

# ハウズドルフ距離による近赤外線画像からの夜間歩行者検出

前淵啓材 原田祥吾 呉海元 和田俊和

† 和歌山大学システム工学部 〒 640-8510 和歌山市栄谷 930 番地

E-mail: †{maebuchi,harada,wuhy,twada}@vrl.sys.wakayama-u.ac

あらまし 車載用近赤外線カメラで撮影された画像は、歩行者が着る服の模様や背景等、余分なエッジが少なく、人物の輪郭におけるエッジが検出されやすい。本論文では、エッジ情報を用いたハウズドルフ距離により、人物の輪郭テンプレートとのマッチングに基づく夜間における歩行者検出法を提案する。本論文の提案手法として、HOG を近赤外線画像用のもの (Ni-HOG) に改良し、歩行者検出の正確性とリアルタイム性を追求するために、2 段階で探索を行う。初めに、幾何学の制約より検索範囲とサイズを限定し、Ni-HOG と Real-AdaBoost を用いて歩行者候補を検出する。これによって、検出精度の向上と誤検出率の抑制だけでなく、処理の高速化も実現できる。続いて、検出された歩行者候補を初期クエリとして、事前にハウズドルフ距離によって構築された擬似最近傍探索グラフを利用し、最も近いテンプレートを選択することによって、歩行者と非歩行者を高速に識別する。実画像を用いた実験結果より、従来手法と比較し、提案手法を用いた場合、誤検出を半分以上まで抑えることが確認できた。

キーワード 夜間歩行者検出, 近赤外線画像, ハウズドルフ距離, Ni-HOG

## 1. はじめに

歩行者と自動車との交通事故により、多くの犠牲者がいる。特に夜間の死亡率は、昼間と比べ、5 倍も高いという調査結果が得られている。このことから夜間における歩行者検知システムは必要であると考え、夜間走行のドライバーの視覚を支援するため研究が多数行われている [12-18]。夜間歩行者を高速かつ正確に検出することを本研究の目的とする。

一般の可視カメラでは昼間と比べると夜間は人物や街のシーンがほとんど写らないことから、本研究では近赤外線カメラを用いる。近赤外線カメラは、前方に向かって波長 780nm から 3000nm までの近赤外線を投射し、その反射光を撮影素子で受光することによって、画像を生成する。

歩行者検出方法として、HOG アルゴリズムが有名であるが、未学習の環境で撮影された画像から人物における検出率と背景における誤検出率の両立が一般的に困難である。

我々は、近赤外線カメラで撮影された画像は、歩行者が着る服の模様や背景の細かなテクスチャ等は写りにくいという特徴と歩行者の領域は背景と比べ明るく写るといふ 2 つの特徴に注目する。これらの特徴から近赤外線画像から人物の輪郭を中心としたエッジを抽出しやすく、エッジの勾配方向は 0 度から 360 度まで利用可能と考えられる。

本論文では、エッジ情報を用いたハウズドルフ距離により、人物の輪郭テンプレートとのマッチングに基づく夜間歩行者検出法を提案する。歩行者検出の正確性とリアルタイム性を同時に追求するために、以下の 3 つの工

夫を行う。

1. 近赤外線画像用の HOG (Ni-HOG) を提案する
2. 幾何制約のある Ni-HOG より歩行者候補を検出する
3. 事前に構成された擬似最近傍探索グラフより歩行者候補を検証する

幾何制約について考察すると、自動車と衝突危険性のある歩行者は必ず路面上を歩く。また、画像内の歩行者の大きさは透視投影の制約に従う。本論文では、車に固定されたカメラの焦点距離と地面に対するチルト角が校正済みと仮定する。画像から検出された路面平面内の消失点を基づいて、Ni-HOG と Real-AdaBoost で歩行者候補を検出する時、探索範囲とサイズを限定する。このことから、検出の効率化と誤検出の抑制の両立が可能になる。検出率を保証するために、第 1 段階では、閾値を緩めに設定した識別器から歩行者候補を絞る。続いて、その歩行者候補と人物の輪郭テンプレートとのハウズドルフ距離を計算することによって誤検出を除外する。しかし、多数用意している人物の輪郭テンプレートと全歩行者候補との距離を測定すると処理時間が嵩んでしまうため、事前に構築された擬似最近傍探索グラフを用いることによって、最短パスで検証が実現可能になり、処理時間の短縮に繋がる。提案手法の流れを図 1 にまとめる。本稿では、2 章で消失点、3 章では Ni-HOG、4 章では Real-AdaBoost、5 章ではハウズドルフ距離、6 章では擬似最近傍探索グラフの手法について述べる。7 章で評価実験を行い、有効性を確認する。

