Vol.2009-CVIM-167 No.31
2009/6/10

メッシュ・テンプレートを用いた円形道路標識の高速検出

青木裕太[†]　中島克人[†]

メッシュ状のテンプレートを用い，色と形状を同時に判定する標識の高速検出法を提案する．テンプレートは，マッチングの基本単位であるセルを 10×10 程度敷き詰めたもので，それぞれのセルで入力画像の平均色と期待色（検出対象色）との比較を行う．各セルには検出対象となる標識の形状に合わせて重みが付与され，各セルでの比較結果に重みを掛けたものをテンプレート全体で集計することで検出を行う．全入力画素を期待色とまず比較し，テンプレート内に一定量以上期待色画素が含まれる場合のみにセルごとのマッチングを行うという高速化を組合せることにより，VGA サイズの画像に対して，直径 20 ピクセル以上の円形標識を 18msec/フレームの速度で検出することに成功している．

Fast Detection for Circular Road Sign with Mesh Template

Yuta AOKI[†] and Katsuto NAKAJIMA[†]

We propose a fast template-matching method for road sign detection. We employ a 'mesh template' to sweep and detect the color and shape of the target at a time. In a mesh template, 10 by 10 cells are aligned to test whether the average color of the input image at each cell position is the target color or not. Each cell has a weight according to the ratio of target color at its position when the target (circular red road sign) just fits the template. The detection succeeds if the weighted sum of the results at every cell exceeds a threshold. We also introduce a pre-test mechanism to test whether the image in the template position contains too few pixels of the target color and the test with mesh template can be skipped. By combining them, we can detect road signs of 20-pixel diameter or more in VGA images at the speed of 18 msec per frame.

1. はじめに

ドライバーの危機認識や運転操作の補助・軽減という観点から，ITS（Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム）に関する研究が続けられている．道路標識の検出・認識を目的とした研究は広く行われているが，その多くは色と形状の情報を別々に判別しているため，処理に時間が掛かる[1]．強力な認識手法として輝度勾配などの特徴量を用いたSIFT[2]やHOG[2]といったものも知られているが，これらもまた多くの計算量を必要とし，現時点ではビデオレートでの実時間認識は困難である．また，検出対象が小さくなると輪郭情報が得づらく，検出が困難になるなどの問題もある．さらに，照度条件変化の考慮が不十分なものが多く検出精度にも問題がある．そこで，我々は色情報と形状情報を同時に扱うメッシュ型のテンプレート（以下，メッシュ・テンプレート）を用いた高速な道路標識検出手法を提案している[3]．今回，この手法に更なる高速化の工夫を加えることによって，道路標識のビデオレートでの検出という目標に近づくことが出来たので，その手法と評価結果について報告する．

2. メッシュ・テンプレートを用いた道路標識の検出

2.1 メッシュ・テンプレートの概要

メッシュ・テンプレートとは，色情報と形状情報を同時に判別するための矩形メッシュである．メッシュ・テンプレートは，セルと称する小さい四角いマス目を縦横に並べて構成される．このメッシュを細かくすることにより，処理時間が増える代わりに検出精度を上げることができる．今回は経験的に決定した 10×10 セル（図 1 左参照）を採用する．色情報の判別は，セル毎に検出対象色と比較を行い類似度の値を求めることで行う．この際，実道路環境で想定される様々な照度条件に対応するために，輝度別に用意した色判定表[3]（2.3 で後述）を用いる．形状情報の判別は，次節 2.2 で述べる各セルの重み付けで行う．

[†] 東京電機大学大学院 未来科学研究科
Graduate School of Science and Technology for Future Life, Tokyo Denki University

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-CVIM-167 No.31
2009/6/10

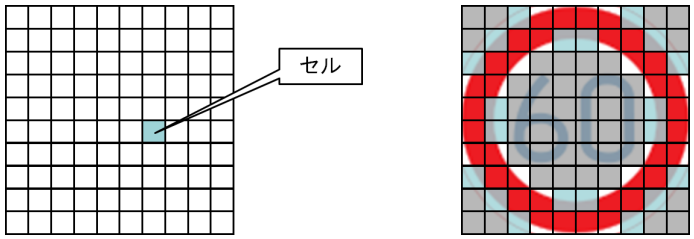


図 1　メッシュ・テンプレート

2.2　形状判別のための重みの決定方法

本研究では検出対象を規制標識（以下，円形道路標識）に限定する．また，標識の種別の認識，即ち，円形の内部の識別は行わず，赤色の円形部分のみの検出を対象とする．なお，入力画像中での道路標識の位置がわかれば，標識の識別は従来のテンプレートマッチングにより高速かつ正確に行えると考えている．

