

# 論文

## 背景画像復元のためのひも状遮へい領域の抽出

玉木 徹<sup>†</sup>      鈴木 博<sup>††</sup>      山本 正信<sup>†††</sup>

### Extraction of String Obstacle Regions for Image Restoration

Toru TAMAKI<sup>†</sup>, Hiroshi SUZUKI<sup>††</sup>, and Masanobu YAMAMOTO<sup>†††</sup>

あらまし 本論文では、静止画像中の遮へい領域を抽出し、背景を復元する手法を提案する。処理の対象となる遮へい領域は、細長いひも状の形状であり、近傍領域との輝度差は大きいと仮定する。まず、各画素とそれを中心とする円周上の画素との輝度差を用いた投票処理を行う。次に、遮へい領域と背景領域を区別するために、投票量の適切な符号を選択する。更に、変分法を用いて投票量の強調を行う。そして抽出した遮へい領域を、近傍の背景領域の情報を用いて補間し、背景画像を復元する。実画像による定量的な評価と定性的な評価実験を行い、提案手法の有効性を示す。

キーワード 遮へい、画像補間、投票、画像復元、領域抽出

## 1. ま え が き

我々が写真を撮影するとき、撮影対象の手前に不要なオブジェクトが存在するために、望んでいる画像を撮影できない場合がある。例えば、動物園、野球場・テニスコート等の競技場、ビルの屋上や橋の上といった場所では、危険防止のためにフェンスや金網、檻、ネット等が固定されている。そのため、上記のような場所で撮影された画像は、撮影対象が遮へいされていて不明りょうになったり、画像認識の精度が低下してしまうという問題が生じる。したがって、撮影した画像中から撮影対象を遮へいするオブジェクトを除去し、隠された画像を推定する技術が必要とされる。

画像中の不要なオブジェクトを除去して画像の復元を行う研究は近年盛んに行われており、様々な分野での応用が期待されている。例えば、欠損領域の近傍画素とこう配情報を有効に用いた補間 [1]、パターン認識における固有空間法を用いた画像補間法 [2]、動画画像におけるオプティカルフローの考えを静止画像に適用し

た方法 [3]、投票処理を用いて統計的に埋めるべき画素値を推定する手法 [4] 等がある。しかしこれらの研究では、画像の補間手法に重点を置いており、除去する領域はユーザが手動で指定 [5], [6] しなければならない、複数枚の画像に対して処理を行う際には、多大な労力と時間を必要とする。

また、動画画像を対象とした画像復元の研究も数多く行われている。例えば、剛体運動の仮定のもとでシーンを予測する手法 [7]、映像フィルムに見られるブロッチと呼ばれる白や黒のしみによって劣化した映像を、デジタル化して復元を行う手法 [8] がある。これらの手法は、複数フレームの情報を用いて復元を行うためユーザの負担は減るものの、静止画像に対しては適用できない。複数台のカメラから得られる画像を用いて、視野の妨害となる画像中の水滴を除去する手法 [9] も提案されているが、やはり 1 枚の静止画像に対して処理を行うことはできない。

一方、筆者らは不要なオブジェクトの抽出と補間を同時に行うために、1 枚の画像中から周期的な遮へい領域を自動で抽出し除去する手法 [10], [11] を提案した。しかし、この手法は抽出と除去が自動で行われるものの、除去の対象となる物体が周期的でかつ直線的である必要があるため、限られた状況でしか適用できない。

そこで本論文では、より一般的な静止画像中の遮へい領域を除去するために、フェンスや金網、ネット、

<sup>†</sup> 広島大学大学院工学研究科, 東広島市

Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-hiroshima-shi, 739-8527 Japan

<sup>††</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科, 新潟市

Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 8050 Ikarashi 2-nocho, Niigata-shi, 950-2182 Japan

<sup>†††</sup> 新潟大学工学部, 新潟市

Faculty of Engineering, Niigata University, 8050 Ikarashi 2-nocho, Niigata-shi, 950-2182 Japan

木の枝、傷といった細長いひも状の遮へい領域を自動で抽出し除去する手法を提案する。本研究では、処理の対象となる遮へい領域が細長いひも状の形状であり、近傍領域との輝度差は大きいと仮定する。そして、遮へい領域上の画素と近傍の背景領域上の画素の輝度差の関係により、遮へい領域を抽出する。まず、注目画素とそれを中心とする円周上の画素との輝度差による投票処理を行う。更に、変分法を用いて投票量の強調を行う。最後に、抽出した遮蔽領域を近傍の背景領域の情報を用いて補間すれば、背景を復元することができる。

本論文の構成は次のとおりである。2. では、画像中に存在する遮へい領域を抽出するための投票処理とそのモデルについて述べる。3. では変分法による投票量の強調処理について、4. では両側輝度差による遮へい領域の決定について説明する。5. では、提案手法を用いて実験を行った結果について述べる。そして最後に6. では、本論文をまとめるとともに、今後の課題について検討する。

## 2. 投票による遮へい領域の抽出

本章では、まず本研究で扱う遮へい領域の特徴について述べ、次に注目画素とその近傍領域上の画素の輝度差の投票方法について述べる。

### 2.1 遮へい領域の定義

本研究で扱う遮へいとは、ある物体が視線上に存在して背景や対象を隠すことであり、遮へい領域とはその物体の画像中での領域を意味する。

遮へいの状況は、様々なパターンが考えられる。例えば、野球場でネット越しに試合を観戦している場合、観戦者とグラウンドの間に設置されているネットは、グラウンドを遮へいする物体であるといえる。これは、観戦者の見る対象としているものが野球の試合であるため、それを遮るネットは遮へい物体となる。反対に、観戦者の見る対象としているものがネットである場合は、このネットは遮へい物体とはならない。このように、同じ物体であっても我々人間が何を見る対象とするかによって、遮へい物体となったり見る対象となったりする。

しかし、人間が撮影対象とした物体が何であるかという情報を、1枚の画像から得ることは困難である。したがって、1枚の画像中から遮へい物体を認識するためには、限定された目標物体の特徴やサンプルパターンを学習し、その知識を用いて認識を行ったり[12],

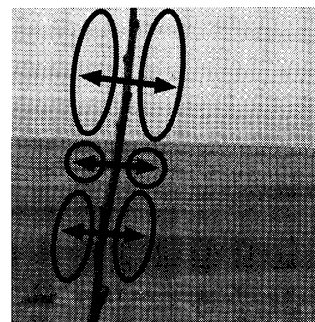


図1 遮へい領域の特徴 (4)

Fig.1 4th feature of an occluding region.

ステレオ画像等を用いて奥行情報を利用したりする必要がある、このような情報を用いずに遮へいの知覚を行うことは難しい。

そこで本研究では、遮へい領域は以下のような特徴をもつと仮定し、画像中でこのような領域を抽出することにする。

(1) 細長いひも状の形状である。フェンスや金網、木の枝などは細長い形状をもつ。

(2) 面積は小さい。細長い領域は画像全体に対して比較的小さい。

(3) 近傍領域の輝度差は大きい。ある程度のコントラストがなければ、遮へいが生じているようには見えず、また抽出も不可能である。

(4) 遮へい領域の両側の領域は同一物体である。図1に示すように背景領域は遮へい領域をまたいで連なっている。

### 2.2 輝度差の投票

上記の特徴(3)に基づき、ここでは注目画素とその近傍領域の画素の輝度差を計算する。まず、図2(a)に示すように、注目画素  $(x, y)$  とそれを中心とする半径  $r_1$  の円周(投票円)上の画素の輝度差を、次式のように注目画素に投票する。

$$v(x, y) = \frac{1}{N_1} \sum_{0 \leq \theta_1 < 2\pi} (I(x, y) - I(x + r_1 \cos \theta_1, y + r_1 \sin \theta_1)) \quad (1)$$

ここで、 $I(x, y)$  と  $v(x, y)$  はそれぞれ注目画素の輝度と投票量、 $\theta_1$  は注目画素と投票円上の画素を結んだ直線と水平方向のなす角度、 $N_1$  は投票円周上の総画素数である。

遮へい領域は細長い(特徴(1))、注目画素が遮へい領域上の画素であるならば(図2(b)上)、投票円上には背景領域の画素が多いため、その投票量は大

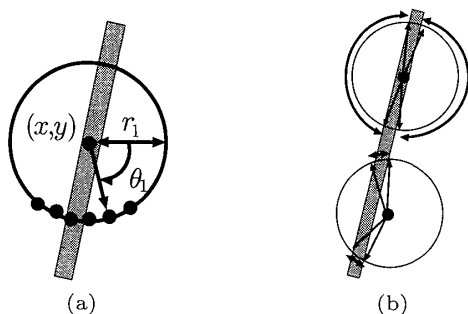


図 2 投票処理 (a) 注目画素への投票 (b) 注目画素の位置による投票円上の画素との関係

Fig. 2 Voting process (a) Voting on a focusing pixel. (b) Relations between points on the circle and the location of a focusing pixel.

