

車載カメラ画像処理による道路白線測位方式の開発

神田準史郎、田口進也、米山昇吾

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所
〒247-8501 鎌倉市大船 5-1-1

ビデオカメラと高精度 GPS を搭載した車両にて道路映像と位置情報を同期収集したデータを、後にデータ解析を行うことで道路上の白線の位置を算出するシステムに関する基礎検討と実証を行った。道路映像から画像解析を行うことにより自動的に白線と道路の境界点を検出し、境界点のカメラからの相対的な位置関係を算出した結果と収集済みの車両位置情報を合わせることで、高精度に白線の位置座標測定を行う。FKP-GPS によりあらかじめ取得した点をつないだ模擬白線と、模擬白線に対してデータ収集と解析を行った算出結果とのずれを評価したところ、我々の目標精度であった絶対位置 $\pm 25\text{cm}$ を達成できる可能性が高いことが確認できた。

A method to measure road white line by analyzing images accumulated from video camera which is mounted on the vehicle

Junshiro Kanda, Shinya Taguchi, Shogo Yoneyama

Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center

We have developed a road white line measurement system which analyzes the data that is accumulated with vehicle with highly accurate GPS and video camera. The system detects the edge of the road white line from video frame, and calculates the relative distance between the point of the edge and camera. The system combines the relative distance with vehicle's GPS position, so that the system gets the geographic position of the road white line. We evaluated to compare the accuracy of the road white line position measured with this system. As the result, we have proved that the system has highly possibility to achieve $\pm 25\text{cm}$ accuracy.

1. はじめに

FKP^[1]、VRS^{[2][3]}といった基準点設置を必要としないネットワーク型の高精度 GPS 測位サービスが開始されている。これらの高精度 GPS 測位サービスが普及し車両に応用されると、自車位置が車線単位で高精度に把握できる可能性が非常に高くなる。この測位サービスと車線位置情報が含まれた地図データの両方が揃うことで、車線単位でのナビゲーションが可能になり、従来にないきめ細かいナビゲーションが行える。

しかしながら、現在のカーナビゲーションシステム用の地図には、車線位置情報までは含まれていないため、これを実現するためには車線情報を収集して地図データ化する必要があるため、これに要するコストと労力が非常に大きいという問題がある。そこで、この情報を収集して地図情報へ自動的に反映することが出来るシステムが望まれる。

今回我々は、車両に積載したビデオカメラと FKP を利用した高精度 GPS 装置により映像と位置情報を同期収集し、画像認識と空間解析により道路白線の位置を自動計測するシステムを検討し、その基本精度評価を行った。本システムでは道路原図レベルの地図縮尺である 1/500 相当の精度 ($\pm 25\text{cm}$) 達成を目標としている。以下にシステムの概要と計測アルゴリズムとその評価結果に関して報告する。

2. 道路白線測位システム

2. 1. データ収集システム

本システムはデータ収集システムと解析システムの二つのシステムから成る。まずデータ収集システムに関して説明する。データ収集システムでは映像と位置情報を連続的に同期収集するために、図 1(a)に示すようにビデオカメラと GPS と記録用の PC を積載する。従来の

