

カメラ間人物照合における S T H O G 特徴の可視化と解析

柏本 雄士朗¹ 村松 大吾¹ 八木 康史¹

概要: 映像内の人物の検出や、カメラ間の人物照合を行う際に有効な特徴量の一つに、STHOG 特徴がある。この STHOG 特徴は、物体の形や模様、動き方など多くの情報を表現できる特徴量であり、シルエットに基づく特徴のような正確な人物領域抽出が不要であるという特長がある。しかしながら、STHOG 特徴は特徴量と元画像との対応や、特徴量において表現された内容が直観的に理解しづらいという問題点があり、抽出された STHOG 特徴の確認や実験結果の考察などが困難である。本研究では STHOG 特徴の確認や考察を行いやすくするため STHOG 特徴の可視化方法を検討する。可視化においては失敗例の考察や想定された特徴を抽出できているかの確認などの異なる用途に応じた可視化方法を提案する。

1. はじめに

昨今、防犯カメラの設置数が急増しており、街中や駅、観光施設などの公共の場所や、ショッピングモールやスーパーマーケットなどの商業施設には様々な場所に多くの防犯カメラが存在し、それらはそれぞれ大量の人物の映像を記録している。それらの防犯カメラは心理的効果による犯罪行為の抑止だけでなく、犯罪捜査においてはその映像に映った人物や車両から犯人の特定やそれによる逮捕に至る事例も最近では増えている [1, 2]。

防犯カメラを用いた犯罪捜査の中でも、複数のカメラ間で人物の対応付けを行い特定の人物の追跡を行う技術は、犯人と思しき人物の移動経路の特定や、犯人特定の手掛かりとなる証拠映像の発見につながり、重要な技術のひとつである。しかし、カメラ間の人物照合を人手で行う場合、対象となる防犯カメラの組み合わせの数や撮影時間に比例して対象となるデータが増加するため、その処理には極めて膨大な労力と時間が必要となる。しかし、動員できる人員や時間には限りがあるため、関係しうる映像全てを確認することは実質不可能である。そのため、自動的にカメラ間の人物照合を行い、特定の人物を複数カメラ間で追跡できる技術が求められる。また、犯罪捜査の分野以外においてもカメラ間人物照合技術は人々の動きの流れを解析することができ、それによる大型商業施設やイベントなどにおける店舗やブースの配置の効率化や、観光施設や災害時などにおける混雑の予測やそれに基づいた混雑の緩和など様々な分野への応用が期待できる。そのため、多くの手法が提案されている。

計算機によってカメラ間人物照合を実現させるための手法としては、色の情報を用いた手法 [5–11] やテクスチャの情報を用いた手法 [13–16]、及びそれらを組み合わせた手法 [17–24] が多く提案されており、文献 [25] では、これらの手法の比較が報告されている。これらは対象となる人物の服装や荷物の色・模様注目した手法であるため、類似した色の服を着ている人物が複数存在する場合には誤った対応が生じやすく、カメラ間での照明環境の違いにより色の見え方が違う場合や、照明が暗い場合などは色情報をうまく取得できず、精度が劣化すると考えられる。

それに対し、人物の歩き方に注目し個人を識別する歩容認証は、体型や姿勢、動作の違いを個人の特徴として利用することで同一人物か否かの判別を行う手法であり、カメラ間での人物照合にも利用可能である。歩容認証は、前述のような色情報やテクスチャ情報が有効でなかったり、或いは正確な情報を取得できない状況でも比較的頑健であり、照合の精度の向上が期待できる。ただし、歩容認証の主流な手法であるシルエットに基づく方法は、映像内の人物領域と背景領域を分けるセグメンテーションと呼ばれる処理を前提としており、認証の精度はセグメンテーションによって作られるシルエットの品質に大きく依存する。このセグメンテーションの処理は、実環境における利用を想定した場合、計算機のみで高精度の処理を安定的に行わせることは難しく、複数のカメラの映像から得られる大量の人物の映像に対して行うには現状困難を伴う。そこで、カメラ間人物照合における歩容特徴としては時空間画像の空間と時間それぞれの勾配方向と勾配強度から作成したヒストグラムである STHOG (Spatio-Temporal Histograms of Oriented Gradient) 特徴が提案されている [26–28, 33]。

