

動画画像解析による道路案内標識の自動位置推定

富永裕之* 内村圭一* 脇阪信治**
*熊本大学工学部 ** (株)ゼンリン

現在、カーナビの道路情報データベースに道路標識を追加する場合は、実際に標識のある道路に行ってその位置を確認する必要があり、その作業の効率化が望まれている。そこで、本論文では、細かい道路調査をせずに、走行中に撮影した車載カメラの画像を解析することにより案内標識情報を取得し、道路地図にその情報を取込む手法を提案する。本手法では、標識の色と形状の特徴を利用した標識領域の抽出及び、動画画像中の抽出領域の変化とGPS(全地球測位システム)を用いた標識位置の推定を行う。また、実際の走行時の道路情景画像を用いた実験を行い、画像解析により推定された標識位置の精度について検討している。

Automatic Position Estimation of Road Guide Sign by Analysis of Image Sequence

Hiroyuki Tominaga* Keiichi Uchimura* Shinji Wakisaka**
*Faculty of Engineering, Kumamoto University **Zenrin Co

At present when adding a road sign to the road information database of car navigation, it is necessary to go to the road which has a sign and to check the position, and the increase in efficiency of the work is desired. Then, in this paper, without conducting fine road investigation, guide sign information is acquired by analysis of the images taken during the run, and the technique of taking in the information to a road map is proposed. By this technique, the extraction of a sign region using the color of a sign and the feature of form, and the estimation of the sign position using GPS and the change of the extraction regions in an image sequence, are presumed. Moreover, the experiment using the road sight image at the time of an actual run is conducted, and the accuracy of the sign position estimated by image analysis is examined.

1. はじめに

近年、渋滞の緩和・環境保全・安全性の向上をテーマに、ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) と呼ばれる研究が進められている。その研究分野の一つでもあるナビゲーションシステムは、本来は経路案内を目的として開発されてきたが、現在では、単なるナビゲーションではなく道路情報を有効に利用することで安全運転への寄与も可能になってきている[1]。このことから、運転手に提供するための道路情報を整備することは、安全運転の支援という面でナビゲーションシステムにとって重要な課題である。現在、この道路情報データベースに道路標識を追加する場合は、それらの設置位置が国によって管理されていないため、実際に標識のある道路に行ってその位置を確認する必要があり、その作業の効率化が望まれている。

そこで、本研究では、カーナビ用デジタル道路地図作成の支援を目的とし、細かい道路調査をせずに、走行中に撮影した車載カメラの画像を解析することで標識情報を取得し、道路地図上にその情報を取込む手法を提案する。

具体的な方法としては、車載カメラにより撮影した道路情景画像からの標識の認識、GPS (Global Positioning Systems : 全地球測位システム)により得られるカメラの方向及び位置情報を用いた標識設置位置の推定を行って、カーナビ用道路地図に標識情報を取込むというものである。なお、ここで対象とする道路標識は、特に都市高速道路での分岐点前での行き先の見落としをカバーするものとして有用である道路案内標識とする。

道路案内標識の抽出に関しては、CCDカメラで撮影されたカラーRGB画像は、カメラと太陽の相対的な位置関係、天候などに影響され、本来同色のものが異なる色として認識されてしまうなどの誤動作が起こってしまう。そこで、本研究では、撮影条件の変化に影響されにくい表色系である色相・彩度・明度変換 (HSV 変換) を用いて特定色領域を作成し、それに対して標識形状情報を用いた抽出を行う[2][3][4][5][6]。

標識の位置推定に関しては、単一画像から位置を求めする方法として、標識のサイズや道路上からの高さなどのパラメータを既知とするものがあるが、案内標識は表記内容

によりサイズが異なり、道路上からの高さも規定とずれている可能性がある。そこで、本研究ではそのようなパラメータを既知とせず、複数画像における標識領域の挙動により位置を求めることで、多様な案内標識に対応できるようにする。また、カメラと標識との相対的位置関係から地図上の位置を求めるために、GPSにより得られるカメラの方向及び位置情報を用いる。