メッシュ・テンプレートの各セルの重みは「被覆面積比」によって決定する．これは検出対象とメッシュ・テンプレートが丁度外接する（図 1 右）とき，各セル内で検出対象色がどの程度の面積を占めるべきかを表すものである．本研究では，セルが円形標識の赤色（検出対象色）を完全に被覆する場合の 10 から全く被覆しない（即ち，赤色が存在してはならない）場合の－10 まで，被覆する面積に合わせて各セルの重みを決定した．

2.3　色判定表

検出対象色との類似度を算出するために色判定表を用いる．判定表はあらかじめ様々な照度条件下で撮影した標識画像を調査して得た．調査の結果，種々の照度条件下で標識の赤色を判別するには YUV 色空間における UV 平面が最も適していると判断し，[3]では輝度値 Y の範囲を 3 つに分け，それぞれに UV 平面上の矩形領域を標識色の赤色と判定する範囲とした．図 2 の横縞領域が輝度の低い場合，斜線領域が輝度の高い場合，縦縞領域はその中間輝度の場合の UV 平面での範囲である．

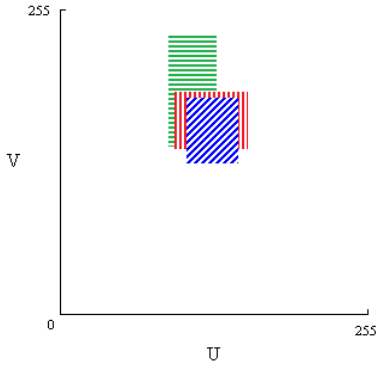


図 2　[3]における標識色（赤色）判定表

2.4　スコア計算

入力フレーム画像に対してメッシュ・テンプレートを画面くまなくスイープさせ，ポジション毎に検出対象，即ち，赤色の円形を丁度内接しているかどうかを，テンプレート内の各セルでの赤色の被覆比率を集積して判断する．これをスコア計算と称し，具体的には次のように行う．

まず，各セルに含まれる画素値の平均値を計算する．色判定表とその平均値を比較し，検出対象色の範囲に入れば 1，そうでなければ 0 を各セルの値とした後に，セルの位置に対応する重みを掛け合わせる．各セルの重み付きの値を合計しメッシュ・テンプレート全体のスコアとして算出する．ある閾値以上の場合はそのテンプレート位置を道路標識領域として抽出する．

2.5　検出処理の高速化

スコア計算はスイープの各ポジションで行われるため，その高速化は要である．各セルの画素値平均を求める際に，セル内の画素値を全て読み出してその総和を求める処理ではテンプレートの面積に比例した時間が掛かる．そこで，Integral Image と称するフレームサイズに等しい 2 次元配列をフレーム読み込み直後に作成し，これを利用して各ポジションでのセルの画素値計算の時間短縮を図る．Integral Image の各点には，対応するフレーム画像のその座標値よりも左上の矩形領域の画素値の総和が格納される（図 3）．例えば図 4 に示した領域 ABDC の画素値の総和を得たい場合は，Integral Image 上で ABDC に対応する 4 点の値を用い，A－B－C＋D によって計算することが出来る．算出対象となる領域の大きさに関わらず Integral Image へのアクセス数は 4 回のみで済み，算出式も単純なため，メッシュ・テンプレート方式を現実的なものと

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan

する基本的なアイデアとして採用している[3].