きな値をもつ。反対に、注目画素が遮へい領域外の近傍の背景領域上の画素である場合には（図 2(b) 下），投票円上には遮へい領域の画素が少ないので，投票量は相対的に小さくなる。このことを簡単なモデルを用いて次節で示す。

## 2.3 投票量のモデル化

### 2.3.1 簡単な遮へい領域における投票モデル

式 (1) で表される投票量は，遮へい領域上の画素では大きな値をもち，（遮へい領域ではない）背景領域上の画素では小さくなる。このことを確かめるために，簡単な遮へい領域を仮定して，投票量をモデル化する。

ここで仮定する遮へい領域は，一様な背景の上に存在する一様な棒状の領域とする。そのため，この棒状領域に沿った方向では投票量は変化せず，棒状領域に垂直な方向にのみ値が変化する。そのため，以下では棒状領域に垂直な方向のみを取り上げる。

この遮へい領域の幅を  $w$ ，遮へい領域と背景領域の輝度をそれぞれ  $a$ ， $b$  とする。投票円の半径は  $r_1$  であるので，投票量は  $r_1$ ， $w$  に依存し，また遮へい領域の中央線から注目画素までの距離  $t$  に従って変化する，図 3(a)，(b) と図 4(a)，(b) の 4 パターンに分けられる。

図 3 と図 4 はそれぞれ，注目画素が遮へい領域上に存在するときと背景領域上に存在するときの投票モデルを表している。幅  $w$  が半径  $r_1$  に比べて細ければ，投票円は遮へい領域をまたぐ（図 3(a) と図 4(a)）。反対に幅  $w$  が太い場合，投票円は遮へい領域の片側のみ存在する（図 3(b) と図 4(b)）。実際にはほかに自明な場合が二つ存在する（投票の円がすべて遮へい領域内に含まれる場合と，すべて背景領域に含まれる場合）が，いずれも投票量が 0 なので重要ではない。

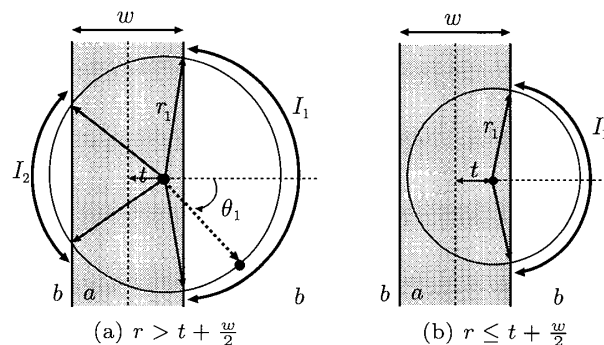


図 3 注目画素が遮へい領域上に存在する場合 ( $t < \frac{w}{2}$ ) の投票モデル

Fig. 3 Voting model when a focusing pixel is on the occluding region. ( $t < \frac{w}{2}$ )

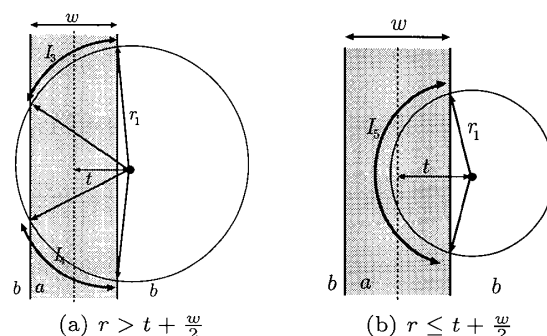


図 4 注目画素が背景領域上に存在する場合 ( $t > \frac{w}{2}$ ) の投票モデル

Fig. 4 Voting model when a focusing pixel is in occluded regions. ( $t > \frac{w}{2}$ )

### 2.3.2 四つの投票パターンと投票量

図 3(a)，(b) と図 4(a)，(b) の投票量をそれぞれ  $v_1$ ， $v_2$ ， $v_3$ ， $v_4$  とする。

以下では式 (1) での係数  $1/N_1 (= 1/2\pi r_1)$  はいずれも定数であるため，省略する。

(a) 図 3(a) の場合

投票量  $v_1$  は，注目画素の輝度値  $a$  と，半径  $r_1$  の投票円上の点の輝度値  $b$  の差の和である。ここでは，注目画素と投票円上の点を結ぶ直線と水平線のなす角度  $\theta_1$  の積分で投票量を求める。この積分範囲は，投票円のうち遮へい領域の右側と左側の背景領域に存在する部分であり，それぞれ  $I_1$ ， $I_2$  とすると，次のように表される。

$$I_1 = [-\cos^{-1} B, \cos^{-1} B] \quad (2)$$

$$I_2 = [\pi - \cos^{-1} A, \pi + \cos^{-1} A] \quad (3)$$

$$A = \frac{w + 2t}{2r_1}, \quad B = \frac{w - 2t}{2r_1} \quad (4)$$

この積分範囲を用いると， $v_1$  は次のように表される。

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \int_{\theta_1 \in I_1 \cup I_2} (a-b) d\theta_1 \\
 &= 2(a-b)(\cos^{-1} B + \cos^{-1} A) \quad (5)
 \end{aligned}$$

(b) 図 3(b) の場合

この場合、積分範囲は  $I_1$  のみとなる。

$$v_2 = \int_{\theta_1 \in I_1} (a-b) d\theta_1 = 2(a-b) \cos^{-1} B \quad (6)$$

(c) 図 4(a) の場合

注目画素が背景領域中にあるため、この場合の積分範囲は、投票円と遮へい領域の共通部分である。二つに分かれる共通部分をそれぞれ  $I_3$ ,  $I_4$  とすると、次のように表される。

$$I_3 = [\pi - \cos^{-1}(-B), \pi - \cos^{-1} A] \quad (7)$$

$$I_4 = [\pi + \cos^{-1} A, \pi + \cos^{-1}(-B)] \quad (8)$$

この積分範囲を用いると、 $v_3$  は次のように表される。

$$\begin{aligned}
 v_3 &= \int_{\theta_1 \in I_3 \cup I_4} (b-a) d\theta_1 \\
 &= 2(b-a)(\cos^{-1}(-B) - \cos^{-1} A) \quad (9)
 \end{aligned}$$

(d) 図 4(b) の場合

この場合、積分範囲は  $I_3$  と  $I_4$  が連続した  $I_5$  となる。

$$I_5 = [\pi - \cos^{-1}(-B), \pi + \cos^{-1}(-B)] \quad (10)$$

$$v_4 = \int_{\theta_1 \in I_5} (a-b) d\theta_1 = 2(b-a) \cos^{-1}(-B) \quad (11)$$