¹ 大阪大学
Osaka University

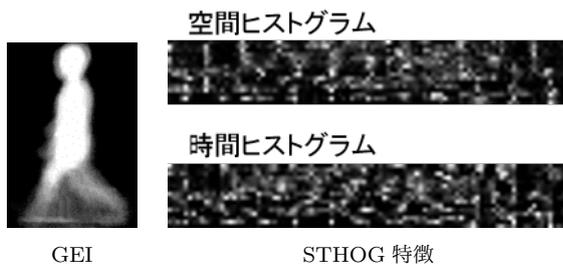


図 1 歩行映像データベースの映像例

STHOG 特徴は人物のシルエット抽出を必要とせず、得られた画像列から直接計算することができる。また、STHOG 特徴は歩行者の検出にも用いられる特徴量であり [26]、歩行者の検出とその歩行者の特徴量の抽出を共通の特徴量で行うことが可能であり効率の良い手法の構築も期待できる。これらの点から、STHOG 特徴はカメラ間人物照合に使用するのに適していると言える。

しかし、色のヒストグラムでは対象となった人物の服装の色が、シルエットに基づく歩容特徴では人物の体形・姿勢・歩幅・手の振れ幅などが、それぞれ単純な出力方法でも理解しやすく、それにより正しく特徴量の抽出を行っているかの確認や照合の失敗時の原因考察を、特徴量レベルで行いやすいのに対し、STHOG 特徴は単純な表現方法では人間にとっては理解しづらいものになってしまう。例えば、図 1 の右側は、後述する STHOG 特徴におけるヒストグラムの値を画素の輝度値として表現したものであるが、図 1 の左側のシルエットに基づく歩容特徴に比べ、どのような画像から特徴が抽出されたのかが分かりづらい。このため、STHOG 特徴を用いた研究では実験結果の考察は難しい。また、観測視点が異なる映像間での人物照合では、視点の違いを考慮して照合を行う必要があり、シルエットに基づく歩容認証において有用性が報告されている方向変換モデル [3,4] が STHOG 特徴においても有用であると考えられるが、方向変換モデルを用いて STHOG 特徴の視点変換された特徴の評価が直観的に難しく結果の確認や考察を行うことが困難である。これらの問題点は人物照合の精度そのものには直接影響を及ぼさないものの、STHOG 特徴を用いた研究におけるデータの確認や結果の考察を困難とする要因となっている。

そこで、本研究では今後のカメラ間人物照合の研究や STHOG 特徴を用いた他の研究において、抽出した特徴の確認や得られた結果の考察を円滑にするため、STHOG 特徴の可視化方法の工夫・改善を行うことを目的とする。

2. 関連研究

2.1 色やテクスチャの情報による人物照合

人物の服装情報を主として注目していると考えられる色やテクスチャに基づいたカメラ間人物照合の手法は、様々な特徴量に基づいた研究が行われている。

Nakajima ら [5]、赤塚ら [6]、本田ら [7]、Cheng ら [10]、Cai ら [11] は色のヒストグラムを利用することを提案している。これらのヒストグラムは各色がどの領域に基づくものかという空間的情報を捨てて作成されるため、上半身か下半身どちらの服の色情報を取得しているかなどの区別ができず、十分な識別能力が得られない。

これに対し Bird ら [8] は分割した人物領域ごとの色特徴を、Lin ら [9] は上半身と下半身などの分割した人物領域も情報に組み込んだ色特徴を用いることで空間的な情報を考慮した色情報を照合に利用することを提案している。

他にテクスチャの情報を用いた研究としては、Hamdoun ら [13] らが特徴点ベースの手法を、Bak ら [14] らが Haar-like 特徴を、Wang ら [15] が HOG 特徴 [12] を用いた手法を提案している。