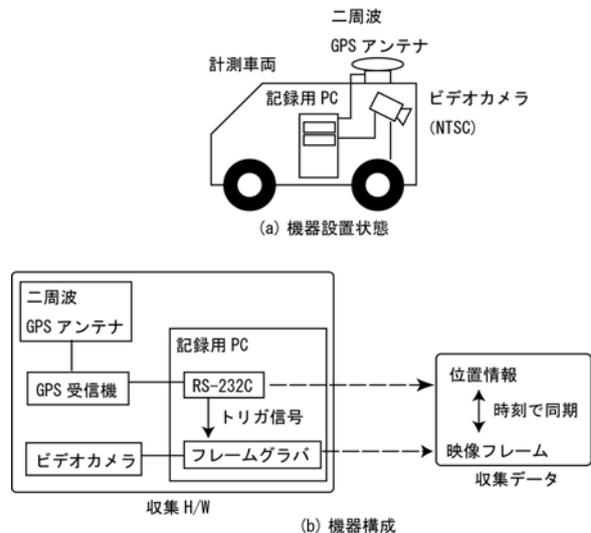


図 1. データ収集システム構成

研究として、本研究と同様に路面状況などを計測可能なシステムは文献^{[4][5]}などで紹介されているが、カメラ構成がステレオカメラとなっており、白線を対象とした場合同一時刻の画像における白線上の対応点の探索が不可能であるという問題がある。さらに H/W 構成的にも複雑になるという問題もある。そのため我々のシステムでは単眼カメラ構成とする構成をとることにした。単眼カメラ構成とすることで H/W 構成もシンプルになりコストへの影響も抑えられる。

計測車両には(2)機器構成のような機器が搭載されている。各機器の計測車両への設置に関しては(a)のようになっている。ビデオカメラを GPS アンテナ中心点真下に設置し、道路白線が撮像されるように下向きに傾ける(今回は 14 度とした)。GPS 受信機からの位置情報が記録用 PC に入力されたことをトリガとしてビデオカメラで撮像されている画像を GPS 時刻とともに記録する。ここで用いている二周波 GPS アンテナ+GPS 受信機からの情報を、高精度 GPS 測位サービス「PAS」^{[1][7][8]}を利用して FKP 補正パラメータを受信して、高精度化して利用している。本稿ではこの補正後の位置情報を高精度位置情報と呼ぶことにする。なお、

今回は基本的な構成での精度検証を目的としたため、車両姿勢は取得していない。

2. 2. 計測システム

データ収集システムにより得られたデータを解析することにより測位結果を得る。収集データを計測システムに渡すことで一連の処理が行われ、計測結果を得る。計測システムは図 2 に示すような処理構成となる。各処理に関する詳細は 3 章に示す。

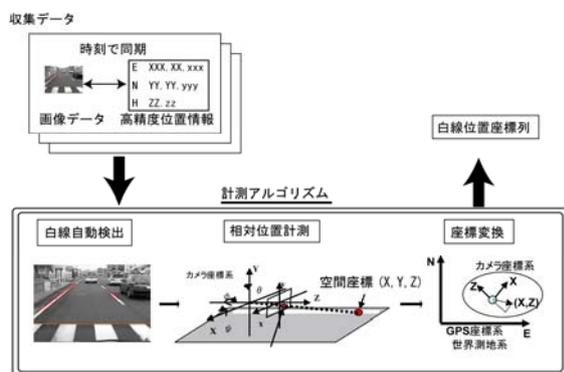


図 2. 計測システム処理構成

3. 計測アルゴリズム

2 章で述べた計測システムにおけるそれぞれの処理部分で用いているアルゴリズムに関して説明する。

3. 1. 白線自動検出^①

収集した画像データをフレームごとに読み込んで、画像から白線を自動的に検出して、白線と道路との境界上の画像座標を出力する。画像の部分領域ごとにエッジ線分を抽出し、これを階層的に結合することで、一部のかすれた白線や破線も統一的に検出可能としている。図 3 にアルゴリズムのフローを示す。

まず、Canny フィルタ^②によるエッジ抽出後、水平方向に輝度の変化を検定して“暗→明”、“明→暗”のパターンにより、エッジ点を 2 組に分類する。次に、あらかじめ設定した処理対象領域を複数の水平ブロックに分割し、各

ブロック内において、同一の組に分類されたエッジ点から線分の抽出を行う (図 4 (a))。最後に、各線分の傾き及び水平ブロック内における始点・終点位置を指標として、線分のグルーピングを行う (図 4 (b))。このとき、隣接ブロック間だけでなく、離れたブロック間においてもグルーピング処理を行うことによって、白線の一部が隠蔽された場合においても安定した白線候補の検出を行う。

白線検出処理では、上記処理により検出した白線候補から、以下の条件を満たす組み合わせを白線として検出する。

- (i) 白線幅に関する閾値を定め、閾値を満足する白線候補の組み合わせを選択する
- (ii) グルーピング処理において算出した始点・終点位置を用いて、画像の中央に位置するものを優先的に白線とする
- (iii) 前後数フレームの白線検出結果の位置が大きく異なるものを選択する