図 3　Integral Image

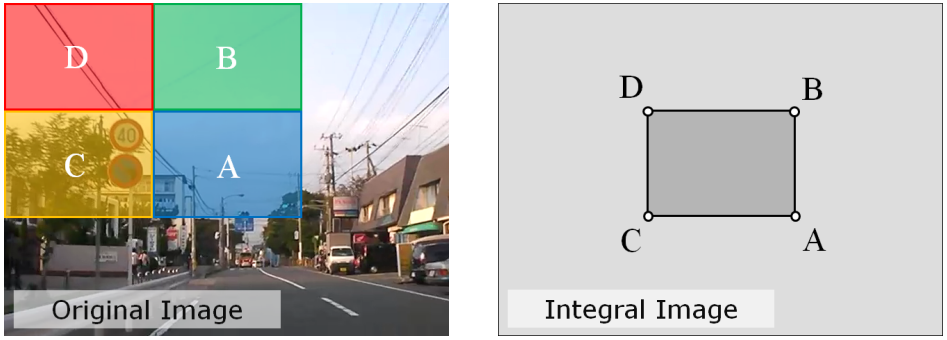


図 4　原画像上と Integral Image 上での任意の矩形領域

画素を一つ一つ読み出してスコア計算を行う場合，読み出し回数はテンプレートのサイズに比例する．例えば 80×80 ピクセルサイズの場合，6,400 回の読み出しが必要になる．これを Integral Image を用いて算出した場合，100 セルそれぞれで 4 点の情報，即ち，合計 400 点の情報だけでスコア計算が可能となる．しかも，図 5 に示すように，メッシュ・テンプレートの内部格子点は隣接するセルで共有が可能であるため，Integral Image へのアクセスは，メッシュ・テンプレートの格子点数である 11×11 の計 121 回のみで済むことがわかる．

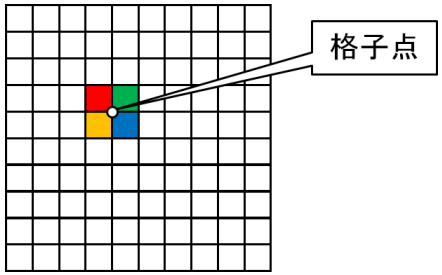


図 5　隣接するセルで共有が可能なメッシュ・テンプレートの格子点

2.6　従来方式（[3]）におけるメッシュ・テンプレートの処理の流れ

ここまでの内容を実装した[3]における処理の流れを図 6 に示す．

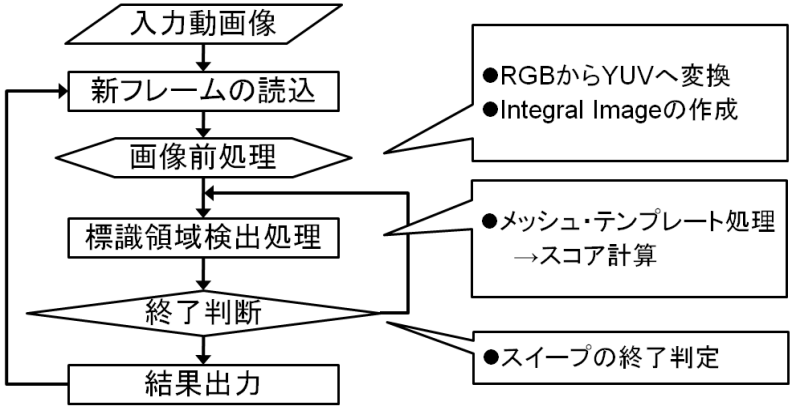


図 6　従来方式（[3]）におけるメッシュ・テンプレートの処理の流れ

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-CVIM-167 No.31
2009/6/10

3. メッシュ・テンプレート法の更なる高速化

3.1 スコア計算省略のための前判定

メッシュ・テンプレートの各ポジションにおける検査対象領域（以下，ウィンドウ）が検出対象の円形道路標識に外接するとき，ウィンドウ内には面積比率としてある一定以上の検出対象色が存在するはずである．従って，検出対象色がその面積比率(以後，R と表記)に満たないことを先に検査し，スコア計算自体を省略することを考える．これを前判定と称することにする．

赤色円形道路標識の場合，外接四角形のウィンドウに赤色が占める比率は約 0.37 である．しかし，以下で用いる閾値は R≒0.25 とする．部分隠れした標識も検出できるというメッシュ・テンプレートの特性を活かすため，検出対象の 1/4 程度の隠蔽まで許容したい．さらに，ウィンドウのスイープにおいて，その大きさや位置の刻みの粗さにより，画像内に存在する標識にウィンドウがぴったり当たらず見逃しを起こしかねないため，これを防ぐために，マージンを 10%程度取ることにする．以上により，R＝0.37×0.75×0.90≒0.25 とした．

