 12) Besl, P.J. and McKay, N.D.: A Method for Registration of 3-D Shapes, *IEEE Trans. PAMI*, Vol.14, No.2, pp.239-256 (1992).
- 13) Fischler, M. and Bolles, R.: Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Graphics and Image Processing*, Vol.24, No.6, pp.381-395 (1981).
- 14) 内田誠一：DP マッチング概説—基本と様々な拡張，電子情報通信学会技術研究報告，

PRMU2006-166, pp.31-36 (2006).

(平成 22 年 3 月 31 日受付)

(平成 22 年 10 月 4 日採録)



山内 仁 (正会員)

1993 年大阪府立大学工学部数理工学科卒業。1995 年同大学大学院工学研究科数理工学専攻博士前期課程修了。同年岡山県立大学情報工学部情報通信工学科助手。2006 年同スポーツシステム工学科助手, 2007 年同助教, 現在に至る。ITS, 画像処理に関する研究に従事。博士 (工学)。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 計測自動制御学会, IEEE 等各会員。



友野 晃

2008 年岡山県立大学情報工学部情報通信工学科卒業。2010 年同大学大学院情報系工学研究科電子情報通信工学専攻博士前期課程修了。同年株式会社システムエンタープライズ, 現在に至る。在学中, ITS, 画像処理に関する研究に従事。



金川 明弘 (正会員)

1983 年神戸大学工学部システム工学科卒業。1988 年大阪府立大学工学部経営工学科助手。1993 年岡山県立大学情報工学部情報通信工学科助教授。2007 年同教授, 現在に至る。ニューラルネットワークを用いた組合せ最適化問題, 画像処理等の研究に従事。博士 (工学)。電子情報通信学会, 日本経営工学会, 日本 OR 学会等各会員。