## 2. 消失点による歩行者存在範囲の特定

3 次元空間内の平行線を画像平面に射影した時、直線

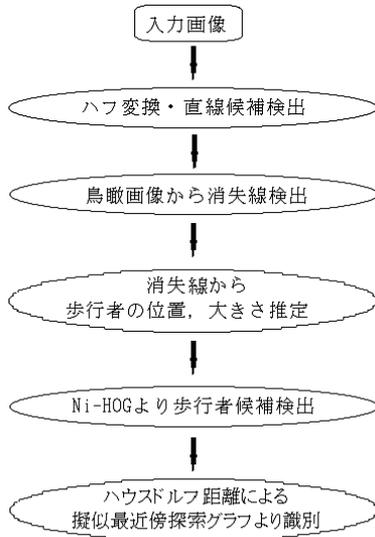


図1 提案手法の流れ

を延ばすと一点で交わる．この点を消失点と呼ぶ．本論文では，車に設置された近赤外線カメラが道路平面に対してチルト角のみ回転すると仮定する．このことから道路平面内の平行線を検出することによって，消失点を求めると消失線が推定でき，道路平面の法線方向を求めることができる．更に，歩行者の身長を仮定し，カメラの焦点距離と路面に対するチルト角が既知であれば，路面平面の消失点と消失線を検出することによって，画面上における歩行者の大きさを推定することができる．

消失点を検出するためには地面上の平行線を検出しなければならない．しかし，3次元空間内の一般直線と道路平面内の平行線を区別することは困難である．そこで，本論文では，[2]より真上から見た鳥瞰画像を作成し，平行関係にあった直線のみ道路平面内の平行線として抽出する．

抽出した地面平面の平行線の組の交点から消失点と消失線を決定する．消失点と消失線から歩行者の画面上の大きさをワールド座標系と画像座標系との関係から導出する．ワールド座標系と画像座標系との関係式を式(1)に示す．

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{z} \begin{bmatrix} f & 0 & I_{x_c} \\ 0 & f & I_{y_c} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & y_c \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで， $y_c$  はワールド座標系におけるカメラの高さとする． $f$  はカメラの焦点距離， $\theta$  はカメラのチルト角をそれぞれ表す． $I_{x_c}$  と  $I_{y_c}$  は画像中心の座標である．式(2)を画像内の歩行者の大きさ  $y$  について解く．

$$y = \frac{z(f \sin \theta - (I_{y_c} - I) \cos \theta) - f y_c}{(I_{y_c} - I) \sin \theta + f \cos \theta} \quad (2)$$

$I$  は画像中の  $Y$  座標値とする．ここで， $I$  が画像中の歩

者の足元の座標値  $I_b$  の時，3次元空間における高さは0である．よって，物体の奥行き  $z$  は式(3)で求められる．

$$z = \frac{f y_c}{f \sin \theta - (I_{y_c} - I_b) \cos \theta} \quad (3)$$

式(3)を式(2)に代入する．歩行者の頭上の座標値を  $I_t$  とする．

$$y = \frac{f y_c (f \sin \theta - (I_{y_c} - I_t) \cos \theta)}{(f \sin \theta - (I_{y_c} - I_b) \cos \theta) - f y_c} \quad (4)$$

ここで，カメラのチルト角が小さい場合， $\cos \theta = 1$ ， $\sin \theta = \theta$ ， $\theta = \frac{I_{y_c} - v_0}{f}$  で近似できる． $v_0$  を消失点の  $Y$  座標値とし，近似式を式(5)に示す．

$$y \approx y_c \frac{I_t - I_b}{(v_0 - I_b)(1 + I_{y_c} - v_0)(I_{y_c} - I_t)/f^2} \quad (5)$$