図 7 左の実環境画像内で検出対象色のピクセルを白く，それ以外のピクセルを黒く 2 値画像で表現したものが図 7 右である．この図からも明らかなように，スコア計算自体を省略できる領域がかなりあることが分かる．そこでまず，スコア計算の省略可否の判定（以後，前判定）を高速に行うため，フレーム毎に前節のものとは別に，図 7 右に対する Integral Image を作成する．そして，スイープ中のメッシュ・テンプレートと同サイズのウィンドウ内の検出対象ピクセル数（以降，δ 値）をこの Integral Image を利用して求めて，2 割 5 分未満かどうか，即ち，ウィンドウサイズを W とすると，δ／W ＜ R＝0.25 を検査する．これには 4 点の読み出しと 1 回の演算（3 回の加減算，および，閾値との 1 回の比較，以下同様）のみを必要とする．メッシュ・テンプレートのスコア計算は，検査対象領域に対してメッシュの格子点数である 121 回の Integral Image の読み出しと 100 回の演算が必要であるので，検出対象色をほとんど含まない画像領域（図 7 右，黒の領域）では，前判定は高速化に非常に有効となる．



図 7　実環境画像と検出対象色ピクセルの 2 値画像

3.2 スイープスキップ（アクティブ探索[4]）

スイープ型のテンプレートマッチングにおいて，あるテンプレート位置でのマッチング度合いの評価値 S(大きい程マッチング度合いが高いとする) と，少しずらした位置における評価値 S’の増大幅 S’－S に上限 α が定義できる場合，S＋α がマッチングの条件を満たすだけの大きさを持たなければ，前者位置がマッチングに失敗すると共に，後者位置も失敗が確定するために，評価値 S’の計算が省略され，マッチング位置の削減が可能となる．この原理を利用してスイープを高速化することをアクティブ探索と称する[4]．メッシュ・テンプレートにおける前判定でもこの考え方を用い，前判定におけるスイープを高速化する．

前判定でのスイープも，ウィンドウを少しずつずらして行うため，一度判定を行ったウィンドウ位置と次のウィンドウ位置との δ 値の変化量は限られる．その δ 値の増加可能な最大値を α とすると，(δ＋α)／W ＜ 0.25 であれば次位置でスコア計算を省略できる．α はウィンドウサイズと次位置へのずらし量に基づく既知の値なので，現位置でこの条件も満たされれば次位置での前判定は不要となり，スコア計算の省略も確定する．即ち，スイープ中の次位置での前判定はスキップできる．もし，(δ＋n×α)／W ＜ 0.25 が満たされれば n 回分まとめて前判定をスキップできることになる．

今回の試作・評価でのスイープ時のずらし量は後述のようにメッシュ・テンプレートの 1 セル幅相当（即ち，ウィンドウ幅の 10 分の 1）としており，道路標識の検出対象領域の形状から，最大で横方向に 3 回のスキップが可能である事が分かっている．その場合，前判定処理自身が 4 回に 1 回で済むという高速化が実現できる．このスキップは現ウィンドウ位置の直下や斜め下に対しても可能となり，更なる高速化を行える．

検出対象色の分布が図 7 右の場合に，どの程度前判定がスキップされるかを例示し

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan

たのが図 8 である．いずれも，ウィンドウサイズが 66×66 の時に前判定が行なわれるかどうかを，ウィンドウの中心座標に白点で表示したものである．図 8 左が横方向のスキップのみの場合，図 8 右が横・縦・斜め方向のスキップを行う場合である．白点の密度が高い部分はスキップ間隔が狭い，または行わない場所になる．逆に，白点の密度が低い部分は多くのスキップが可能であることを示す．図 7 右との比較から，検出対象色の分布量が少ない図 7 右の黒の領域ではスキップが多く行われていることがこの図から読み取れる．図 8 左では横方向のみスキップの判定を行っているため点の間隔が広く，縦方向は点の間隔が狭い．ここにさらに縦方向と斜め方向に同様のスキップ判定処理を追加すると，図 8 右のように検出対象色が少ない部分では全方向にスキップ間隔が広くなっており，検出処理を更に減らせていることがわかる．