### 2.3.3 遮へい領域と背景領域での投票量の計算

上記の四つの投票パターンのうち、各画素の投票量がどれにあたるのかは、パラメータに依存する。遮へい領域の中央から外側に向かうに従って（つまり棒状の遮へい領域に垂直な方向への距離  $t$  が大きくなるに従って）、投票パターンは  $v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_4$  または  $v_1 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4$  と変化する。

距離  $t$  と投票量の関係を見るために、上述したモデルを用いて投票量を計算した結果を図 5 に示す。ここでは  $w = 20$ ,  $a = 255$ ,  $b = 0$  を固定して、 $r_1 = 10, 15, 20, 25, 30, 40$  に対してそれぞれプロットしている。また右向きを  $t$  の正方向と定めている。

図 5 を見て分かるように、注目画素が遮へい領域上に存在するとき ( $|t| < 10$ ) は投票量は大きくなるが、背景領域上に存在するとき ( $10 < |t|$ ) に

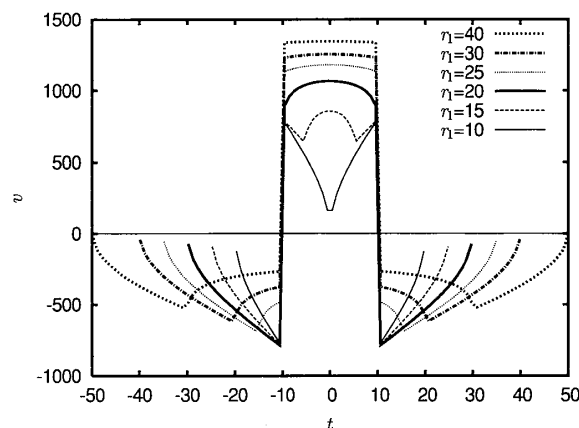


図 5 半径  $r_1$  を変化させたときの投票量  $v$  の距離  $t$  に対するプロット ( $w = 20$ ,  $a = 255$ ,  $b = 0$ )

Fig. 5 Plot of  $v$  against  $t$  as  $r_1$  varies. ( $w = 20$ ,  $a = 255$ ,  $b = 0$ )

は投票量が小さくなる。また半径  $r_1$  が大きくなるにつれて、遮へい領域上の投票量は一定値に近づき ( $\lim_{r_1 \rightarrow \infty} v_1 = 2(a-b)\pi$ )、背景領域上の投票量の差は大きくなる。

投票円の直径  $2r_1$  が遮へい領域の幅  $w$  よりも小さい場合 ( $r_1 = 10, 15$ ) には、遮へい領域上では投票量は一定にならないが、 $2r_1$  が  $w$  よりもやや大きい場合 ( $r_1 = 25$ ) には、遮へい領域上での投票量の変化は小さくなだらかになる。つまり投票量を用いて遮へい領域を抽出するには、投票円をできるだけ大きくすればよい。しかし投票円が大きすぎると、投票量が周囲の情報に影響されてしまう。そのため、実際には検出したい遮へい領域の幅よりも少し大きい程度の投票円を用いればよい（実際の画像での値は 5.3 を参照）。また次節では、投票円が遮へい領域よりやや小さい場合でも抽出を可能にするために、背景領域との投票量の差を強調する。

図 5 の例では、( $a > b$  であるので) 遮へい領域上では投票量の符号が正であるのに対して、背景領域上では投票量の符号が負となり、投票量の符号が異なる。この符号の反転は、式 (5), (6), (9), (11) を見れば分かるように、係数に ( $a-b$ ) または ( $b-a$ ) が掛かっているためであり、遮へい領域を抽出するためには重要である。遮へい領域と背景領域の輝度が入れ替わっても（つまり  $a < b$  となっても）この符号反転は生じるため、抽出のためにはコントラスト  $|a-b|$  がある程度大きければよい。式 (1) の内部の輝度差  $a-b$  が絶対値でも 2 乗でもないのは、この投票量の反転を保存するためである。

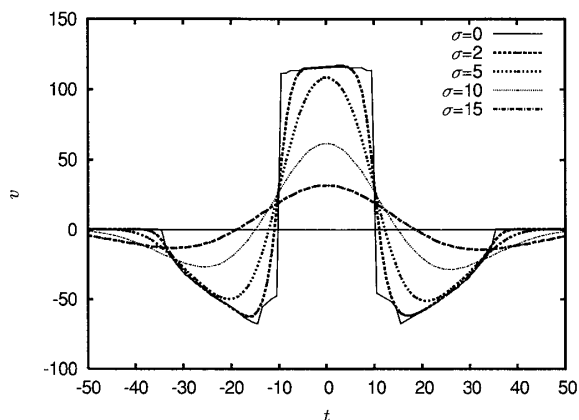


図6 画像が標準偏差  $\sigma$  のガウス関数でぼかされたときの投票量  $v$  の距離  $t$  に対するプロット ( $w = 20, a = 255, b = 0, r_1 = 25$ )

Fig.6 Plot of  $v$  against  $t$  as the image is blurred by Gaussian with  $\sigma$ . ( $w = 20, a = 255, b = 0, r_1 = 25$ )

#### 2.3.4 遮へい領域がぼけている場合の投票量の計算

上記で想定している遮へい領域のモデルは、遮へい物体にピントがあっており、背景と明確な輝度差があるものである。しかし、実際にはピントが合わず遮へい物体がピンぼけしたような場合も起こり得る。

本手法で提案する投票量がピンぼけにどの程度影響されるかを見るために、シミュレーション画像による結果を図6に示す。ここでは、前述の図5と同様に、幅  $w = 20$  の一様な棒状の遮へい領域 ( $a = 255, b = 0$ ) とした。これを標準偏差を  $\sigma = 0, 2, 5, 10, 15$  と変化させた二次元ガウス関数を用いてフィルタリングし、遮へい領域がピンぼけした画像を作成した ( $\sigma = 0$  はぼかしていないことを表す)。これらの画像に対して、前述の議論から遮へい領域の幅よりやや大きい  $r_1 = 25$  を設定して投票量  $v$  を計算し、図5と同様に遮へい領域中心からの距離  $t$  でプロットしたものが図6である。ただし式(1)での係数  $1/N_1$  を掛けているため、縦軸は約  $1/10$  になっている。

図6から分かるように、ぼけの大きさ  $2\sigma$  が遮へい領域の幅  $w = 20$  よりも小さい場合 ( $\sigma = 2, 5$ ) には、遮へい領域と背景との差が大きく、(次節で述べるように) 抽出のための投票量の2値化が有効に働くと思われる。しかしぼけが大きくなるにつれて、遮へい領域上 ( $|t| \leq 10$ ) と背景 ( $10 < |t|$ ) での投票量の値の差が小さくなり、また値の変化も滑らかになっている。特に  $\sigma = 10, 15$  の場合には、ぼけの大きさ  $2\sigma$  が遮へい領域の幅  $w$  を超えるため、背景の輝度が遮へい領

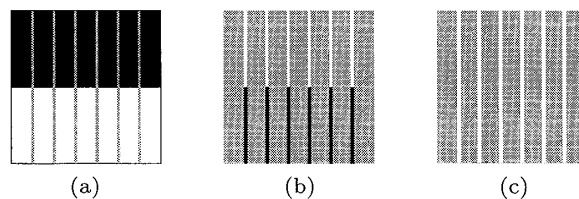


図7 遮へい領域と背景領域のコントラストの関係が変化する場合 (a) 画像例。細い灰色の領域が遮へい領域である。(b) 投票量の分布。白色、灰色、黒色はそれぞれ正、0、負の投票量を表す。(c) 符号判別後の投票量の符号。白色と灰色は、それぞれ正と0の投票量を表す。

Fig.7 A case that the contrast between the occluding region and backgrounds changes (a) an example with occluding regions in gray. (b) positive voting in white, negative in black, and 0 in gray. (c) signs of voting after sign selection. positive voting in white and 0 in gray.