道路地図への標識情報の取込みに関しては、デジタル地図上の対応する位置に標識をプロットすることで行う。

以下、第2章で道路案内標識の抽出手法、第3章で標識位置の推定手法について詳しく述べる。実験結果については、第4章に示す。

2. 標識抽出

本研究で対象とする道路案内標識の例を図1に示す。本稿では、図1左の一般道路の案内標識について抽出を行うこととする。抽出の手順については、図2に示すように、まず画像を読み込み、画像をRGB空間からHSV空間に変換する。得られた画像に対して色相(Hue)、彩度(Saturation)、明度(Value)に関するしきい値処理を行うことにより特定色領域を作成する。そして、支柱などの誤抽出を領域の収縮・膨張を行って補正する。



図1 対象とする案内標識例

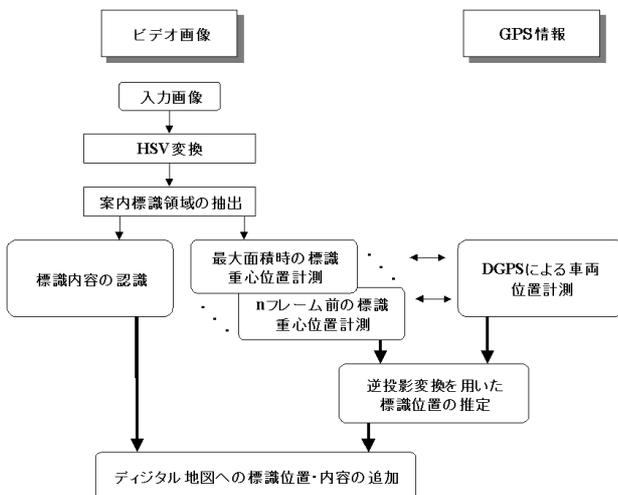


図2 処理の流れ

その後、標識の大きさ(画像における)、形状といった情報を用いて領域の選定を行って標識を抽出する。

2.1 HSV(色相・彩度・明度)変換

標識の老朽化、天気や時間帯による画像の明暗等による色の識別の困難さを解消するため、RGB空間からHSV空間への画像の変換を行う。HSV空間とは、色の種類を表す色相(Hue)、色の鮮やかさを表す彩度(Saturation)、そして明るさを表す明度(Value)といったパラメータで色を表す空間のことであり、RGBからHSVへの変換は式(1)で表される。

$$\max = \max(R, G, B), \min = \min(R, G, B)$$

とすると

$$\begin{cases} H = 0 & (\max = \min \text{の場合}) \\ H = ((G - B) / (\max - \min)) \times 60 & (R = \max \text{の場合}) \\ H = (2 + (B - R) / (\max - \min)) \times 60 & (G = \max \text{の場合}) \\ H = (4 + (R - G) / (\max - \min)) \times 60 & (B = \max \text{の場合}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} S = 0 & (\max = \min \text{の場合}) \\ S = (\max - \min) / \max & (\max = \min \text{以外の場合}) \end{cases}$$

$$V = \max$$

$$H : 0 \sim 60 \sim 180 \sim 300 \sim 360 (= 0)$$

赤 緑 青 赤

(1)

ここで、色相は、日光に照らされているところと影のところとでの変化にある程度不変の性質を持つので重要なパラメータである。式(1)において、R,G,Bは三原色、H,S,Vはそれぞれ色相、彩度、明度の値を表し、 $0 \leq H < 360$ 、 $0 \leq S \leq 1$ の2つの値については、8ビットの値として正規化する。この変換式は、計算に三角関数などを用いず、コンピュータでコーディングする際に、高速に演算できるという特徴を持っている。

2.2 しきい値処理による特定色領域の作成

一般道路の道路案内標識は、青と白の2色で構成されている。そこで、画像をRGB空間からHSV空間に変換した後、色相、彩度、明度に関するしきい値処理を行うことで、特定色(青、白)の2値画像を作成する。処理で用いるしきい値は、予備の実験により得られた標識の特定色についての色相、彩度、明度の範囲から求める。ここで、標識には青色の背景に白色の文字が書かれていることから、その背景色を抽出することで標識を十分抽出できると思われるので、青色に関してのみしきい値処理を行う。その代わりに、作成した特定色領域に白色文字の部分に当たる空洞が生じるので、領域中の0-画素(濃度値0の画素)を1-画素に変換することで領域の穴埋めを行う。