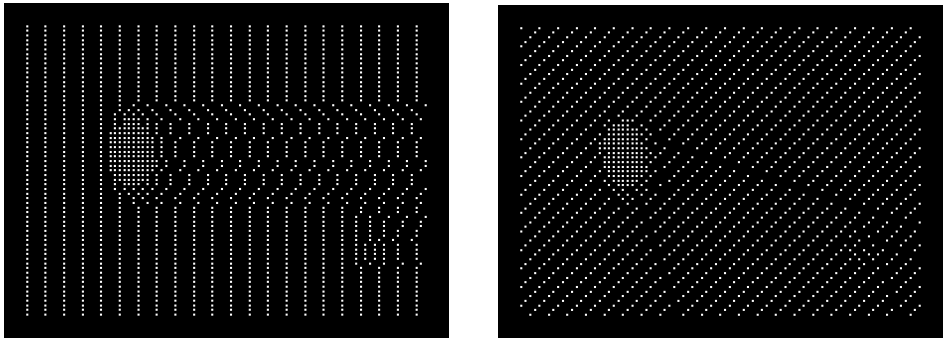


図 8　ウィンドウサイズ 66×66，横方向スキップのみの時と
横・縦・斜めスキップ時の検出処理点

3.3 検出対象領域の削減

3.1，3.2 からもわかる通り，今回新たに取り入れた前判定とスイープスキップを行う際，検出対象色と判定される領域を減らすことで，前判定によるスコア計算省略とスイープスキップを多く行うことが可能となり，高速化を図ることができる．そこで 2.3 で示した色判定表の見直しを行った．色褪せた標識などを含む様々な条件下の規制標識画像約 200 枚の標識色部分（赤色）についてYUV色空間での分布の再調査を行った[5]ところ，輝度変化によるUV平面での分布の差を考慮するよりも矩形で括ることによって余分な色領域を減らすことが，検出対象色領域を減らす上で重要であることがわかった．ここで得られたデータから，輝度による分割や矩形での領域指定を行わない図 9 左のような判定表を作成した．図 9 右は図 2 との違いを比較するために図 2 と図 9 左を重ね合せたものである．[3]における色判定表と改良版色判定表により得られる判定結果の画像をそれぞれ図 10 に示す．これにより，矩形で指定していた判定表では削ることができなかった検出対象色外の領域を大幅に削ることが可能となったことがわかる．