域内に入り込んで輝度のコントラストがかなり低くなり、2値化を行っても抽出することは困難である。したがって提案する投票量は、遮へい領域の幅に比べてぼけの大きさが小さい画像に対しては有効であるといえる。

#### 2.4 投票量の符号の判別

前節で述べたように、式(1)で定義した投票量は、注目画素と投票円上の画素のコントラストの関係により、符号が変化する。これは遮へい領域を抽出するための利点であるが、以下のような問題もある。

例えば図7(a)のような、遮へい領域と背景領域のコントラストの関係が変化する画像を考える。図7(a)の上半分の遮へい領域上では、背景の輝度より高い場合、投票量は正となる。しかし、下半分では遮へい領域の輝度の方が背景よりも低くなり、投票量は負となる。

したがって、遮へい領域上の画素の投票量が大きくなるようにするには、遮へい領域と背景領域のコントラストに応じて、各画素ごとに適した符号の投票量を用いる必要がある。そのためには、遮へい領域の輝度が背景領域の輝度より大きい場所では正の投票量を用い、逆に遮へい領域の輝度が背景領域の輝度より小さい場所では負の投票量を用いればよい。

単純に画像全体で投票量の絶対値をとるだけでは、上記の問題は解決できない。例えば遮へい領域上の投票量が正の場合、その周辺の背景領域では投票量は負になるが、絶対値をとると、小さくなるべき背景領域の投票量も正となり、遮へい領域と背景領域との投票量の差が小さくなってしまふ。そこで、遮へい領域上

では投票量の絶対値を取り、背景領域では投票量を抑制するように符号を判別する。

符号の判別には、注目画素を中心とする局所領域内の情報を用いる。前節で述べたように、遮へい領域の投票量は、周辺の背景領域の投票量に比べて、その絶対値は大きい。したがってここでは、ある注目画素  $(x, y)$  を中心とする縦横  $(2r_1 + 1) \times (2r_1 + 1)$  の局所方形領域  $R(x, y)$  内で絶対値が最大となる投票量の符号が、その画素に適した符号であるとする。その適した符号が、その画素の投票量の実際の符号と異なる場合には、その画素は背景領域上にあるとして投票量を 0 にする。この処理は次式で表される。

$$(x'', y'') = \underset{(x', y') \in R(x, y)}{\operatorname{argmax}} |v(x', y')| \quad (12)$$

$$v(x, y) \leftarrow \begin{cases} |v(x, y)|, & \text{if } \operatorname{sgn}(v(x, y)) = \operatorname{sgn}(v(x'', y'')) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

ここで  $\operatorname{sgn}(x)$  は  $x$  の符号をとる関数である。

図 7(a) に対する投票処理の結果を模式的に示したものが図 7(b) である。これに上述の処理を行うと、図 7(c) のようになる。上記の処理により、遮へい領域上の投票量は大きく、背景領域上の投票量は小さくなる事が分かる。

### 3. 投票量の強調と遮へい候補領域の抽出

**2.3.3** でも述べたように、投票円が遮へい領域よりもやや小さい場合や、投票量が周辺の情報に影響される場合には、遮へい領域と背景領域との投票量の差が小さくなってしまう。そこで本章では、前章で求めた投票量のうち、遮へい領域上の投票量を強調する処理を行い、遮へい領域の候補を抽出する。

#### 3.1 強調投票量の推定

前章までで求めた投票量は、遮へい領域上では大きくなり、遮へい領域付近の背景領域上では小さくなる。すなわち、投票量のこう配の大きさは、遮へい領域と背景領域の境界付近で大きくなる。また **2.1** の特徴 (1) に基づき、遮へい領域と背景領域の 2 本の境界線は平行で互いに近接しているとする。

ここで、図 8 に示すように、遮へい領域上の画素に注目したとき、その画素を中心とする局所円領域内には、遮へい領域と背景領域の境界上の画素が数多く含まれる。それに対して、背景領域上の画素を中心と

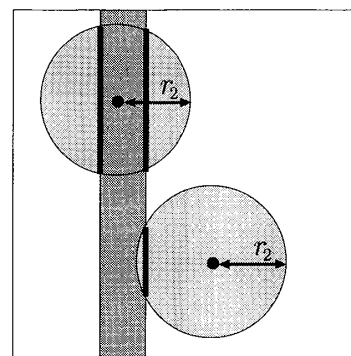


図 8 投票量  $v$  のこう配の平均  $g$  の計算  
Fig. 8 Computing average of gradients  $g$  of  $v$ .

する局所円領域内には境界上の画素はほとんど含まれない。

すなわち、局所円領域内の投票量のこう配の平均を計算すると、注目画素が遮へい領域付近にある場合はその値は大きくなるが、背景領域上にある場合は小さくなる。そこでこの性質を利用して、遮へい領域上の画素の投票量が大きくなるような強調処理を変分法を用いて行う。

まず、画素  $(x, y)$  を中心とする半径  $r_2$  の局所円領域内の投票こう配の平均  $g(x, y)$  を計算する。

$$g(x, y) = \frac{1}{N_2} \sum_{0 \leq r \leq r_2} \sum_{0 \leq \theta < 2\pi} |\nabla v(x + r \cos \theta, y + r \sin \theta)| \quad (14)$$

ここで  $N_2$  は局所円領域の面積である。前述したように、この投票こう配平均  $g$  は遮へい領域上の画素で大きくなる。したがって、この投票こう配平均  $g(x, y)$  で投票量  $v(x, y)$  を重み付けすることで、遮へい領域上の投票量を強調した  $V(x, y)$  を得ることができる。これより、目的関数を以下のように定義する。

$$\iint (V - vg)^2 dx dy = 0 \quad (15)$$

ただし、投票量は局所的に滑らかに変化すると仮定し、以下のような制約条件を立てる。

$$\iint (V_x^2 + V_y^2) dx dy = 0 \quad (16)$$

式 (16), (15) より、ラグランジュ乗数  $\lambda$  を用いて、

$$H(V) = (V - vg)^2 + \lambda(V_x^2 + V_y^2) \quad (17)$$

が得られ、最終的に次式

$$\iint H(V) dx dy \quad (18)$$

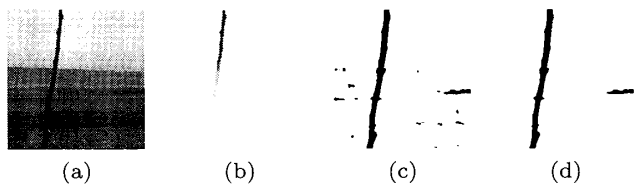


図9 2値化とラベリング処理結果 (a) 原画像 (b) 強調された投票量 (c) 2値化処理結果 (d) ラベリング処理による小領域を除去した遮へい領域候補領域

Fig. 9 Example of binarization and labeling process of the enhanced vote (a) original image. (b) enhanced voting. (c) binarized voting. (d) small regions are removed after labeling.

が最小となる強調投票量  $V$  を求める. ここで, 式 (17) のオイラー方程式は以下になる.

$$\frac{\partial H}{\partial V} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial H}{\partial V_x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial H}{\partial V_y} \right) = (vg - V) + \lambda(V_{xx} + V_{yy}) = 0 \quad (19)$$

この偏微分方程式を数値解析により解き,  $V$  を求める. 本手法では, 偏微分方程式の数値解法 [13] において多く利用される差分法を用いて差分近似を行い, 反復解法のガウス・ザイデル法を用いて上記のオイラー方程式 (19) を解く.

ラグランジュ乗数  $\lambda$  は本来は未知変数とともに解けるものであるが, 本手法ではこれを強調パラメータと呼ぶことにする.

### 3.2 投票量の2値化と遮へい候補領域の抽出

前章で得られた強調処理後の投票量  $V$  をしきい値  $th_{bin}$  で2値化し, 投票量の大きい画素を検出する. 遮へい領域上の画素の投票量が大きくなることから, 2値化処理とラベリング処理を施し, 面積がしきい値  $th_{area}$  以上である連結領域  $l$  を遮へい領域候補とする.