2.3 特定色領域の補正

特定色領域の作成において、画像に標識が存在するのに抽出されないといった誤作動を避けるため、しきい値の範囲を広くして許容度を上げると、標識の近傍に存在する物体(支柱など)と標識領域とが一緒になって抽出される場合があり、そのような場合には標識領域を抽出できていたとしても標識として選定されない。そこで、以下のように“領域の収縮・膨張”を利用して特定色領域の補正を行う。

標識と支柱が一緒になって抽出された場合の例を図3に示す。図3のように、支柱は幅の狭い領域であると考えられる。そこで、そのような幅の狭い成分を取り除く手法として領域の収縮・膨張を用いる。取り除く幅については、標識領域の大きさの変化に対応するため、1～5まで変化させてそれぞれについて、標識候補領域の選定を行う。領域の選定については、以下の節で説明する。

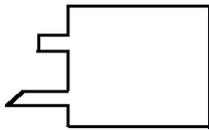


図3 支柱を含んだ抽出領域の例

2.4 標識候補領域の選定

これまでの手法[7]では、標識候補領域を選定するための形状に関する評価値として候補領域とその領域の外接四角形の面積比を用いていたが、候補領域に標識以外の領域が含まれている場合にその比が大きく変化する。標識領域の境界線が画像の x, y 軸と水平な場合にしか対応できない、といった問題があった。本手法では領域の周囲長と面積で定義される複雑度、領域の中心から境界線までの最大距離と面積で定義される真円度といった評価値を用いることで、領域内部の形状特徴を把握でき極端な誤選択や選定漏れを防ぐことができる。複雑度 com および、真円度 cir は、それぞれ式(2)、式(3)のように表される。

$$com = \frac{L^2}{4F\pi} \quad (2)$$

$$cir = \frac{F}{\max^2 \times \pi} \quad (3)$$

ここで、 F は、領域の面積、 L は周囲長、 \max は領域の中心から境界線までの最大距離を表す。案内標識の標準的な大きさは、予告案内標識(縦: 240cm × 横: 280cm)、交差点案内標識(縦: 220cm × 横: 280cm)、確認案内標識(縦: 200cm × 横: 240cm) というように決められている。これらの標識の形状特徴量を求めると、複雑度がそれぞれ、1.281, 1.292, 1.284。真円度がそれぞれ、0.629, 0.619, 0.626 になる。そこで、複雑度、真円度の閾値を式(4)のようにお

き、面積についても標識が認識可能であるように閾値を設定する。

$$1 \leq com \leq 2, 0.5 \leq cir \leq 0.7, F \geq 3000 \quad (4)$$

3. 標識位置の推定

図2に示すように、ここでは、標識抽出によって得られる各画像の標識領域の重心座標と、撮影時の自車両の位置情報を用いて標識位置を推定する。また、標識のサイズや道路上からの高さなどのパラメータを既知としないことで、多様な標識に対応できるようにする。

3.1 車両座標系と画像座標系との投影関係

車載カメラレンズの中心を原点とした車両座標系 $X - Y - Z$ と投影画像の中心を原点とした画像座標系 $x - y$ の投影関係を図4に示す。レンズ中心から標識上の点までの高さを H_n とする。車両座標系の空間中の点 $P(X_n, Y_n, Z_n)$ は、画像上の $P'(x_n, y_n)$ に投影される。