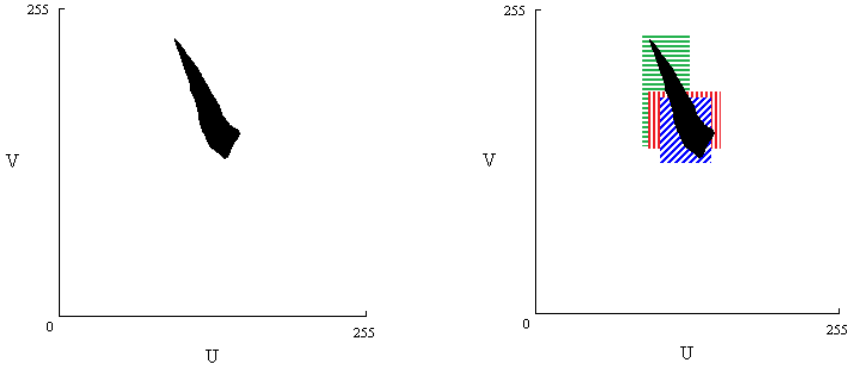


図 9　改良版色判定表及び改良版と[3]における色判定表の比較

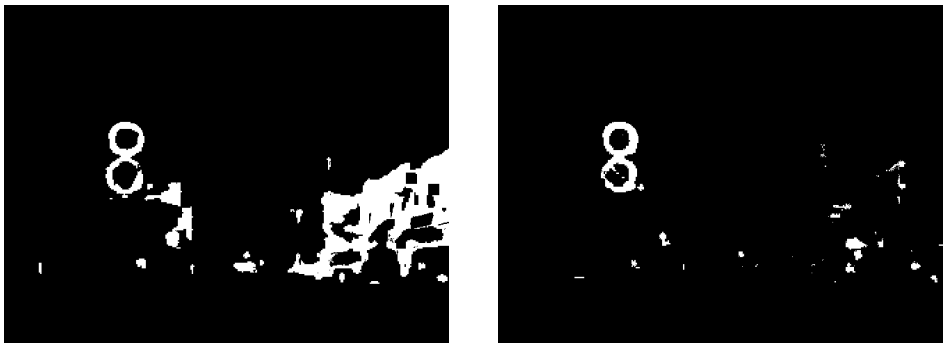


図 10　改良版と[3]における色判定表で得られた色判定結果

3.4 前判定とスイープスキップを取り入れた処理の流れ

スコア計算省略のための前判定とスイープスキップを取り入れた改良版プログラムの処理の流れを図 11，また，その中で標識領域検出処理の詳細を図 12 に示す．

図 12 から，図 6 の従来方式（[3]）の処理の流れに比べ標識領域検出処理の前にスキップ判断と前判定の処理が増えたことがわかる．またこれらの処理を行うために画

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan

像前処理として新たに，各画素と色判定表を比較した Integral Image の作成も行っている（図 11 の画像前処理）．スキップ判断または前判定によりスコア計算の省略が可能な場合は次のウィンドウ位置の検出処理へと移り，画像上くまなくスイープを行う．

スキップ判断では主に縦・斜め下方向のスキップ可否を保持する配列（スキップ表）により判定を行う．このスキップ可否を保持する配列の作成は前判定直後に行う（図 12 のスキップ表書込）．スキップ表の配列サイズは，横方向はフレームの横幅の最大分割セル数，縦方向はスキップ判断のために読み出す当該行と，最大スキップ幅の 3 行分を合わせて 4 行分とした．

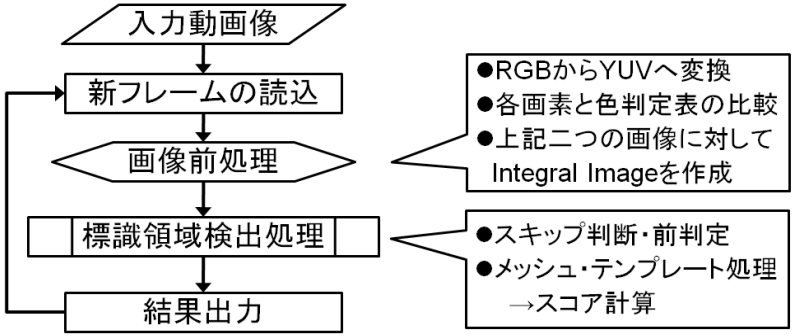


図 11　前判定とスイープスキップを取り入れた処理の流れ

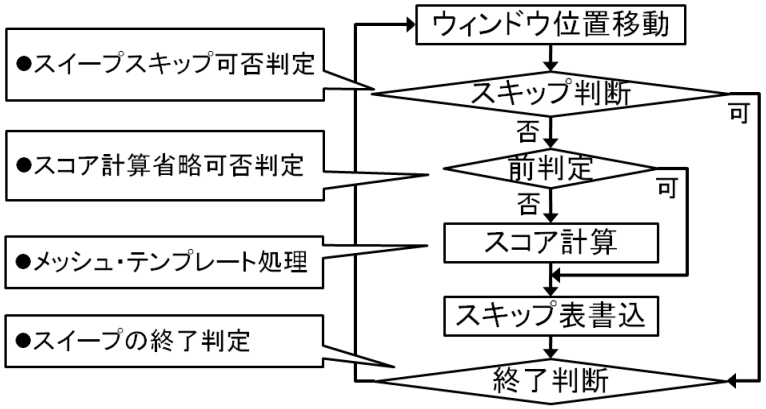


図 12　標識検出処理部分の詳細な処理の流れ

4. 評価実験

4.1 実験概要

車内に設置されたカメラによって車載前方実動画像（解像度 640×480 ピクセル，30 フレーム/sec）を録画し，オフラインで本手法の評価を行った．晴天の夕刻時に撮影され，撮影時間は約 37 秒（フレーム総数 1050 枚）である．全フレーム画像には，検出目標である前方約 50m の範囲内に規制道路標識が延べ 315 個存在していた．実験に使用した計算機は，CPU：Intel Core2 Duo E8400 3.0GHz，Memory：3.4GB である（1 コアのみ使用）．また，メッシュ・テンプレートのサイズは 20×20 ピクセルから 80×80 ピクセル，スイープ時のずらし幅は 1 セル，テンプレートのサイズ刻みは 1.1 倍とした．