また、色情報とテクスチャの情報を、各特徴による結果の統合や機械学習による重み付けやなど様々な手法により組み合わせて使用している研究も複数存在する [17-24]。

色情報やテクスチャ情報を用いたこれらの手法の欠点として、スーツや制服などの類似した服装の人物が複数存在する場合や、カメラ間における照明の変化や暗い環境においては情報がうまく取得できず、照合精度が低下することが考えられる。

2.2 STHOG 特徴による人物照合

物体の動きと形状を表現できる STHOG 特徴も近年カメラ間人物照合における特徴量として使用されており [26-28,33]、川合らは、STHOG 特徴と色特徴を組み合わせることでより高い識別性能を得ている [26]。このように 2.1 章で述べた情報に対し、STHOG 特徴は空間的情報である位置情報と時間的情報である動き情報の両方を考慮しているため組み合わせることで動きの情報を補うことができる。

ただし、STHOG 特徴は抽出された特徴量として表れるものが直観的に分かりづらく、研究において理解や考察を行いづらいという問題点がある。そこで、この問題に対し本研究では STHOG 特徴の分かりやすい可視化方法を工夫することで STHOG 特徴を使用した研究の円滑化を図ることを目指す。

3. STHOG 特徴

3.1 STHOG 特徴の概要

STHOG 特徴とは、画像内の勾配強度 $I(x, y) = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$ と勾配方向 $\phi(x, y) = \tan^{-1}(I_y/I_x)$ から作成されたヒストグラムを特徴量とする HOG 特徴 [12] を時空間画像に拡張したものである。

対象の人物が映っている画像のウィンドウをいくつかのセルに分割し、時空間画像から得られる空間勾配方向と時

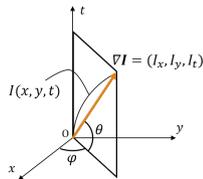


図 2 勾配強度 I と勾配方向 ϕ , θ のイメージ図

間勾配方向についてセル毎にヒストグラムを作成．そして最後に作成したヒストグラムをいくつかのセルの集まりであるブロックごとに正規化する．その各ヒストグラムの値をベクトルとして並べたものが STHOG 特徴における特徴ベクトルである．空間勾配方向は対象とする人物の形状特徴，時間勾配方向は対象とする人物の動きの特徴をそれぞれ表現できる．

連続した 3 枚の画像を t_{-1} , t_0 , t_1 とし，これらの画像から STHOG 特徴を求める場合，特徴量は以下のように計算する．各軸における勾配 I_x, I_y 及び I_t はそれぞれ

$$I_x = t_0(x+1, y) - t_0(x-1, y) \quad (1)$$

$$I_y = t_0(x, y+1) - t_0(x, y-1) \quad (2)$$

$$I_t = t_1(x, y) - t_{-1}(x, y) \quad (3)$$

$$\nabla I = [I_x, I_y, I_t]^T \quad (4)$$

と書ける．ここで， $t_0(x, y)$ とは画像時刻 t_0 の座標 (x, y) におけるピクセルの輝度値を意味し， $t_{-1}(x, y)$ 及び $t_1(x, y)$ は一時刻前及び後の座標 (x, y) における輝度値を示す．これらを用いて，勾配強度 I と，前述の空間勾配方向 ϕ ，時間勾配方向 θ を以下のように定義する．

$$I(x, y, t) = \sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_t^2} \quad (5)$$

$$\phi(x, y, t) = \tan^{-1}\left(\frac{I_y}{I_x}\right) \quad (6)$$

$$\theta(x, y, t) = \tan^{-1}\left(\frac{I_t}{\sqrt{I_x^2 + I_y^2}}\right) \quad (7)$$

そして， ϕ と θ をそれぞれの階級とし，ピクセル毎のエッジの勾配強度 I を該当する階級に投票することで 1 つのセル毎に空間と時間の 2 つのヒストグラムを作成する．その後，複数のセルの集まりであるブロック毎に各ヒストグラムの正規化を行う．