チルト角が小さければ， $I_{y_c} - v_0 \approx 0$  と近似できる．また， $I_t - I_b$  は歩行者の大きさを表している．歩行者の大きさを  $h$  とすると式(5)は以下で近似できる．

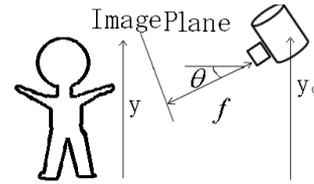


図2 カメラパラメータと歩行者の大きさの関係

$$y \approx y_c \frac{h}{v_0 - I_b} \quad (6)$$

よって，マスクサイズ  $h$  を使う場合，次式から歩行者の存在範囲が限定できる．

$$I_b = v_0 - \frac{y_c h}{y} \quad (7)$$

以上により，消失点によって歩行者の検索範囲と大きさを限定することができる．

### 3. 近赤外線画像用 HOG(Ni-HOG)

#### 3.1 従来の HOG

HOG は影や照明の変化を受けにくく，局所的な幾何学変化に頑強という性質を持つ．この性質から歩行者検出にはよく用いられる．図3に示すように，画像をセルとブロックに分割する．セルは画素の集まり，ブロックはセルの集まりのことを指す．各セルに  $m$  求めた勾配強度  $m$  と勾配方向  $\theta$  から勾配方向ヒストグラムを作成する．各画素の勾配方向  $\theta$  と勾配強度  $m$  は以下で求められる．

$$m(x, y) = \sqrt{f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y)} \quad (8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{f_y(x, y)}{f_x(x, y)} \quad (9)$$

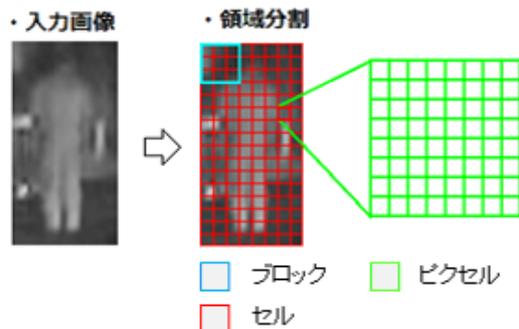


図3 HOGのセルとブロックの定義

ここで、 $f_x(x, y)$  と  $f_y(x, y)$  は x 方向と y 方向の輝度値の勾配を表しており、画像の座標値  $(x, y)$  の輝度値  $I(x, y)$  から計算する。

$$f_x(x, y) = I(x + 1, y) - I(x - 1, y) \quad (10)$$

$$f_y(x, y) = I(x, y + 1) - I(x, y - 1) \quad (11)$$

式 (9) から得られる勾配方向は 0 度から 360 度となっている。従来の HOG では服装などの影響を受けず、勾配の向きを考慮しないように 0 度から 180 度に直す。20 度毎に分割し、9 つの BIN になった勾配方向ヒストグラムの各 BIN に勾配強度を投票する。つまり、勾配方向の角度を 9 方向になるように量子化し、各方向に強度を重みとして与える。

k 番目のブロックの特徴量を  $V_k$  とする。正規化した特徴ベクトル  $v$  とすると、高次元の特徴ベクトルが式 (12) より求まる。正規化はブロック単位で行い、 $f_h$  は各ブロックに対応するヒストグラムの BIN である。

$$v = \frac{f_h}{\sqrt{\|V_k\|_2^2 + \varepsilon^2}} \quad (12)$$

ここで、 $\varepsilon$  は 0 割を防止するための係数である。

### 3.2 近赤外線画像用 HOG(Ni-HOG)

本論文で利用する近赤外線画像は近赤外線を投射し、反射光を撮影素子で作成するため、歩行者の領域と周辺背景と比べ、比較的明るく映る特徴がある。従って、勾配方向も有力な情報として考慮した方が人物検出の精度が上がる。