4.2 評価結果

4.2.1 前判定およびスイープスキップの導入と色判定表の改良による比較結果

4.1 に示した環境下で，[3]のプログラムと，前判定とスイープスキップを組み込んだプログラムで検出率と実行速度について比較を行ったのが表 1 である．表の上段は検出に成功した標識数（分子），検出対象標識総数（分母），検出率（括弧内）となり下段がフレーム当りの実行時間である．

表 1 の結果から，前判定とスイープスキップを行う改良版（スキップ有）は[3]の方法（スキップ無）と比較し，実行速度の向上が得られていることがわかる．特に色判定表の変更で検出対象色として認識される領域を厳密化することにより，フレーム当り約 18ms，即ち，実時間での処理も視野に入る速度になった点は大きな成果であると言える．ちなみに，スイープスキップを行うことにより，前判定の総回数は約 4 万回から約 1 万回に減らすことができている．また図 2 の色判定表では誤検出が 5 回前後あったのに対し，改良版の色判定表では 0 回に減らすことができた．

遠方にある標識の検出結果を図 13 左に示す．標識部を拡大した画像が図 13 右である．図 13 の標識サイズは画像上で 20×20 ピクセル（実環境下で約 50m 先）である．この結果から輪郭部分が滲んだ遠方の標識でも検出が可能であることを確認した．

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-CVIM-167 No.31
2009/6/10

表 1　検出率と実行速度の比較結果

	スキップ無 ([3]の方法)	スキップ有 横方向のみ	スキップ有 縦・斜め方向込み
[3]における 色判定表	214/315 (67.94%)	198/315 (62.86%)	198/315 (62.86%)
	81.04 ms/frame	67.62 ms/frame	65.03 ms/frame
改良版の 色判定表	232/315 (73.65%)	226/315 (71.75%)	226/315 (71.75%)
	80.96 ms/frame	21.93 ms/frame	18.06 ms/frame

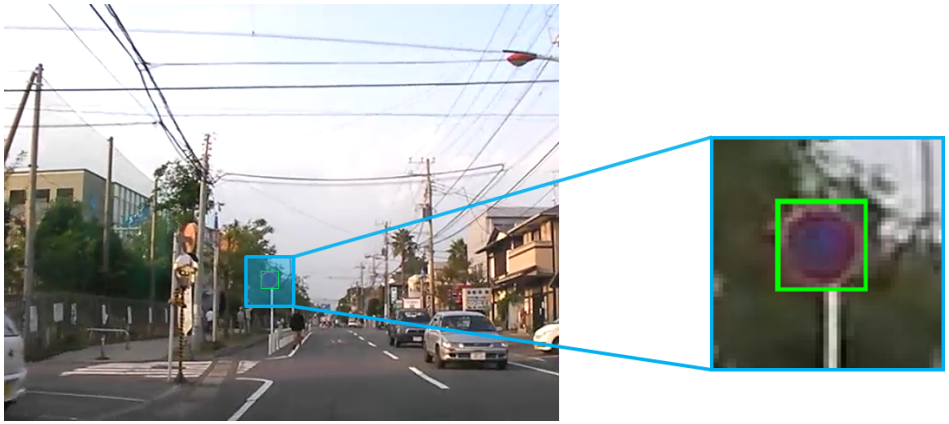


図 13　遠方標識検出の例

4.2.2 スイープを精細に行う場合の比較結果

4.2.1 の[3]の方法，および，前判定やスキップを行う方法では，いずれもスイープのずらし幅は 1 セルで，テンプレートのサイズ刻みは 1.1 倍としていた．従って，テンプレートがきっちりと当らないウィンドウ位置での検出漏れにより，検出精度を落としている可能性がある．そこで，スイープを詳細に行う場合の検出精度の変化具合を評価した．