なお，本研究で使用する STHOG 特徴は，セルサイズを 8(ピクセル)×8(ピクセル)×3(フレーム)，ヒストグラムを正規化する単位であるブロックサイズを 2(セル)×2(セル)×1(セル)，ウィンドウサイズを 88(ピクセル)×128(ピクセル)×3(フレーム) (11(セル)×16(セル)×1(セル)) としている (図 3 参照)．

また，空間・時間の勾配方向はそれぞれ $0^\circ \leq \phi < 180^\circ$ ， $0^\circ \leq \theta < 180^\circ$ とし，9 段階のビンに分けてヒストグラ

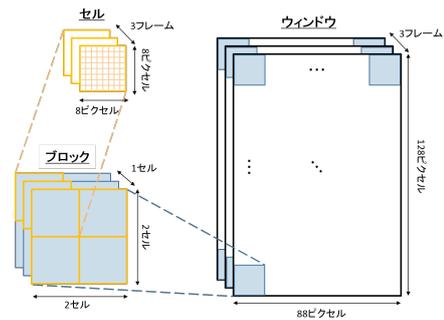


図 3 セル，ブロック，ウィンドウのイメージ図

ム化した．これらにより，ウィンドウ内にセルは 11(セル)×16(セル)×1(セル) から 176 個存在し，それぞれのセルは，9 個のビンがあるヒストグラムを空間と時間の 2 つずつ持っているため，1 つのウィンドウの特徴量は $176 \times 9 \times 2$ より 3168 次元空間で表現できる．

3.2 STHOG 特徴の可視化の必要性

単純に STHOG 特徴を画像特徴として表現した場合，図 1 の右のようになる．STHOG 特徴間の相違度は，空間ヒストグラムどうしと時間ヒストグラムどうしの差により求められる．この表現方法では画像特徴の比較により計算ができる．その意味で，この特徴表現は STHOG 特徴そのものである．しかし，この特徴表現では，STHOG 特徴が元画像の特徴をうまく表現できているのかや，どのような特徴が表現されているのか，などの STHOG 特徴を理解し，考察するために必要な情報を読み取ることは極めて困難である．そのため，STHOG 特徴の分かりやすい可視化は，STHOG 特徴の理解や STHOG 特徴を使用した研究を円滑に進めるうえで必要となってくる．

ここで，図 1 の STHOG 特徴を分かりにくくしている要因は大きく 2 つ存在すると考えられる．

まず，1 つ目は元の画像とのセルの位置や勾配方向などの空間的な対応が取れていない点である．STHOG 特徴は各セルが元画像上のピクセルの集まりを示しているため，元画像との対応を取りやすくすることで，元画像の状態が STHOG 特徴にどのように現れているのかをより理解しやすくなると考えられる．

2 つ目は空間ヒストグラムと時間ヒストグラムを同一の方法で出力していることである．この 2 つのヒストグラムは計算方法が類似しており関連性はあるものの，元画像内の「物の形」と「物の動き」という別のものをそれぞれ表現しており，性質が異なる．そのため，可視化の工夫を試みる場合，それぞれのヒストグラムに合った可視化を行う必要があると考えられる．

4. 提案する可視化

STHOG 特徴の可視化方法を説明するにあたり，本論文

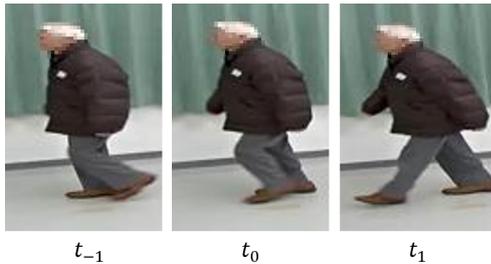
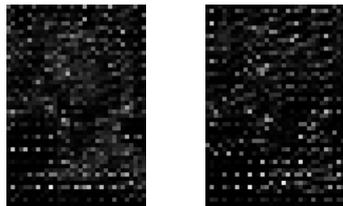
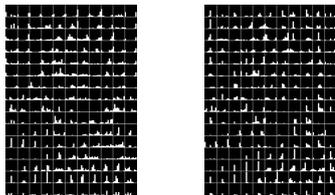