近赤外線画像用の HOG(Ni-HOG) では、投票する勾配方向を 180 度から 360 度にする。また、それに伴い投票する BIN 数を 9BIN から 18BIN に変更する。

### 4. カスケード型歩行者候補識別器

Real-AdaBoost とは統計的学習手法の一つである。歩行者と非歩行者の Ni-HOG 特徴量を用いることにより、夜間歩行者検出用の識別器を構築できる。Real-AdaBoost の出力値が実数であり、識別具合が判る。このことから、重みの更新が可能となり、AdaBoost と比べ、学習の収縮

が早く、弱識別器数を減らすことができる。

検出を行う上で、検出対象と検出対象外では検出対象外の方が多い。よって、判断基準の厳しい識別器で検出すると処理時間が膨大になる。そこで、カスケード型歩行者候補識別器を用いる。カスケード型歩行者候補識別器は強識別器を連結し、最初は判断基準を緩く、判断できない場合はより判断基準の厳しい識別器で処理する。この方法を用いることで処理時間を短縮することができる。

本論文では Real-AdaBoost で学習し、Ni-HOG 特徴量である強識別器を作成する流れについて図 4 に示す。

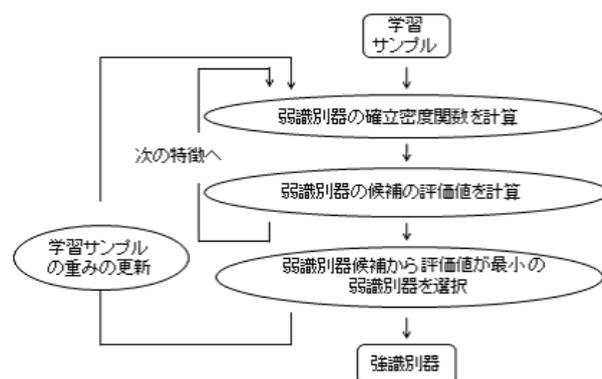


図4 RealAdaBoostの流れ

また、作成した強識別器を複層連結することによって、最終的に歩行者候補を検出できるカスケード型歩行者識別器を構築する (図 5 参照)。

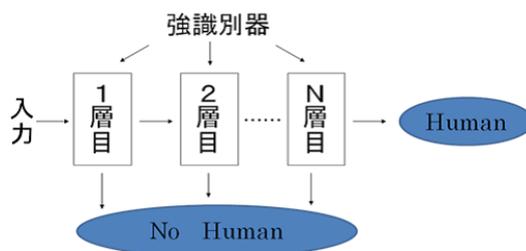


図5 カスケード型歩行者識別器

## 5. ハウズドルフ距離

### 5.1 ハウズドルフ距離

ハウズドルフ距離 [4][5] は任意の画像 A と画像 B のエッジから 2 つの図形の形状間の相違度を測定する手法である。本論文では、画像 A を入力画像 (歩行者候補の範囲) とし、画像 B を歩行者のテンプレートとする。図 6 の (a) はテンプレート、(b) は入力画像を示す。(c) の赤い矢印がテンプレートから入力画像までの最大相違度を示す。一方、(d) の赤い矢印は入力画像からテンプレートまでの最大相違度を示す。(c) と (d) の相違度が共に十分小さい場合、入力画像内の図形とテンプレートが一致す

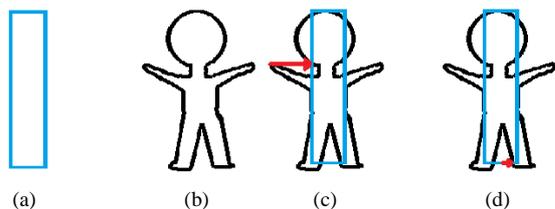


図 6 画像間のハウスドルフ距離 (a) テンプレート, (b) 入力画像, (c) フォワード距離  $h(A, B)$ , (d) リバース距離  $h(B, A)$