ここで、車両座標系と画像座標系の投影関係を利用して、画像上の標識の点を3次元空間上へ逆投影変換したときの車両座標系の座標は、式(5)のように表される。

$$\begin{aligned} X_n &= H_n \frac{x_n}{y_n \cos \theta - f \sin \theta} \\ Y_n &= H_n \\ Z_n &= H_n \frac{f \cos \theta + y_n \sin \theta}{y_n \cos \theta - f \sin \theta} \end{aligned} \quad (5)$$

f : カメラの焦点距離

θ : カメラの俯角

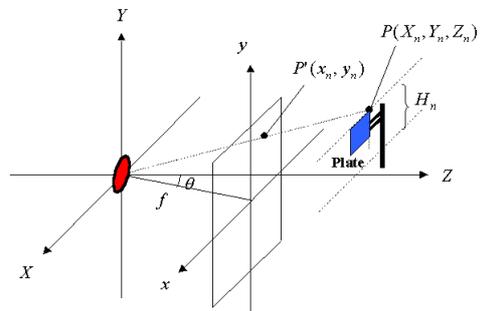


図4 画像座標系と車両座標系

この式の車載カメラのパラメータ f, θ は、既知として計算を進める。したがって、カメラと標識間の距離を求めるには、画像座標系の座標 (x_n, y_n) とレンズ中心から標

識上の点までの高さ H_n が必要である。

しかし、 H_n は未知なので、単一画像から車両座標系の座標を得ることはできない。そこで、複数画像を用いてその座標を求める方法を以下で説明する。

3.2 標識領域の変化と自車の移動距離によるカメラ-標識間の距離推定

本研究で用いる画像は、車載カメラにより連続して撮影されたものであり、標識が映っている画像は多数存在する。そこで、時系列画像での標識領域の変化を用いてカメラ-標識間の距離を推定する方法をとる。

具体的な方法としては、2つの時系列画像における標識上の対応する点の位置座標と画像間の自車の移動距離を用いて、逆投影変換により車載カメラと標識間の距離を求める。2つの時系列画像を早く撮られた方から順に frame n-1, frame n とする。frame n-1 と frame n での対応点の画像座標系と車両座標系の座標をそれぞれ (x_{n-1}, y_{n-1}) , (x_n, y_n) 及び $(X_{n-1}, Y_{n-1}, Z_{n-1})$, (X_n, Y_n, Z_n) 、画像間の自車の移動距離を ΔZ とし、2つのフレーム間において道路は平坦で進行方向は変化しないものとする

$$Y_n = Y_{n-1} = H \quad , \quad Z_n = Z_{n-1} - \Delta Z \quad (6)$$

が成り立つ。この式を用いることで、逆投影変換式(5)から次式が得られる。(導出過程は付録参照)

$$\begin{aligned} X_{n-1} &= \frac{x_{n-1}(y_n \cos \theta - f \sin \theta)}{f(y_n - y_{n-1})} \times \Delta Z \\ Y_{n-1} &= \frac{(y_{n-1} \cos \theta - f \sin \theta)(y_n \cos \theta - f \sin \theta)}{f(y_n - y_{n-1})} \times \Delta Z \\ Z_{n-1} &= \frac{(f \cos \theta + y_{n-1} \sin \theta)(y_n \cos \theta - f \sin \theta)}{f(y_n - y_{n-1})} \times \Delta Z \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)から、frame n-1 と frame n の画像座標系の座標と ΔZ から frame n-1 での対応点の3次元座標 $(X_{n-1}, Y_{n-1}, Z_{n-1})$ を求めることができる。ここで、 ΔZ の値は、GPSデータにより得られる frame n-1 と frame n におけるカメラ位置の緯度、経度を (lat_{n-1}, lon_{n-1}) , (lat_n, lon_n) としたときに式(8)のように求めることができる。

$$\Delta Z = \sqrt{(lat_n - lat_{n-1})^2 + (lon_n - lon_{n-1})^2} \quad (8)$$

3.3 緯度、経度への変換

3.2 で求められる X_{n-1} , Z_{n-1} は、車両進行方向と垂直横方向を軸としたときの座標であるので、図5のように緯

度、経度を軸としたときの座標に変換し、また m 単位から緯度、経度への単位の変換も行う。具体的には、式(9)のように相対的な緯度 lat_{n-1} 、経度 lon_{n-1} を求め、式(10)のように自車位置の緯度、経度に加えることで、標識位置の緯度 lat_p 、経度 lon_p を求める。