表 2 は，スイープのずらし幅を 1 ピクセル，テンプレートのサイズ刻みを 1.05 倍とした精細なスイープを行った場合と[3]の方法との比較結果を示す．共に前判定およびスキップは行っていない．これより，改良版の色判定表を用いた場合でも検出率の向上は確認できたが，誤検出も発生することが確認できた．今までスイープ時に検出処理を行っていなかった，検出対象の分布と類似した検出対象色の分布領域でのポジションついても精細な検出処理を行ったことが，誤検出発生，あるいは増加の原因として挙げられる．

また，検出速度差 3 桁という大幅な低下が見られることから，現在のスイープずらし幅とテンプレートのサイズ刻み程度を維持したまま検出精度を向上させる必要がある．

表 2　スイープのずらし幅とテンプレートのサイズ刻みの検出率との比較

		[3]のスイープ	精細なスイープ
[3]における 色判定表	検出数（検出率）	214/315 (67.94%)	264/315 (83.81%)
	誤検出数	5 箇所	14 箇所
	検出速度	81.04 ms/frame	56.80 sec/frame
改良版の 色判定表	検出数（検出率）	232/315 (73.65%)	272/315 (86.35%)
	誤検出数	無	6 箇所
	検出速度	80.96 ms/frame	54.21 sec/frame

5.　考察と今後の課題

5.1　考察

今回評価に用いた動画像に関しては，メッシュ・テンプレートを用いて 30 フレーム/sec のビデオレートでの規制標識検出が可能なことが確認できた．標識内容の認識も含めて実時間処理を行うという目標に近づけたと考えられる．また従来，検出対象色として判定される範囲が広かったため，標識以外の場所での誤検出も少なからずあったが，色判定表の判定範囲を標識の実データに基づいて狭め，色判定を厳格化することで誤検出を大幅に減らすことが可能であることもわかった．

5.2　今後の課題

評価に用いた YUV による色判定表は，検出対象色とそれ以外の色を完全に区別できるに至っていない．より多くの実画像を収集し，更なる色判定表の精緻化を行うとともに，他の色空間についても評価を行っていく必要がある．また，今後はより遠方の標識検出，及び検出精度向上のために，VGA サイズよりも大きな画像サイズでの実時間検出を目指したい．そのためには処理の軽減が今まで以上に求められる．現時点のスイープスキップでは，ウィンドウの縦，横，斜め移動によるウィンドウ内画素の変異分のみスキップ可否の判断に用いているが，今後はウィンドウサイズの拡大・縮小による変異分も考慮に入れてスキップ判断を行うことにより，更なる高速化を図る．また，スイープスキップ可否の判定に用いる閾値では今回部分隠れを考慮したが，こ

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan

Vol.2009-CVIM-167 No.31
2009/6/10

れは本研究では経験的に算出した値を用いた．この点は，メッシュ・テンプレートで対応可能な部分隠れ量なども踏まえ今後さらに評価を行う必要がある．さらに，標識の内容までを含めた認識を行い，現時点の円形道路標識以外の道路標識についても調査を行う必要がある．

参考文献

[1] 莫舸舸, 青木由直, “カラー画像における道路標識の認識”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J87-D2, no.12, pp.2124-2135, 2004.
[2] 藤吉弘亘, “Gradient ベースの特徴抽出 - SIFT と HOG -“, 情報処理学会, 研究報告, CVIM 160, pp.211-224, 2007.
[3] 青木裕太, 安西俊孝, 篠崎眞太郎, 中島克人, ”メッシュ・テンプレートを用いた色と形の同時判定による道路標識の高速検出”, 第 7 回情報科学技術フォーラム, Vol.FIT2007, H-037, pp.141-142, 2008.
[4] 村瀬洋, “局所色情報を用いた高速物体探索ーアクティブ探索法ー”, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J81, No.9,1998.
[5] 木村洋輔, “道路標識高速検出のための色判定表の構築”, 東京電機大学工学部情報メディア学科 2008 年度卒業研究論文梗概集

ⓒ2009 Information Processing Society of Japan