ることが保証される。

テンプレート画像  $A$ , 入力画像  $B$  から検出したエッジ情報の集合を  $A = (a_1, a_2, \dots, a_p)$ ,  $B = (b_1, b_2, \dots, b_q)$  とする。この時、集合  $A$  と集合  $B$  のハウスドルフ距離は以下の式 (13), 式 (14), 式 (15) で定義することができる。図 6(c) の赤矢印が式 (13), (d) の赤矢印が式 (14) に対応している。式 (15) が集合  $A$  と集合  $B$  のハウスドルフ距離である。

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (13)$$

$$h(B, A) = \max_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\| \quad (14)$$

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (15)$$

ハウスドルフ距離は集合間の最大最小距離を測定する方法であり、2 方向から測定することによって、形状間が大幅に異なるものでも形状間が若干しか変化していないものでも相違度を画素単位で検出することが可能である。

$h(A, B)$  を集合  $A$  から集合  $B$  までの最大最小距離 (フォワード距離),  $h(B, A)$  を集合  $B$  から集合  $A$  までの最大最小距離 (リバース距離) をそれぞれ測定した距離である。それぞれ求めた 2 方向間の距離から最大値をハウスドルフ距離とする。(図 6 参照)

本論文では、近赤外線画像から人物の輪郭を抽出しやすいく、背景における煩雑なエッジ点が少ないと考え、ハウスドルフ距離によるテンプレートマッチングで Ni-HOG によって検出された人物の矩形領域を識別する。具体的な流れを図 7 に示す。

## 5.2 パーシャルハウスドルフ距離

ノイズや対象物以外のエッジが対象物と外れた場所に発生した時、ハウスドルフ距離はノイズの影響を受けやすい。ハウスドルフ距離は最大最小距離を取っているからである。ハウスドルフ距離は不要なエッジがないと仮定すると厳密に相違度を測定することができるが、実画

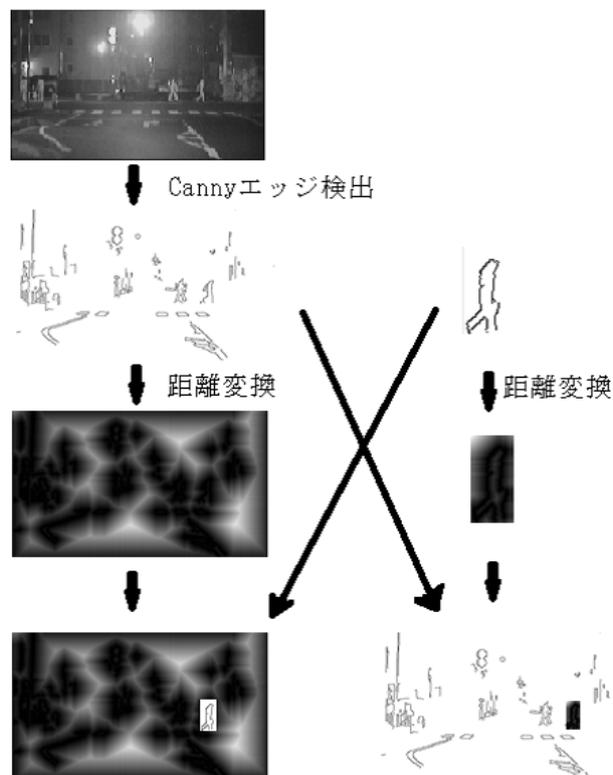


図 7 ハウスドルフ距離によるテンプレートマッチング

像において、対象物以外の物質は数多く存在し、厳密にハウスドルフ距離を測定することは困難である。また、形が全く同じ人間は存在せず、動作は常に変わる。そこでノイズや歩行者の動きに耐え得る検出を行うために式 (13), 式 (14) を変換する。

$$h_K(A, B) = K^{th} \min_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (16)$$

$$h_K(B, A) = K^{th} \min_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\| \quad (17)$$

$$H(A, B) = \max(h_K(A, B), h_K(B, A)) \quad (18)$$

式 (16) から求められる距離をパーシャルフォワードハウスドルフ距離, 式 (17) から求められる距離をパーシャルリバースハウスドルフ距離と呼ぶ。最短距離の最大値をではなく、 $K$  番目に大きい値を取ることによって、 $K - 1$  個のノイズに耐えることができる。