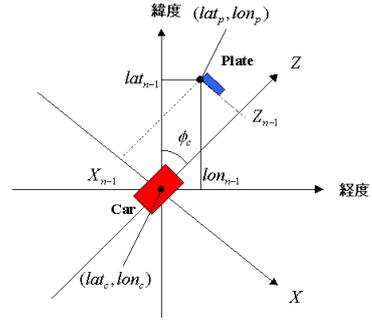


図5 X-Z平面から緯度、経度への変換

$$\begin{cases} lat_{n-1} = \begin{cases} F_1 & (0 \leq \phi_c < 90 \text{ or } 180 \leq \phi_c < 270) \\ F_2 & (90 \leq \phi_c < 180 \text{ or } 270 \leq \phi_c < 360) \end{cases} \\ lon_{n-1} = \begin{cases} F_2 & (0 \leq \phi_c < 90 \text{ or } 180 \leq \phi_c < 270) \\ F_1 & (90 \leq \phi_c < 180 \text{ or } 270 \leq \phi_c < 360) \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

ここで、

$$\begin{cases} F_1 = \|X_{n-1}\| \sin \phi - \text{sign}_{X_{n-1}} \times Z_{n-1} \cos \phi \\ F_2 = \|X_{n-1}\| \cos \phi + \text{sign}_{X_{n-1}} \times Z_{n-1} \sin \phi \end{cases}$$

$$\begin{cases} lat_p = lat_c + lat_{n-1} \\ lon_p = lon_c + lon_{n-1} \end{cases} \quad (10)$$

ϕ_c : 自車の進行方向

ϕ : $\phi_c \bmod 90$

X_{n-1}, Z_{n-1} : 車両座標系の座標

lat, lon : 緯度、経度

$\text{sign}_{X_{n-1}}$: X_{n-1} の符号

ここで、車の進行方向 ϕ_c 、自車位置の緯度 lat_c 、経度 lon_c は、GPSデータから取得し、単位はWGS-84(世界測地系)のデータから、緯度方向の1分を1846.09m、経度方向の1分を1574.43mとして変換する。

4. 実験

今回、北バイパス降り口付近の道路(2001年7月31日、天気:晴れ、時間帯:13:00~15:00、気温:36度)での車両走行時の撮影画像を用いる。得られる2つの標識について、カメラの俯角が同じ状態での位置推定の再現性と、カメラの俯角の変化による推定位置の変化について考察する。ここで、カメラの俯角は、事前に車両との距離を測定しておいた対象物を撮影したときの画像から求めた値 +5.84度(上向き), +18.28度(上向き), +25.33度(上向き)を使用する。画像は、解像度720×480pixelsで1/30sに1フレーム撮影されており、カメラの焦点距離は6mmで、地面からカメラまでの高さは1.6mである。また、自車の位置データは、DGPS装置(トリンプル製AgGPS)から1/10sに1個取得し、位置推定では対応点として標識の重心位置を用いる。

カメラの俯角を変化させたときの抽出結果を図6に示す。また、案内標識の位置推定結果を図7, 図8に示す。図中の俯角1, 俯角2, 俯角3は, +5.84度(上向き), +18.28度(上向き), +25.33度(上向き)を表し, 俯角 x_y は, 俯角 x での y 周目を表す。ここで、位置推定では、最大の抽出領域が得られたフレームをframe n とし、このフレームとframe $n-1$ ~frame $n-5$ までのフレームを用いて推定を行った。また、案内標識の位置の真値に関しては、支柱の高さ2mの所にGPS装置を取り付けたときの30分の静止点測位の結果を用いる。推定した標識位置をデジタル地図上にプロットした結果を図9, 図10に示す。それぞれの点は、図7, 図8の位置関係に対応している。図中の円は、標識位置の真値から半径5mの円を示し、灰色の四角形は、推定位置を示している。