図 4 例として使用する画像列



空間ヒストグラム 時間ヒストグラム

図 5 縦横比を合わせた画像形式の STHOG 特徴



空間ヒストグラム 時間ヒストグラム

図 6 各セル内でヒストグラムを描画した STHOG 特徴

では図 4 の画像を用いる。

3 章で述べた通り、可視化した画像と元画像との対応付けを行いやすくするためには、縦横比やセルの位置関係は可能な限り元画像と合わせる。

これを踏まえて、STHOG 特徴の縦横比を画像として出力する際に、そのサイズを元画像に合わせたものが図 5 である。図 5 は各セルを 3×3 の 9 つの領域に分け、9 つの領域に $0^\circ \sim 20^\circ$, $20^\circ \sim 40^\circ$, ..., $160^\circ \sim 180^\circ$ の勾配方向をそれぞれ割り当て、各勾配方向の勾配強度を輝度値で表現し対応するセル領域に記述したものである。

また、セルの境界を分かり易くするために線で区切り、各セルの横／縦方向にそれぞれ勾配方向と勾配強度を取り、各セル内にヒストグラムの形で出力したものが図 6 である。この方法では、勾配強度が高さとして表現されるため、輝度値で表現するのに比べて勾配強度の大小が分かりやすく、セルどうしを重ねて比較する場合に向いている。

しかし、これらはいずれも勾配強度が大きい方向や元画像の状態と表現された特徴の対応が分かりづらい。

そのため、STHOG 特徴により表現される特徴を理解しやすく可視化するための方法を本章では議論していくが、その前に STHOG 特徴の空間ヒストグラムと時間ヒストグラムそれぞれの持つ性質について検討を行う。

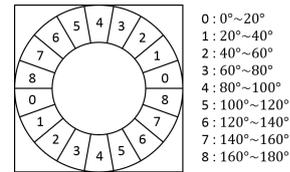
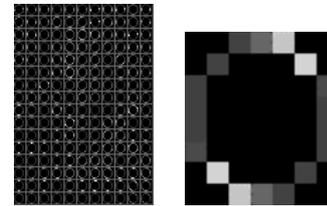


図 7 4.1.1 章の可視化方法における各セルのイメージ図



全体 1つのセル

図 8 4.1.1 章の可視化方法

4.1 空間ヒストグラムの可視化

空間ヒストグラムでは、勾配方向は元画像のエッジの方向と関連する。そのため、二次元の画像として可視化を行う場合、勾配方向を各セル内におけるエッジと対応させる可視化方法が有効であると考えられる。

4.1.1 勾配方向に対応したヒストグラム

この方法は、勾配方向とヒストグラムの描画する方向を一致させたものである。

具体的な方法は、図 7 のように各セル内において、セルの中心から見た角度が 20° 刻みとなるように 0 番～8 番までの 9 種類 18 個の領域を取る。そして、それぞれの領域に、対応する勾配方向の勾配強度を輝度値として表現する。これにより、空間ヒストグラムの勾配方向が画像上で対応する場所と方向に表示されるため、各セル内の勾配の出方が確認しやすくなる。また、今回の空間勾配方向は $0^\circ \sim 180^\circ$ であるため、それぞれの勾配方向に対応する中心から見た方向は図 7 のように 180° 違いで 2 か所ずつ現れる。この可視化方法により出力された画像が図 8 である。

この方法では STHOG 特徴が本来持っている情報量を減らすことなく表現することができるが、その一方で人間にとって情報量が多すぎ、より単純化が求められる。しかし、各セルにおいては、どの勾配方向が強くて出ているかが分かりやすい利点がある。