なお、 $K$  の決め方は一般的にエッジの総数から比率で求める。 $K$  について式 (19) に記述する。

$$f_H = \frac{K}{N} \quad (19)$$

ここでは 0 から 1 までの値とする。パラメータ  $f_H$  を変えることによって、幅広くハウスドルフ距離を使うことができる。

## 6. 擬似最近傍探索グラフを用いた歩行者候補の検証

検出された歩行者候補を歩行者と非歩行者に識別する必要がある。しかし、マルチテンプレートマッチングを行った場合、処理時間が嵩む。この問題を解決するために、本論文では、擬似最近傍探索グラフを構築し、用いることによって最短パスで検証する方法を提案する。

### 6.1 擬似最近傍探索グラフの構築

まず、様々な姿勢の人物の輪郭テンプレートを収集する。次に用意された多数のテンプレートをノードとし、テンプレート間のハウスドルフ距離を測定する。テンプレート同士のハウスドルフ距離が近い場合、エッジを繋ぐことにより、擬似最近傍探索グラフを構築する。擬似最近傍探索グラフの構築例について図8に示す。

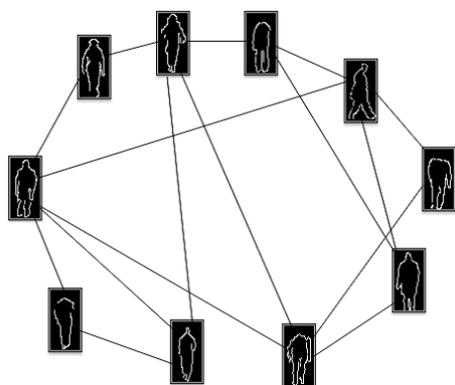


図8 擬似最近傍探索グラフ構築例

### 6.2 擬似最近傍探索グラフを用いた歩行者候補の検証

歩行者候補を入力画像とし、初期ノード(テンプレート)とハウスドルフ距離を測定し、そのハウスドルフ距離を初期値  $I$  とする。続いて、隣接するノード(テンプレート)と歩行者候補のハウスドルフ距離を計算する。 $I \leq h$  の時、 $h$  を  $I$  に代入し、ノードへ移動する。全ハウスドルフ距離が  $I < h$  の時、非歩行者と判定して処理を終了する。 $threshold \leq h$  の時、歩行者として処理を終了する。 $threshold < h$  の時、再び隣接するノードとのハウスドルフ距離を計算する。これを再帰的に繰り返す。

## 7. 評価実験

提案手法の有効性を確認するため、近赤外線カメラで撮影された画像を用いて夜間歩行者検出の実験を行った。

### 7.1 実験環境とパラメータ

実験パラメータについて記述する。

撮影した近赤外線画像は  $640 \times 360$  画素である。学習データに含まれていない画像をテスト画像として用いた。

HOG と Ni-HOG のセルのサイズは  $8 \times 8$  ピクセル、ブロックのサイズは  $3 \times 3$  セルとした。学習サンプルは Positive Data が 4000 枚、Negative Data が 6000 枚とする。また、構築したカスケード識別器による層数は 7 層とする。

また、今回歩行者検出を行う上で、検出対象は車前方 40m から 100m の範囲とする。そこで、使用したテンプレート、マスクサイズはそれぞれ、 $16 \times 32$  画素、 $19 \times 38$  画素、 $23 \times 46$  画素、 $27 \times 54$  画素、 $32 \times 64$  画素、 $38 \times 76$  画素、 $46 \times 92$  画素、 $56 \times 112$  画素とする。人物の輪郭テンプレートの作成方法については、歩行者を矩形領域を手動で切り抜き、Canny Edge Detector を用いて、エッジを検出する。背景に入るノイズについては手動で削除するものとする。人物の輪郭テンプレートは前後方向、左方向と右方向に歩いている人物画像の 3 通りを用意した。