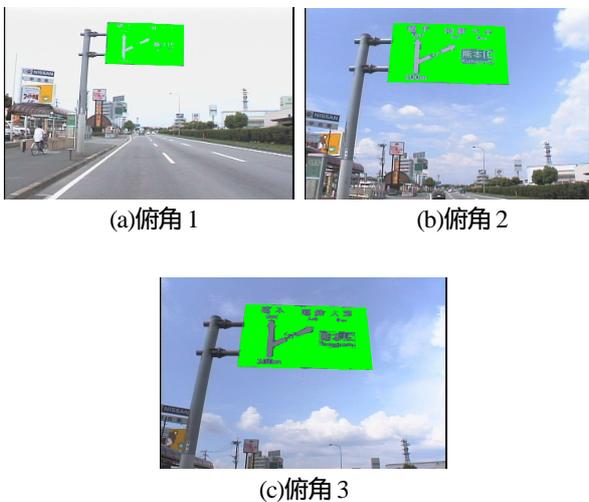


図6 俯角変動時の同一標識1の抽出例

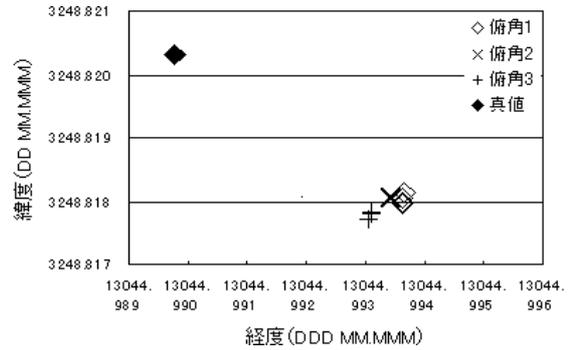


図7 標識1の位置推定結果(1目盛:縦1.85m,横1.57m)

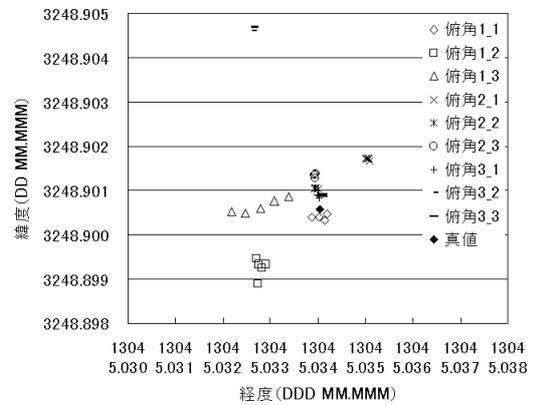


図8 標識2の位置推定結果(1目盛:縦1.85m,横1.57m)

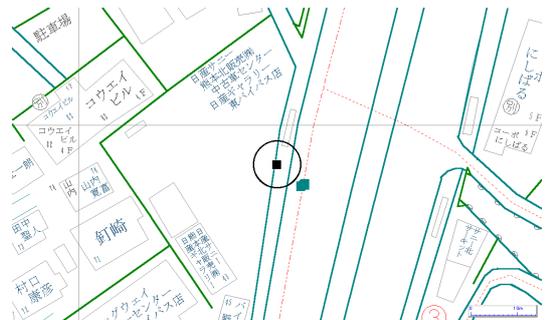


図9 標識1の地図へのプロット結果

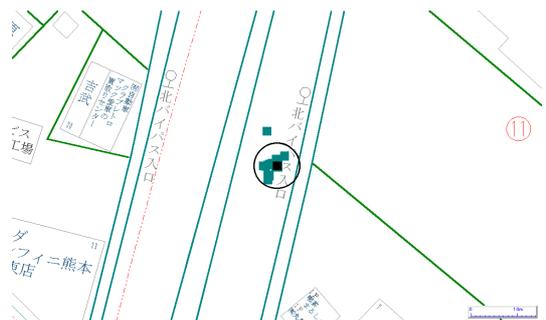


図10 標識2の地図へのプロット結果

図6の抽出結果から、どの俯角の場合も標識の青色領域を抽出することができている。また、俯角を大きくすることで誤抽出を防ぐための領域の限定などを行わずに安定して抽出することができる。