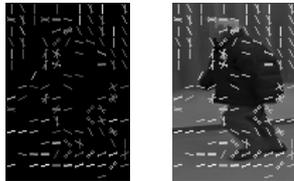
4.1.2 一定以上の強度を持つ輝度勾配の描画

重要度が高い情報を残し、重要度の低い情報を取り除くことは、物の本質をとらえる際に有効である。そこで、一定以上の強度を持つ輝度勾配のみを用いてエッジを描画する方法を検討した。この方法では、空間における人物の輪郭線などの画像全体の主要な線が把握しやすくなることが期待される。

この表現方法は HOG 特徴の可視化においてよく使用されているものであり [29–31]、STHOG 特徴の中から主要な空間勾配のみを強調して可視化できる。具体的な方法とし



図9 “一定以上の強度を持つ輝度勾配の描画”
 における線分の描画方法



可視化画像 元画像との比較

図10 “一定以上の強度を持つ輝度勾配の描画”の可視化結果

ては、ある一定より大きい勾配強度を持つ勾配方向に対して、図9のようにその勾配方向に対して垂直な線分をセル内に描画するというものである。図10はこの表現方法でSTHOG特徴を可視化したものであり、正規化後の勾配強度が0.25以上の輝度勾配を持つエッジのみを描画したものである。描画された線分の輝度値は勾配強度を示している。

この方法は描画する情報を絞っているため、詳細に解析したい場合には適さないが、全体的な空間の情報を掴みやすい。また、他の表現方法に比べて特徴描画に利用されている画素の割合が少なく、元画像と重ねて表示しても可視性を損なわない。例えば、図10の右図を見れば人物の輪郭部分が描画されているのが確認できる。また、人の目には元画像では勾配が目立たない背景においてもSTHOG特徴においては勾配が出ていることが確認できる。このように、全体の大まかな対象物の形状や背景領域のノイズの有無などが分かりやすい。

4.2 時間ヒストグラムの可視化

時間ヒストグラムの勾配方向は、時間勾配の強度と空間勾配の強度の比を正接の逆関数により角度として表したものである。そのため、元画像における平面と時間軸による三次元の情報となり、空間ヒストグラムで行ったような可視化の方法では、勾配方向が元画像上でのエッジ方向と対応しない。

例えば、図11は一定以上の強度を持つ輝度勾配を描画したものであるが、勾配の有無やその勾配強度は理解しやすい元画像との比較も行いやすい一方で、描画される勾配の方向と実際の時間勾配が一致しない画像となってしまう。つまり、描画された線分と物体の動きの方向との間に関連性があるわけではなく、勾配方向に関しては誤解を招きやすい表現となってしまう。

時間ヒストグラムの可視化において重要なことは、時間ヒストグラムにおける主な勾配方向が90°に近い部分であ

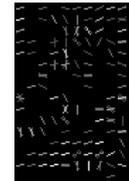


図11 “一定以上の強度を持つ輝度勾配の描画”による
 時間ヒストグラムの可視化

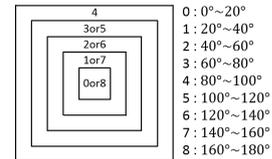


図12 動きの大きな部分を強調する可視化方法における各セルのイメージ図

る元画像での動きが大きいとされた部分を分かりやすく表示するという点と、大きい勾配強度を持つセルとその勾配方向を分かりやすくする点であると考えられる。

この章ではそれを踏まえて、それぞれの狙いに基づいた可視化方法を提案していく。

4.2.1 動きの大きな部分を強調する可視化方法

動きの大きさを画像上に表現するために、動きの大きさを画像における領域の大きさと対応させる。つまり、勾配方向が90°に近い、動きの大きな部分に対応させる領域を大きく、0°や180°といった動きの小さな部分に対応させる領域を小さくする。

具体的には、図12のように各セルを5つの領域に分割し、各領域において対応する勾配方向のうち勾配強度の大きさがある一定以上のものを、その勾配強度を領域の輝度値として表現する。この表現方法により可視化したSTHOG特徴が図13である。