実際に, 図9(a)の画像の投票量を強調した投票量を図9(b)に,  $th_{bin} = 0.001$ ,  $th_{area} = 100$  で2値化とラベリング処理を行った結果を図9(c), (d)に示す.

## 4. 両側領域の輝度差による遮へい領域の選択

2.1で挙げた遮へい領域の両側の領域が同一物体領域であるという(4)の特徴に基づき, 前章の処理によって抽出された各候補領域が遮へい領域であるかどうかを決定する. 本手法では, 二つの領域が同一物体領域であるかどうかを, 各領域の平均輝度の差で表す. 平均輝度差が小さければ, 比較する二つの領域は同一物体領域であり, その候補領域を遮へい領域であると

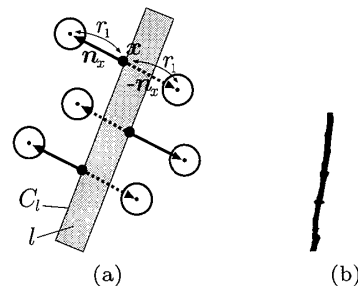


図10 遮へい領域の抽出 (a) 両側領域の輝度差の計算 (b) 遮へい領域抽出結果

Fig. 10 Extraction of the occluding regions (a) calculating the intensity difference between both side of the occluding regions. (b) an extraction result.

みなす.

候補領域  $l$  の輪郭線  $C_l$  上の点  $x$  での法線を  $n_x$  とする (図10(a)). そして輪郭  $C_l$  上の各画素において, 法線方向とその反対方向に距離  $r_1$  だけ離れて存在する点を中心とする半径  $r_3$  の局所円領域の平均輝度  $\bar{I}$  を計算する. ここで  $r_1$  は式 (1) で用いたものと同一である.

輪郭線は以下のようにして求める. まず候補領域  $l$  を白, それ以外を黒とする濃淡画像にCannyのエッジ検出手法を適用し, エッジ点とエッジ方向を求める. エッジとなった点の系列を輪郭線  $C_l$  とし, 各点におけるエッジ方向を輪郭線の法線とする.

各候補領域  $l$  の両側領域の平均輝度差  $D(l)$  は, この平均輝度  $\bar{I}$  の差の平均とし, 次式で表される.

$$D(l) = \frac{1}{N_l} \sum_{x \in C_l} (\bar{I}(x + r_1 n_x) - \bar{I}(x - r_1 n_x)) \quad (20)$$

ここで,  $\bar{I}(x)$  は画素  $x$  を中心とする局所円領域内の平均輝度,  $N_l$  は輪郭線  $C_l$  の画素数である.  $D(l)$  は, 各候補領域が遮へい領域であるかどうかを示す尺度であり,  $D(l)$  がしきい値  $th_{diff}$  より小さい候補領域を遮へい領域とする.

実際に, 図9(d)の画像に対して, しきい値  $th_{diff} = 20$  で遮へい領域を抽出した結果を図10(b)に示す.

## 5. 実験

本手法の有効性を確かめるために, 実画像に対して二つの実験を行った. 実験1では, 固定した背景に対して, それを遮へいする評価用画像 (遮へい領域の太さは5~6画素) を用意し, 抽出精度を評価した. 実

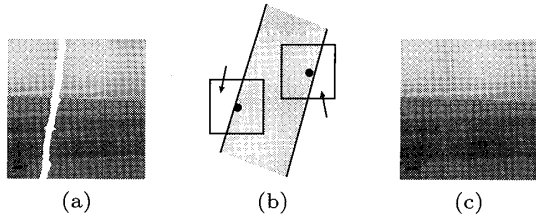


図 11 (a) 膨張した遮へい領域 (b) 除去した領域の輝度値の推定 (c) 補間結果

Fig. 11 (a) Extracted occluding regions. (b) In-painting occluding regions. (c) Interpolated result.

験 2 では、実際に遮へいされている風景画像に対して抽出と補間を行った。画像はすべてサイズ  $256 \times 256$  で階調値 256 の濃淡画像である。

### 5.1 遮へい領域の補間

ここでは、実験の際に用いた補間手法（抽出した遮へい領域を、その近傍領域の画素を用いて補間する簡単な方法）について述べる。

まず原画像中の遮へい領域を覆うように、抽出した遮へい領域を半径 1 の disk を用いた dilation（膨張）[14, p.873] を行う。図 9(a) と図 10(b) を用いて処理した結果を図 11(a) に示す。

次に、図 11(a) に白色で示す遮へい領域の補間を行う。本手法では、遮へい領域の近傍の画素の情報を用いて、遮へい領域の最も外側にある画素から補間する。まず、遮へい領域抽出画像に距離変換を施す。次に、最も外側にある距離 1 のある一つの注目画素を中心とする縦横  $5 \times 5$  の矩形領域を作成し、その中で背景領域上の画素の平均輝度を計算する（図 11(b)）。この値を注目画素の輝度値の推定値とする。これを距離 1 の全画素に対して行う。補間後の画像に対して再び処理を行い、距離が 1 となる画素がなくなるまで繰り返す。カラー画像に対しては、RGB 各色の濃淡画像に対して補間を行い、最後に 3 枚の画像を合成する。

実際に、図 11(a) の画像に対して補間を行った結果を図 11(c) に示す。

### 5.2 実験 1

本手法では、ユーザが設定すべきパラメータ ( $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $\lambda$ ,  $th_{bin}$ ,  $th_{area}$ ,  $th_{diff}$ ) が存在する。実験 1 では、抽出精度の定量評価により、パラメータの結果への影響について述べ、パラメータの決定方法について検討する。

今回、抽出精度の評価実験に用いた画像を図 12 に示す。まず、基準画像（図 12(a)）の背景の手前に黒

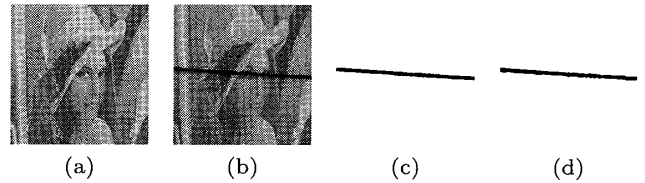


図 12 実験 1 (a) 基準画像 (b) 遮へい画像 (c) 差分画像  $S$  (d) 遮へい領域抽出画像  $T$

Fig. 12 Experiment 1 (a) background. (b) occluded image. (c) difference image  $S$ . (d) extracted occluding regions  $T$ .

色または白色のいずれか一方のひもを 1 本または複数本置き、背景とカメラを固定しひものみを様々に動かして 189 枚の遮へい画像（図 12(b)）を撮影した。撮影は屋内蛍光灯照明下で行い、影が出ないようにひもと背景を密着させるようにした。

そして、図 12(c) に示す差分画像（基準画像から遮へい画像の画素値を引き手動でしきい値を決定して 2 値化した画像）におけるひも領域の画素を、抽出すべき遮へい領域  $S$  とする。そして各遮へい画像に対して、本手法を用いて遮へい領域を抽出した領域を  $T$ （図 12(d)）とする。 $S$ ,  $T$  とともに、半径 1 の disk を用いた closing 処理 [14, p.869] を施しておく。

抽出精度の評価には、未検出率（false negative rate）と過検出率（false positive rate）[15] を用いる。

$$\text{falsenegativerate} = \frac{\#(S - T \cap S)}{\#(S)} \quad (21)$$

$$\text{falsepositiverate} = \frac{\#(T - T \cap S)}{\#(\bar{S})} \quad (22)$$

ここで  $\#(A)$  は領域  $A$  の画素数を表し、 $\bar{A}$  は  $A$  の補集合を表す。

図 13(a)~(d) にそれぞれのパラメータを変化させたときの未検出率と過検出率を、図 14, 図 15, 図 16, 図 17 に投票量などを可視化した画像を示す。これらはいずれも図 12 に対して処理した結果であるが、他の画像においても同様の傾向が見られた。