消失点から歩行者の画面上での位置を特定するに当たり、歩行者の身長を 1.7m、カメラの高さを 1.3m とした。

### 7.2 消失点による探索範囲の限定結果

2章で述べた方法から、消失点を導出した結果例を図9に示す。図9中の赤線が求めた消失線を示す。この座標値が式(7)の  $v_0$  となる。



図9 消失線の結果例

$v_0$  から式(7)を用いて、足元の位置による限定された探索サイズを図10と図11に示す。図10図、11は、それぞれテンプレートサイズ  $16 \times 32$  画素と  $46 \times 92$  画素と対応している。



図10 範囲限定画像(16 x 32 画素)



図11 範囲限定画像(46 x 92 画素)



図 12 入力画像



図 13 従来の HOG の結果



図 14 Ni-HOG による結果



図 15 Ni-HOG と消失点による幾何制約の結果



図 16 提案手法の結果

### 7.3 HOG と Ni-HOG による歩行者検出の比較実験

HOG と Ni-HOG による歩行者検出の比較実験を行った。実験結果画像例を図 12 から 16 に示す。構築されたカスケード型歩行者識別器より歩行者候補と判断した領域を赤枠で囲う。

図 13 は従来の HOG の結果画像であり、図 14 は勾配方向を 360 度まで拡張した Ni-HOG の結果画像である。比較すると、人物は共に検出できているが、Ni-HOG の誤検出は大幅に減少している。

消失点を導入した結果を図 15 に示す。消失点から範囲を狭めることにより、誤検出を更に削減することができた。

図 15 の誤検出は明らかに歩行者とエッジの形が異なる。このことから、擬似最近傍探索グラフを用いた結

果、ハウズドルフ距離は大きくなり、非歩行者と判定し、除外することができた。提案手法の結果画像を図 16 に示す。

### 7.4 実験結果

実験内容として、検出対象の画像は 400 枚とする。この画像は未学習画像である。検出対象人数 321 人として 1) 従来の HOG, 2) 近赤外線カメラの特徴を考慮し、勾配方向を 360 度まで拡張した Ni-HOG, 3) 消失点から範囲を限定したハウズドルフ距離による擬似最近傍探索グラフ, 4) 消失点から範囲を限定した Ni-HOG, 5) 提案手法 (消失点から範囲を限定した Ni-HOG とハウズドルフ距離による擬似最近傍探索グラフ) による検出を行った。それぞれの検出結果について表 1 にまとめる。評価方法については検出率、未検出率、誤検出率で表す。評価式を以下に示す。

$$\text{検出率} = \frac{\text{歩行者検出数}}{\text{検出対象数}}$$

$$\text{未検出率} = 1 - \text{検出率}$$

$$\text{誤検出率} = \frac{\text{誤検出数}}{\text{全検出数}}$$

表 1 に示す実験結果について比較する。従来の HOG と 360 度に拡張した Ni-HOG の歩行者検出結果を比較すると、検出率が若干向上しつつ、未検出率、誤検出率、共に減少していることから 360 度に拡張した方が有効で

表1 歩行者検出結果の比較

	検出率	未検出率	誤検出率
HOG	53.47	46.53	89.11
Ni-HOG	53.89	46.11	70.54
消失線+擬似最近傍探索グラフ	44.42	55.58	64.71
消失線+Ni-HOG	53.70	46.30	56.32
提案手法(消失線+Ni-HOG+ 擬似最近傍探索グラフ)	52.33	47.67	42.30

あることが確認できた。

提案手法では、消失線に基づいて探索領域を制限し、Ni-HOGで歩行者候補を検出して、ハウズドルフ距離による擬似最近傍探索グラフを用いた結果、検出率が若干下がったが、誤検出率を従来のHOGより半分以上下げることができた。

## 8. ま と め

本稿では近赤外線画像を対象とした夜間歩行者の検出方法を提案した。提案手法では、HOGを近赤外線画像用(Ni-HOG)に改良した上で、Ni-HOGとReal-AdaBoostを用いて、カスケード型の歩行者識別器を構成した。また、誤検出率を削減するため、消失線で探索範囲とサイズを制限した上で歩行者候補の検出を行った。そして検出された歩行者候補を初期クエリとして、ハウズドルフ距離による擬似最近傍探索グラフから最も近い歩行者の輪郭テンプレートを選択し、そのテンプレートを用いて、歩行者候補を歩行者と非歩行者に識別した。実画像の実験結果より、提案手法の有効性を確認した。