図13では歩行者に対して大きく動いている部分である、背景部分の一部^{*1}や歩行者の足や腕の部分に明るい四角形が表れている。また、図13の中央部など、動きは小さいが空間勾配強度が大きい上半身のエッジは小さな明るい点として表れている。このように、元画像における動きの大きさが分かりやすくなっており、歩行者の足や腕の動きの確認に利用しやすい。一方で人物照合では、動きが少ないが勾配強度が大きい勾配も相違度計算に大きな影響を与えるが、この方法ではそういった勾配は強調されず、その様な箇所の確認には向いていない。

4.2.2 勾配の方向と強度を色で表現する可視化方法

勾配強度の大きい勾配方向の違いを強調するために、勾配方向を色の違いと対応させる。

具体的には、図14のように各勾配方向にその方向と対

^{*1} 今回用いた3枚の画像はそれぞれの画像で検出された人物領域に基づき設定されているため、背景領域は変化することになり、この方法は文献[32]とは異なる。

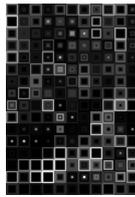


図 13 動きの大きな部分を強調する可視化方法

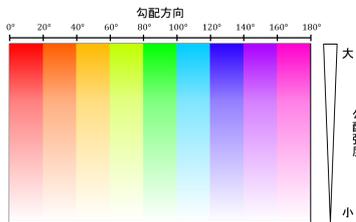


図 14 色による可視化方法における勾配方向・勾配強度と色の関係



図 15 色による可視化方法

応付けた色相を勾配強度にその強度と対応付けた彩度を持つ色を与え、各セルをそのセルにおける最大の勾配強度を持つ勾配方向の色で表現する。これにより、1つの勾配強度が大きいセルはより鮮やかな色で表され、その色によって勾配方向も見分けられる。この可視化方法により出力された画像が図 15 である。

動きの大きい場所だけでなく、各セルにおける支配的な勾配方向とその大きさが表現される。この可視化方法では歩行者に対して比較的動きの大きい下半身や背景の一部は緑色に近い色で、動きの少ない上半身は赤色や桃色に近い色で出る。

また、大きな勾配強度を持つ勾配方向が色によって一目で分かるため、空間ヒストグラムにおいても背景部分のノイズを確認するのにも有効である。

5. 可視化を用いた考察

この章では 4 章で提案した可視化の方法を実装したアプリケーションを用いて Hazem らの手法 [33] により高齢者を対象としたカメラ間人物照合の実験*2を考察する。

この実験は、STHOG 特徴を用いることで、あらかじめ用意された屋内の人物歩行映像の中から撮影された屋外の人物歩行映像と一致する人物を判定するというものである。以降、屋外の人物歩行映像をプローブ、屋内の人物歩

*2 本実験は大阪大学産業科学研究所研究倫理委員会の承認を得た上で実施しているものであり、被験者からは、実験に関する説明を行った上で、実験参加・データの撮影、解析等に関し、書面にて同意を得ている。

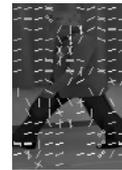


人物 A の空間ヒストグラム 人物 A の時間ヒストグラム



人物 B の空間ヒストグラム 人物 B の時間ヒストグラム

図 16 プローブ画像の可視化



人物 C の空間ヒストグラム 人物 D の時間ヒストグラム



人物 C の空間ヒストグラム 人物 D の時間ヒストグラム

図 17 ギャラリー画像の可視化

行映像をギャラリーと呼ぶ。

5.1 輝度勾配の描画による STHOG 特徴の確認

実験に用いられた幾つかの画像の空間ヒストグラムと時間ヒストグラムを 4.1.2 章の輝度勾配の描画による方法で元画像の上に重ねて可視化した。そのうちのプローブの画像 2 つとギャラリーの画像 2 つを、それぞれ図 16 と図 17 に示す。