図 5 に処理結果の一例を示す。これから安定的に複数のパターン・シーンの白線を検出できていることがわかる。以上の処理により得られた白線領域のエッジから、複数の代表点を次の相対位置算出部に渡す。代表点を渡すのは、エッジ上の点をすべて渡して処理した場合に遠くのデータが含まれるほど誤差が増えるためである。



図 3. 白線自動検出処理手順

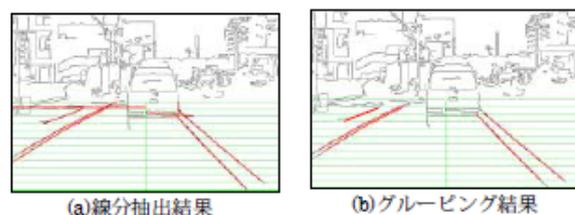


図 4. 特徴抽出処理



図 5. 白線検出処理結果の一例

3. 2. 相対位置算出

白線自動検出により得られた画像上の白線のエッジ座標の、カメラレンズ中心を原点とした座標系における位置を計算により求める。従来の研究[7][8]では主にステレオ視による立体計測を行っているが、我々の検討方式では安価な H/W 構成を実現するためと、ステレオ視における対応点探索問題を避けるために単眼視による方式を用いている。ここで、二次元画像座標から三次元空間座標の計算は次元数が異なるため制約条件を設ける必要がある。今回は路面をフラットと仮定した路面モデルを利用することにした (図 2 参照)。以下、路面が平坦と仮定して、正規化画像から白線の 3 次元位置を求める方法について述べる。

まずカメラ座標系を図 6 に示すように定義する。カメラ中心座標系における路面 (平面と仮定) の方程式は一般に次式で表される。

$$\alpha x + \beta y + \gamma z = h \quad \dots \text{式 1}$$

ここで、 x 、 y 、 z はカメラ中心座標系における変数である。また α 、 β 、 γ はカメラの傾きにより決定される係数であり、 h はカメラの地表からの高さである。車両走行前にカメラの高さ h を計測し、またカメラと路面の角度から、 α 、 β 、 γ を求める。

次に、カメラ中心座標系と、正規化座標系の関係は次式で表される。

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{x}{z} \\ \frac{y}{z} \end{pmatrix} \quad \dots \text{式 2}$$

ここで、 x_n と y_n は正規化座標系の点である。式 2 を式 1 に代入して x と y および z について解くと次式を得る。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \frac{1}{\alpha x_n + \beta y_n + \gamma} \begin{pmatrix} h x_n \\ h y_n \\ h \end{pmatrix} \quad \dots \text{式 3}$$

これは、正規化座標系の白線位置から、3 次元カメラ中心座標系の白線位置を求める式である。この式を利用して白線自動検出により得られた画像座標のカメラからの三次元的な相対位置を求めることができる。

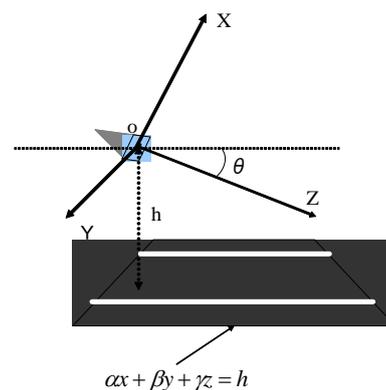


図 6. 本システムで用いたカメラ座標系

3. 3. 座標変換

画像取得と同時に得られた位置情報と位置

情報列から得られる方位角に基づき、それぞれのフレームで得られた白線のカメラからの相対位置を単位変換して合成することで白線のエッジの地理座標を得ることが出来る。方位角は2点間のベクトルをカルマンフィルタによるスムージングしたものを利用する。GPS位置情報は誤差を含むが、ここで用いる車両位置情報は、高精度位置情報もしくはNMEA0183形式に含まれるQualityパラメータがQuality=4となっている値のみを利用することで、車両の位置精度の信頼性を確保するようにしている。なお、Quality=4はFIX解と呼び、高精度に測位結果が推定できたことを示す数値である。今回利用した高精度GPSはQuality=4の場合、ほぼ3cm未満の精度となる。