投票円の半径  $r_1$  は 2.3.3 でも述べたように、遮へい領域の太さ ( $w = 5 \sim 6$  画素) よりも大きくとればよい。しかし実際には、図 14 に示すように、遮へい物体に直交するような背景のテクスチャが存在する箇所（人物の右目の右横付近）では、 $r_1$  をかなり大きくとらなければ、投票量は減ってしまう。これは、ひも状の遮へい領域で投票量が大きくなるだけでなく、二つのひも状の遮へい領域が直交してできる四

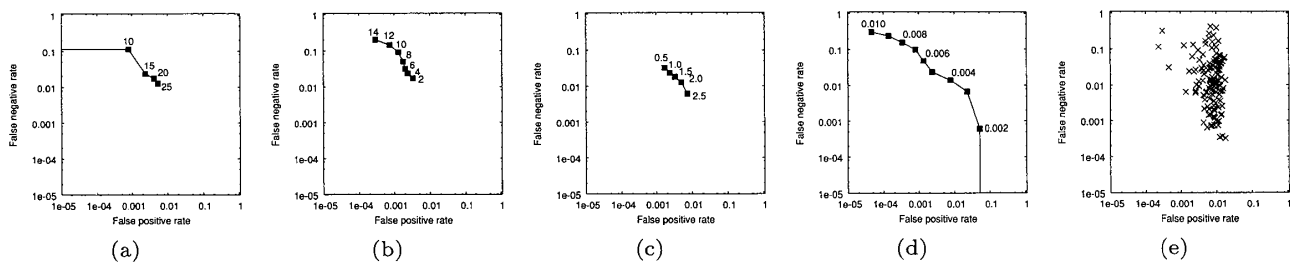


図 13 パラメータを変化させたときの遮へい領域抽出の未検出率（縦軸）と過検出率（横軸）のプロット. (a)  $r_1 = 5, 10, 15, 20, 25$  (b)  $r_2 = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14$  (c)  $\lambda = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$  (d)  $th_{bin} = 0.001 \sim 0.010$  (他のパラメータは  $r_1 = 15, r_2 = 4, r_3 = 2, \lambda = 1, th_{bin} = 0.005, th_{diff} = 100, th_{area} = 100$  で固定) (e) 189 枚の画像の抽出結果

Fig. 13 Plot of false positive rate (horizontal) versus false negative rate (vertical) of occlusion detection as parameters change (a)  $r_1 = 5, 10, 15, 20, 25$  (b)  $r_2 = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14$  (c)  $\lambda = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$  (d)  $th_{bin} = 0.001 \sim 0.010$  (the other parameters are fixed as  $r_1 = 15, r_2 = 4, r_3 = 2, \lambda = 1, th_{bin} = 0.005, th_{diff} = 100, th_{area} = 100$ ) (e) extraction results for 189 occluding images.

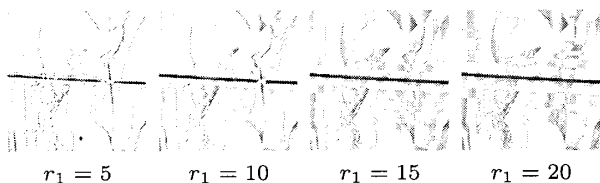


図 14  $r_1$  を変化させたときの  $v$  (黒いほど値は大きい)  
Fig. 14  $v$  as  $r_1$  changes. (darker is larger value)

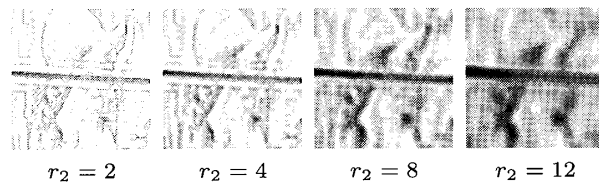


図 15  $r_2$  を変化させたときの  $g$  (黒いほど値は大きい)  
Fig. 15  $g$  as  $r_2$  changes. (darker is larger value)

隅でも投票量が大きくなってしまい、投票量の符号判別処理において、実際の遮へい領域の投票量が消えてしまうことがあるからである。図 13(a) から  $r_1$  が小さい場合には未検出率が高くなる傾向が見られ、 $r_1 > 15 = 3w$  以上では大きな変化がない。半径はできるだけ小さい方が計算コストが小さいため、遮へい領域の幅  $w$  に対して  $r_1 = 3w$  が適当であるといえる。

$r_2$  は、図 8 に示すような円が遮へい領域を覆うように設定すればよく、大きくしても遮へい領域ではない部分の投票量の変化を受けてしまう (図 15 参照)。また図 13(b) からは、 $r_2$  を大きくするにつれて未検出率が大きくなることが分かる。他の実験画像からも  $2w \geq 2r_2 \geq w$  程度で良い結果が得られているため、ここでは  $r_2 = 4$  とする。

強調処理のパラメータである  $\lambda$  は、大きくすると投票量が滑らかになりすぎるが、 $\lambda = 0.5 \sim 2.0$  では抽出処理結果にはあまり影響を与えない (図 13(c) 及び図 16) ため、 $\lambda = 1.0$  とする。両側輝度差のパラメータ  $r_3$  と  $th_{diff}$  は、図 12 のように背景に大きな輝度差をもつ領域がない場合にはほとんど結果に影響を与えないため、 $r_3 = 2, th_{diff} = 100$  に固定した。また小

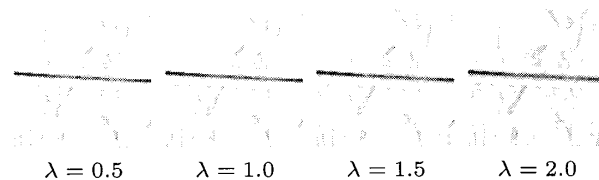


図 16  $\lambda$  を変化させたときの  $V$  (黒いほど値は大きい)  
Fig. 16  $V$  as  $\lambda$  changes. (darker is larger value)

領域面積除去のしきい値  $th_{area}$  は、画像中の遮へい領域に比べて小さく、また細かい領域を除去するのに十分な値として  $th_{area} = 100$  に固定した。

抽出結果に最も大きな影響を与えるパラメータは、強調投票量  $V$  の 2 値化のしきい値  $th_{bin}$  である。図 13(d) に  $th_{bin}$  を 0.001 から 0.01 まで 0.001 刻みで変化させたときの抽出精度を、また図 17 には対応する抽出結果を示す (ここでは  $V = 255$  を 1.0 に正規化して 2 値化している)。  $th_{bin}$  が小さいと、遮へい領域以外で投票量が大きい部分が抽出されて過検出率が大きくなり、逆に  $th_{bin}$  が大きいと未検出率が高くなる。図 13(d) から分かるようにこの画像の場合には 0.005 程度が適切であるが、遮へい物体と背景とのコントラストが同程度の場合、他の画像でも適切な抽出結果が得られ

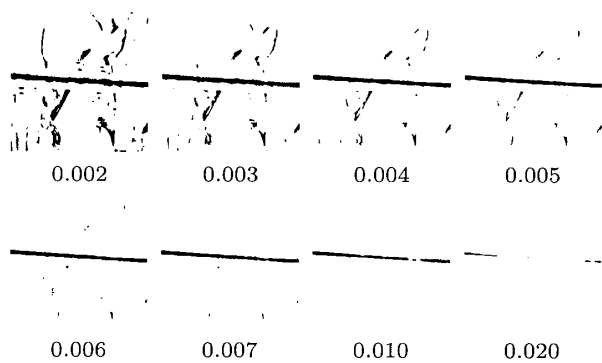


図 17  $th_{bin}$  を変化させたときの遮へい領域候補  
Fig. 17 Candidate regions extracted as  $th_{bin}$  changes.