標識位置の推定値の分散については、図8から俯角1の場合は5つの推定値の分散が最大約1mあり、推定に用いるframeの組み合わせにより推定値が異なるという問題が生じる。それに対して、俯角2,3の場合は5つの推定値がそれぞれ0.5m以内に存在し、推定値の変動が小さいことが分かる。

位置推定の再現性については、推定値の分散と同様に俯角を大きくした方が標識との距離が近い分、近い位置を推定できるため再現性が保たれる。ただ、図8の俯角3.2では他の同じ俯角での推定位置とは5m程離れた位置を推定しているが、これは、車両の位置データを計測する際の衛星数が4個以下であったために生じた誤差が原因である。GPS装置は、受信できる衛星の数に大きく影響されるため、どこでも精度良い位置データを取得できるとは限らない。本研究で用いているGPS装置の仕様では、受信できる衛星数が5個以上である場合最大約2mの誤差が生じ、衛星数が4個以下の場合には最大十数mの誤差を生じる。

位置推定の精度については、図7からどの俯角の場合も同じような位置を推定できていることが分かる。真値とは大きく離れているように見えるが、この場合、標識位置の真値が道路から離れた場所にあるのでこの真値自体に誤差が生じている。

図9,10の地図へのプロット結果を見ると、標識から5m付近もしくはそれ以内に標識位置を推定することができた。この誤差を取り除くためには、画像frame間での車両の傾きなども考慮する必要がある。

5. まとめ

車載カメラにより撮影した道路情景画像から案内標識を切り出す手法とその標識の位置を推定する手法を提案し、その実験結果を示した。

標識抽出では、白色文字を考慮せず青色背景のみで特定色領域を作成したが、画像によっては、それだけでは抽出できない場合が生じた。

位置推定では、俯角を上向きにすることで、frame n と frame n-1 frame n と frame n-2 ... frame n と frame n-5 のように異なるフレーム間隔で推定を行った結果、どの間隔の場合も推定値の分散が小さくなることが分かった。また、精度に関しては、真値自体の誤差やGPSの精度等が原因で、真値よりも数m離れた位置を推定してしまう結果となった。

今後は、抽出処理においては、多様な画像に対応するため、しきい値を自動選定する方法について検討し、位置推定においては、車両の傾きを考慮に入れた処理の検討。また、標識内容の認識についても検討する。

参考文献

- [1] 横内,井手野,太田:“車載ナビゲーションシステム”,三菱電機技報,73, No.10, 23-27, (1999)
- [2] 日比,鎌田,野田,大岡:“カラー自然画像からの交通標識領域の抽出および認識法”,電学道路交通研究会,RTA-94-15, 1994
- [3] 日下部,泉,高橋:“道路標識の抽出と認識に関する検討”,電学道路交通研究会,RTA-94-17, 1994
- [4] 川上,池田,田島:“色と形状の情報を用いた道路標識検出”,電子情報通信学会信学技報,PRU92-29, 1992
- [5] 内村,脇山,藤野:“限定色表示を用いた円形道路標識の抽出”,電子情報通信学会論文誌,Vol. J83-D-II, No2, pp. 855-858, 2000
- [6] 田村,小沢:“道路標識の抽出と認識”,電学道路交通研究会,RTA-00-38, 2000
- [7] 富永,内村:“時系列画像とGPSデータを用いた道路案内標識の位置推定”,電学道路交通研究会,RTA-01-6, 2001

付録：カメラ - 標識間の距離推定

本文の式(5)について

$$F_n = \frac{f \cos \theta + y_n \sin \theta}{y_n \cos \theta - f \sin \theta} \quad (A1)$$

とおくと、式(5)、式(6)、式(A1)から奥行Zについて

$$\begin{aligned} Z_{n-1} &= H \times F_{n-1} \\ Z_n &= Z_{n-1} - \Delta Z = H \times F_n \end{aligned} \quad (A2)$$

が成り立ち、Zは高さHを用いることなく以下のように表すことができる。

$$Z_{n-1} = \frac{F_{n-1} \Delta Z}{F_{n-1} - F_n} \quad (A3)$$

この式から、frame n-1におけるカメラ - 標識間の距離は本文の式(7)のように表される。