4. 測位精度評価

前章までに述べたシステムにより実データ収集を行い、測位結果を得た。各機器は図7のように設置した。

計測対象は道路上の直線区間の白線とする。路面上の白線のエッジをFKP-GPSにより静止測位した結果の近似直線を正解の線とし、同一のエッジに関して我々のシステムで計測した結果との垂直距離を誤差として評価するものとした(図8)。利用したカメラは校正済みであり、GPS測位FIX状態から車両を約30Km/hで走行させた。なお、計測は当社構内において行っている。結果を図9、図10(図9の一部拡大)に示す。これによると、ほぼ白線ライン上に乗っていることがわかる。

結果の統計値は表1のようになっている。

表1. 計測結果統計値

平均	-2.04cm
標準偏差	4.07cm
最大値(絶対値)	14.80cm

このことから、カメラの設置オフセットによる誤差が約2cmであったと考えられる。標準偏差が4.07cmとなっているので、全体的な精度としては12.21cm(3σ)程度が実現出来ると考えられる。よって、1/500精度の縮尺地図の許容範囲内の誤差(±25cm)であると考えられる。

今回の計測は限定された条件、環境下にて実施しているため、以下のような課題が残っていると考えられる。

- 車両姿勢の考慮

車両姿勢に関しては考慮しなかったため、加減速による姿勢変動の影響に関しては分析不可能であった。車両姿勢を取得した上で結果を計測値にフィードバックすることで安定した計測が可能になると考えられる。

- 奥行き方向誤差の評価と改善

今回の評価は白線の補間直線との垂直距離で評価を行っており、奥行き方向の誤差は考慮していない。このため、カーブ区間などでの誤差が出てくる可能性が高い。

- 路面凹凸と傾斜の考慮

路面がフラットであると言う仮定に基づき測定しているため、路面凹凸がある道路など仮定が崩れるような場所において、誤差の増大が考えられる。

以上の課題に対して、解決策を検討していき、精度が保障できるなシステムに仕上げていく予定である。

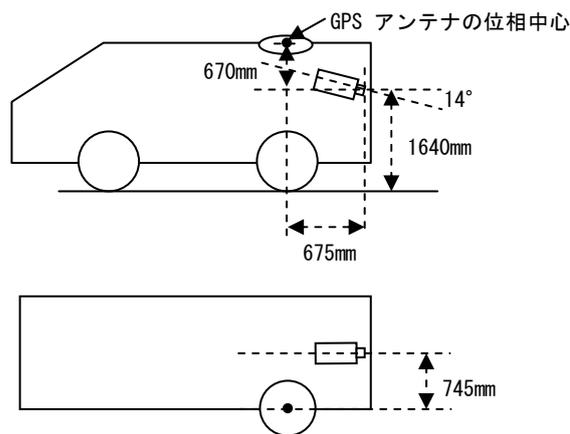


図 7. 評価システム機器設置状態

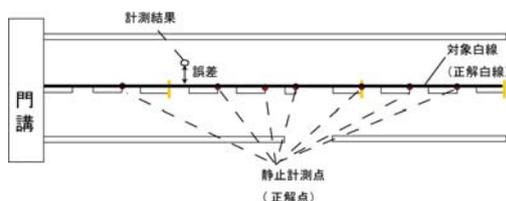


図 8. 評価対象と誤差定義

5. 終わりに

高精度測位装置とビデオカメラを積載した車両による道路白線測位システムを検討し、その精度評価を行った。1/500 地図の誤差レベルの達成可能性が極めて高いという結果が得られた。今後一般道など実環境に耐えうるような処理を追加し、高精度と安定性の両方を実現していくよう研究開発を行っていく。

参考文献

- [1] 三菱電機(株)HP
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/>
- [2] (株)ジェノバ HP,
<http://www.jenoba.jp/work/service.html>
- [3] 日本 GPS データサービス(株)
http://www.gpsdata.co.jp/service_menu/men_u_realtime.html
- [4] 山野, "モバイルマッピングシステムによる道路空間データ収集手法の開発", 日本測量

調査技術協会, APA, No77-1, 2000.