ている。しかし、コントラストが変われば（投票量が変わり結果的に）適切な  $th_{bin}$  も変化してしまう。したがって、このパラメータは画像ごとに決定した方がより良い抽出結果が得られると思われる。

上記パラメータを用いて全 189 枚の実験画像を処理した結果を図 13 (e) に示す。未検出率が 0.01 以上のものは全体の 42%(80/189) であり、0.1 以上では 9%(17/189)、最大は 1 であった（画像中の端にわずかに存在している遮へい領域を全く抽出できなかったことが原因である）。また過検出率 0.01 以上（最大 0.017）は 34%(65/189)、0.001 以下は 2.6%(5/189) であった。本手法は画像補間を前提としているため、過抽出よりは未検出の方が問題となる。多少の過抽出があっても、補間される領域が大きくなるだけで、補間画像としてはあまり変化がない。上述した過抽出率 0.01（画素数にして約 650）は、実験画像の大きさではひも領域が 1 画素分太くなった程度であり、問題ないと思われる。しかし未抽出率 0.1 は、抽出されるべき領域が 1 割欠けているということであり、補間した画像の質にも影響を与える（図 18 参照）。今後は過抽出率を同程度に抑えつつ、未検出率を下げる方法を検討する必要がある。

### 5.3 実験 2

また、実験 2 で実画像 33 枚に対して抽出と補間を行った結果の一部を図 18 に示す。実験 1 で示したように、適切なパラメータを決定するためには遮へい領域の幅が与えられなければならない。そのためそれぞれの画像における遮へい領域のおよその幅をあらかじめ測定し、パラメータを設定した。測定した幅と使用したパラメータを図 18 に示す。図 18 の 5 段目の枝は太さが一定ではないため、最も太い部分を基準にパラメータを設定した。

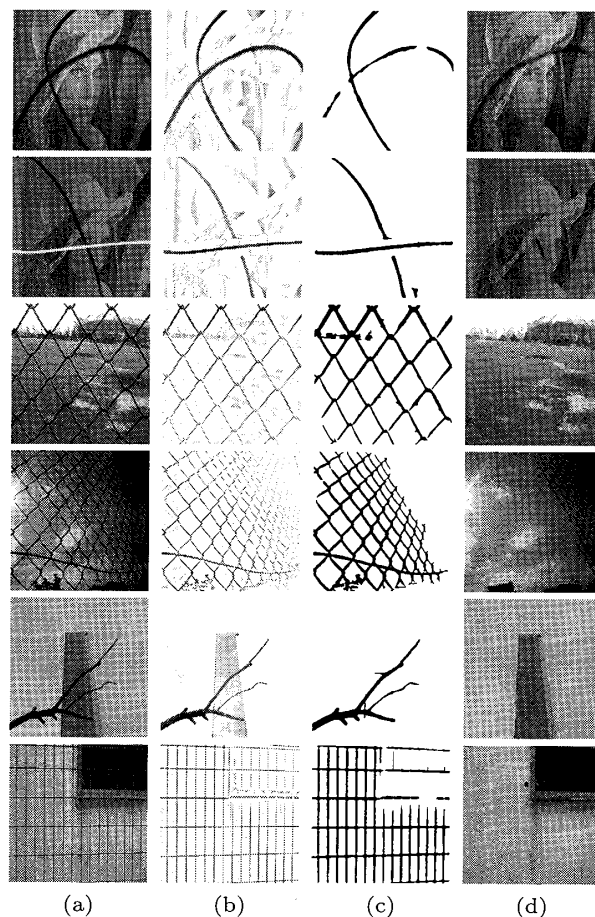


図 18 実験 2 (a) 原画像 (b) 投票量 (c) 遮へい領域抽出結果 (d) 補間結果。幅とパラメータ ( $w, r_1, r_2, r_3$ ): (上から順に) (7,21,4,2), (5,15,4,2), (4,12,3,2), (2,6,2,1), (2~12,36,7,2) (2,6,2,1) (他のパラメータは  $\lambda = 1, th_{bin} = 0.005, th_{diff} = 100, th_{area} = 100$  で固定)

Fig. 18 Experiment 2 (a) original image. (b) voting. (c) extraction result. (d) interpolated image. The width and the parameters are ( $w, r_1, r_2, r_3$ ): (from top to bottom) (7,21,4,2), (5,15,4,2), (4,12,3,2), (2,6,2,1), (2~12,36,7,2) (2,6,2,1). (the other parameters are fixed as  $\lambda = 1, th_{bin} = 0.005, th_{diff} = 100, th_{area} = 100$ )

実験結果から、背景領域と遮へい領域のコントラストの差が大きい画像では、良好に遮へい領域を抽出できることが確認できた。しかし、遮へい領域と背景領域のコントラストの関係が変化する境界領域付近（図 18 の 2 段目の白と黒のひも領域の交差部分など）では、遮へい領域上の画素であっても、投票処理の際に輝度差の和が相殺されてしまうため、投票量が小さくなるという問題があった。

処理時間は 1.3GHzCPU の PC で、1 枚の画像に対して抽出に約 4 秒 ( $r_1 = 15, r_2 = 4$  の場合)、補

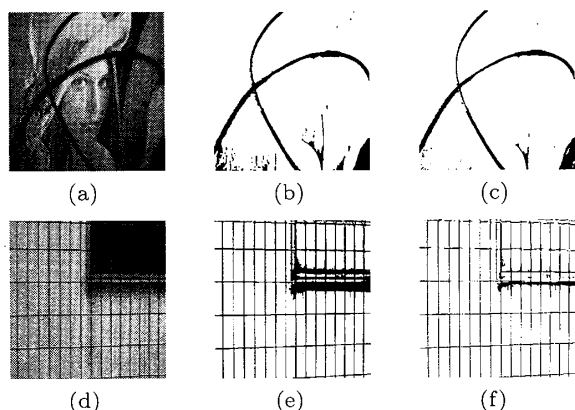


図 19 本手法と 2 値化，領域分割の比較 (a)(d) 原画像 (b)(e) 2 値化処理結果 (c)(f) 領域分割処理結果

Fig. 19 Comparison with binarization and segmentation (a)(d) original images. (b)(e) binarized images. (c)(f) extraction with segmentation.

間に約 1 秒要した．抽出では，投票量の計算に大半の時間を費した．

#### 5.4 抽出に関しての考察

本手法では，特徴量に輝度のみを用いているため，遮へい領域とその近傍領域の輝度差の大きい画像に対しては，遮へい領域の抽出を行うことができる．しかし，遮へい領域と近傍領域の輝度差が大きい場合であれば，2 値化や領域分割でも遮へい領域を抽出することができるのではないかと疑問が生じる．例えば，図 19(a) のように，遮へい領域とその近傍領域の輝度差の明確な画像に対しては，図 19(b) と図 19(c) に示すように 2 値化や領域分割でも遮へい領域をある程度抽出することが可能である．ここでは，2 値化のしきい値（上限と下限）は手動で与え，領域分割は  $k$  平均法 ( $k = 5$ ) を用い，遮へい領域に対応する領域を手動で選択した．一方，図 19(d) の右上の領域のように，遮へい領域と近傍領域の輝度差の小さなところでは，2 値化処理ではしきい値の設定が難しく，精度良く抽出することができない（図 19(e)）．また，遮へい領域が細いため，領域分割では十分に連結された領域を抽出することが困難である（図 19(f)）．本手法を図 19(a)，図 19(d) に対して適用した結果は図 18 に示してある．図 20 に，これらの抽出結果の抽出精度を示す（抽出すべき領域は手動で選択した）．本手法の結果はパラメータ（特に  $th_{bin}$ ）に依存するため，画像が異なると過検出率も大きく異なっているが，未検出率は 2 値化や領域分割と大きく変わらないことが分かる．しかし抽出結果の画像を見ると，2 値化や領域分割では遮へい領域に対応していない部分（図 19(b)，

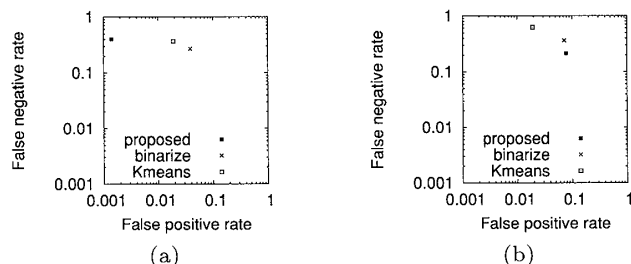


図 20 本手法と 2 値化，領域分割の定量的な比較 (a) 図 19(a) の抽出結果 (b) 図 19(d) の抽出結果

Fig. 20 Quantitative comparison with binarization and segmentation (a) result of Fig. 19(a). (b) result of Fig. 19(d).