## 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(c)(一般)21500171の補助を受けている。

## 文 献

- [1] N.Dalal and B.Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," CVPR, vol.1, pp.886-893, San Diego, CA, USA, July.2005
- [2] 呉海元, 和田俊和, 陳謙, "ロボットのボディを利用したカメラキャリブレーション," 情報処理学会論文誌, Vol.2003, no. 2, pp61-69, Jan.2003
- [3] 安藤寛哲, 藤吉弘巨, "人検出結果に基づくカメラの自己キャリブレーションと3次元位置推定," GID,2009
- [4] William J.Rucklidge, "Locating Objects Using the Hausdorff Distance," IEEE, pp.457-464, Cambridge, MA, USA Jun.1995
- [5] Dong-Gyu Sim, Oh-Kyu Kwon, and Rae-Hong Park, "Object Matching Algorithms Using Robust Hausdorff Distance Measures," IEEE, VOL8, No3, pp.425-429, Seoul Korea, Mar.1999
- [6] 齋藤裕昭, 萩原剛志, 畑中健一, 澤井孝典, "遠赤外線カメラを用いた歩行者検知カメラの開発," SEI テクニカルレビュー, no.169, pp.80-85, July.2007
- [7] 坂垣内洵也, 和田俊和, 加藤文和, "近さ優先探索グラフを用いた実時間対象追跡・認識," 画像の認識・理解シン

- ポジウム 2005(MIRU2005), no. 7, pp16-23, July.2005.
- [8] D. Hoiem, A. A. Efros, and M. Hebert, "Putting Objects in Perspective", International Journal of Computer Vision, vol.80, No.1, 2008
- [9] F.Lv, T.Zhao, R.Nevatia, "Camera Calibration from Video of a Walking Human," IEEE, pp1513-1518, VOL.28, NO.9, Los Angeles, CA, USA, Sept.2006
- [10] Tomio Echigo, "A Camera Calibration Technique using Three Sets of Parallel Lines," Machine Vision and Applications, pp159-167, Tokyo Japan, April.1989
- [11] Tomasi, C., Manduchi, R., "Bilateral filtering for gray and color images," ICCV, pp.839-846, Bombay, India, Jan.1998
- [12] Broggi, A., Fedriga, R.L., Tagliati, A., "Pedestrian Detection on a Moving Vehicle: an Investigation about Near Infra-Red Images," Intelligent Vehicles Symposium, pp431-436 Tokyo Japan, Jun.2006
- [13] Hui Cao, Koichiro Yamaguchi, Takashi Naito, and Yoshiki Ninomiya, "Pedestrian Recognition Using Second-Order HOG Feature," ACCV, pp.439-449 Queenstown New Zealand Nov.2010
- [14] Thi Thi Zin, Pyke Tin, and Hiromitsu Hama, "Bundling Multislit-HOG Features of Near Infrared Images for Pedestrian Detection," Innovative Computing, Information and Control (ICICIC), pp302-305, Kaohsiung Taiwan, Dec.2009
- [15] Junfeng Ge, Yupin Luo, Gyomei Tei, "Real-Time Pedestrian Detection and Tracking at Nighttime for Driver-Assistance Systems," Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, vol.10, no.2, pp.283-298, June.2009
- [16] Jianfei Dong, Junfeng Ge, Yupin Luo, "Nighttime Pedestrian Detection with Near Infrared using Cascaded Classifiers," Image Processing, 2007. ICIP2007. IEEE International Conference on, vol.6, pp.VI-185-VI-188, Oct.2007
- [17] Ronan O'Malley, Edward Jones, Martin Glavin, "Detection of pedestrians in far-infrared automotive night vision using region-growing and clothing distortion compensation," Infrared Physics & Technology, vol.53, pp.439-449, Nov.2010
- [18] Soga M, Hiratsuka S, Fukamachi H, Ninomiya Y, "Pedestrian Detection for a Near Infrared Imaging System," ITSC2008. 11th International IEEE Conference on, pp.1167-1172, Oct.2008