[5] 谷黒, "車両搭載型レーザスキャナによる路面測量の方法", 日本測量調査技術協会, APA, No87-6, 2004.

[6] J. Canny, "A computational approach to edge detection", IEEE Trans. PAMI, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679-698, 1986.

[7] 臼井, "高精度衛星測位技術と空間情報システムへの応用", 日本バーチャルリアリティ学会研究報告Vol. 8, No. 4 [サイバースペースと仮想都市研究会], 2003

[8] 臼井, "国土位置情報サービスPAS における精度検証", 日本航海学会2003 年度秋季研究会GPS 研究会, 2003

[9] 米山他, "構造情報を用いた白線・横断歩道検出に関する検討", FIT2004, I-080, 2004.

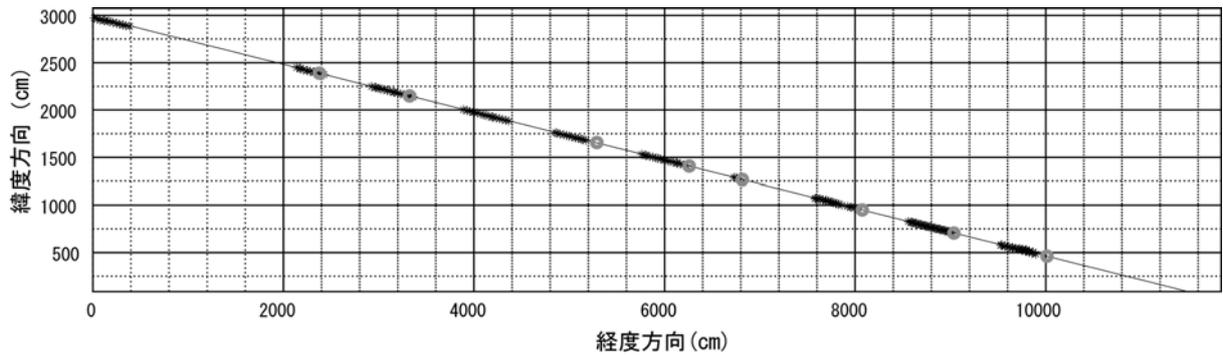


図 9. 測位結果

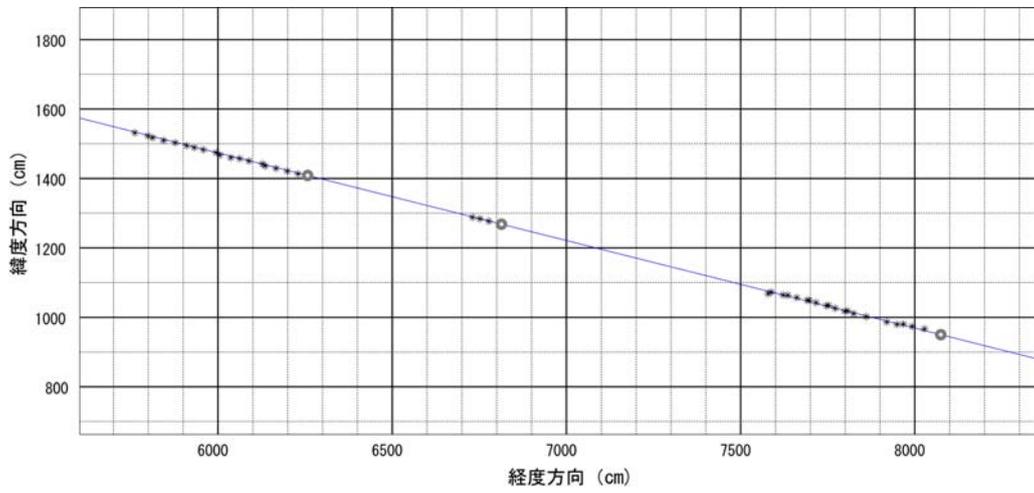


図 10. 測位結果(一部拡大)