(c) では画像右下の領域，図 19(e)，(f) では窓の棧の影部分など）が抽出されてしまっているが，本手法ではそのような部分は投票量が大きくなるため，抽出されることはない．またその他の手法では，本手法と同様の領域を抽出することはない．例えば直線検出によく用いられるハフ変換では，図 18 の 1 段目のような任意の曲線領域は扱えない．エッジ検出器の代表である Hueckel オペレータ [16] や群化により線状領域を検出する Tensor Voting [17] などでは，細い線を抽出することは可能であるが，図 18 の 5 段目のような太さが異なる領域にそのまま適用することは困難である．更に，上記の手法では図 18 の 6 段目のように背景領域が遮へい領域よりも明るい部分と暗い部分が混在していたり，図 18 の 2 段目のように遮へい領域に明るい部分と暗い部分が混在する場合には同時に扱うことはできない．このような遮へい領域と背景領域の関係にあっても遮へい領域が抽出できることが本手法の特徴であり，他の手法に比べて有効であるといえる．

また本手法の投票処理は，注目画素とそれを中心とする円周上の画素との輝度差の和をとるものである．注目画素と円周上の画素のコントラストの関係が同一円周上で変化する場合には，輝度差の和が相殺されてしまい，遮へい領域上の画素でも投票量が小さくなってしまうという問題が生じる．この問題を解決するために，注目画素と円周上の画素との輝度差が最も小さくなる方向を，ひも状の遮へい領域が伸びる方向として認識し，現在は画素ごとに独立に行っている投票処理を，隣接画素間で相互依存させるなどの処理に拡張する必要があると考えられる．

更に，ラベリングの処理時に物理的に異なる物体の領域が連結してしまうという問題も生じた（図 18 上

から3段目など)。そのため、遮へい候補領域の両側領域の輝度差が大きくなってしまい、遮へい物体でない領域が抽出されることがあった。このため、原画像のエッジや境界線の情報を用いることを検討する必要がある。

## 6. む す び

本論文では、画像中から細長いひも状の遮へい物体領域を抽出するための、遮へい領域と背景領域で符号が異なるような輝度差の投票方法とその符号の選択法を提案した。また実画像による定量的な評価と定性的な評価を行い、細長いひも状の形状をもつ遮へい領域を、画像中から精度良く抽出できることを示した。

また抽出した遮へい領域の補間に関しては、本手法の主要部分ではないため、簡単な補間方法を用いて背景を復元したが、画像のテクスチャが複雑でなければ、補間した領域にはあまり視覚的な違和感がない補間できることを確認した。しかし背景のテクスチャが複雑な場合は補間結果にぼけが含まれてしまう。今後はテクスチャ情報を用いた補間方法の導入を検討する予定である。

本手法は、領域の特徴量として現在は輝度のみしか用いていないため、遮へい領域と背景領域の輝度差があまりに小さな画像に対しては、遮へい領域を抽出することができない。今後は、領域の特徴量として、カラー情報やテクスチャ情報、形状情報等の導入を検討する必要がある。また、ラベリング時に領域が互いに連結してしまう問題についても検討する。

## 文 献

- [1] M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles, and C. Ballester, "Image inpainting," SIGGRAPH2000, pp.417-424, 2000.
- [2] 天野敏之, 佐藤幸男, "固有空間法を用いた bplp による画像補間," 信学論 (D-II), vol.J85-D-II, no.3, pp.457-465, March 2002.
- [3] 小川貴弘, 長谷川美紀, 北島秀夫, "オブティカルフローを用いた静止画像における失われた輝度値の復元," 信学論 (D-II), vol.J87-D-II, no.9, pp.1786-1795, Sept. 2004.
- [4] J. Jia and C.-K. Tang, "Image repairing: Robust image synthesis by adaptive nd tensor voting," CVPR03, vol.1, pp.643-650, 2003.
- [5] A.N. Hirani and T. Totsuka, "Combining frequency and spatial domain information for fast interactive image noise removal," SIGGRAPH96, pp.269-276, 1996.
- [6] I. Drori, D. Cohen-Or, and H. Yeshurun, "Fragment-based image completion," ACM Trans. Graph., vol.22, no.3, pp.303-312, 2003.
- [7] S. Boukir and D. Suter, "Application of rigid motion geometry to film restoration," ICPR02, vol.1, pp.360-363, 2002.
- [8] 宮田晃次, 田口 亮, "プロッチによって劣化した動画画像信号に対する一復元手法," 信学論 (D-II), vol.J81-D-II, no.8, pp.1912-1919, Aug. 2001.
- [9] 山下 淳, 金子 透, 蔵本昌之, 三浦憲二郎, "視野妨害となる画像中の水滴ノイズの除去," 画像ラボ, vol.12, pp.1-5, 2002.
- [10] 鈴木 博, 玉木 徹, 山本正信, "画像復元のための周期的な遮へい物体の除去," 信学論 (D-II), vol.J87-D-II, no.5, pp.1189-1192, May 2004.
- [11] 山泉 亘, 鈴木 博, 玉木 徹, 山本正信, "周期的遮へい物体認識の自動化," 信学信越講論集, pp.305-306, 2004.
- [12] O. Carmichael and M. Hebert, "Shape-based recognition of wiry objects," CVPR2003, vol.2, pp.401-408, 2003.
- [13] 山崎郭滋, 偏微分方程式の数値解法入門, 森北出版, 1993.
- [14] 高木幹雄, 下田陽久 (編), 新編画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 2004.
- [15] 鷺見和彦, 関真規人, 波部 斉, "物体検出 — 背景と検出対象のモデリング," 情報技報 CVIM, vol.2005, no.88, pp.79-98, 2005.
- [16] M. Hueckel, "A local visual operator which recognizes edges and lines," J. ACM, vol.20, no.4, pp.634-647, 1973.
- [17] G. Medioni and P. Mordohai, "The tensor voting framework," in Emerging Topics in Computer Vision, ed. G. Medioni and S.B. Kang, pp.191-255, 2005.  
(平成 17 年 12 月 19 日受付, 18 年 4 月 17 日再受付)



玉木 徹 (正員)

平 8 名大・工・情報卒。平 10 同大大学院工学研究科情報工学専攻博士課程前期課程了。平 13 同専攻博士課程後期課程了。同年新潟大学工学部情報工学科助手。平 15 同大大学院自然科学研究科助手。現在、広島大学大学院工学研究科情報工学専攻助教授。画像処理、コンピュータビジョンの研究・教育に従事。博士 (工学)。情報処理学会、映像情報メディア学会、IEEE 各会員。



鈴木 博

平 15 新潟大・工・情報卒。平 17 同大大学院自然科学研究科博士前期課程了。画像処理に興味をもつ。



山本 正信 (正員)

昭 48 九工大・工・制御卒。昭 50 東工大大学院修士課程了。同年、電総研（現産総研）入所。動画像処理、コンピュータビジョン等の研究に従事。平元～2 カナダ国立研究協議会招聘研究員。昭 62 年情処学会研究賞受賞。現在、新潟大学工学部情報工学科教授。工博。情報処理学会，IEEE CE 各会員。