図 16 と図 17 からは、プローブとギャラリーの両方で人物部分より背景部分に多くの勾配が出ているのが確認でき、さらに背景部分に発生している勾配は不安定なものになっている。これは Hazem らの手法 [33] が、各画像において自動検出された人物領域に基づき STHOG 特徴を計算していることと関係する。このような背景部分のノイズの多さや不安定さは照合の精度に悪影響を及ぼしていると考えられ、何らかの方法で背景の影響を低減する必要がある。

また、背景の影響を低減した後の STHOG 特徴に対して、今回と同様の可視化方法による低減処理前との比較を行えば正しく処理が行われているかを確認しやすく、背景ノイズの確認に対する有用性を示している。

5.2 人物照合失敗の原因考察

図 18,19,20 は Hazem らの手法 [33] で人物照合に失敗し

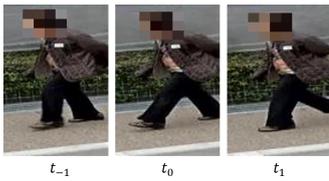


図 18 プローブ (人物 E)

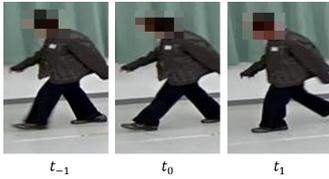


図 19 本人ギャラリー (人物 E)

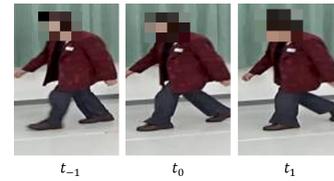
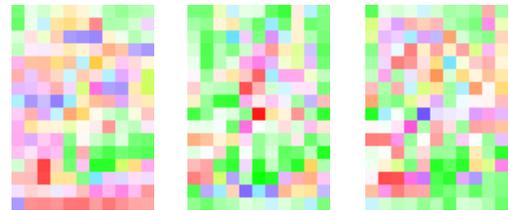


図 20 他人ギャラリー (人物 F)



プローブ 本人ギャラリー 他人ギャラリー

図 21 失敗例の時間istogramの可視化

た例のひとつであり、図 18 と図 19 は本人どうしの画像であるが、空間ヒストグラムにおける相違度は小さいが、時間ヒストグラムにおける相違度が大きくなっている。一方、図 18 と図 20 は他人どうしの画像であるが、時間ヒストグラムにおける相違度が小さく、結果本人の相違度よりも他人の相違度が小さくなり、正しく照合ができなかった。そのため、本来他人どうしであるこちらが本人どうしと判定されている。

図 18 はプローブであり、図 19 はプローブに対応する本人ギャラリー、図 20 は他人ギャラリーである。これらに対して、実験では他人である図 20 を本人として誤って判定してしまった。

これらの時間ヒストグラムを 4.2.2 章の色による方法で可視化した画像が図 21 である。図 21 の左の図では頭部部分は紫や橙、薄い黄色などが出ており、空間勾配に対して時間勾配が少なく、歩行者に対する動きが小さいことが分かる。それに対し、本人ギャラリーである図 21 の真ん中の図の頭部部分は鮮やかな緑や水色といった、動きが大きいことを示す色になっており、図 19 における t_0, t_2 間での頭部の位置ずれが発生している。画像列間での頭部の位置ずれが発生している場合は上半身全体にずれが生じやすく、時間ヒストグラムが表現している特徴は頭部位置のずれがないものとは異なってしまう。一方で、他人ギャラリーである図 21 の右の図では頭部部分には薄い紫や橙が主で、位置ずれは少ない。そのため、上半身の色が勾配強度が大きいものが少なく時間ヒストグラムにおける相違度が抑えられている。本人ギャラリーの元画像列間での上半身の位置ずれにより、本人どうしの時間ヒストグラムに大きな相違度が出ており、ある程度似ているギャラリーの中で元画像列間での位置ずれが起こっていないものが選ばれたものと考察できる。

6. おわりに

本論文では、カメラ間人物照合において動きや形状など

の歩容特徴を抽出するのに適した特徴量である STHOG 特徴に注目し、STHOG 特徴の抱える問題である理解や考察のしづらさを解決するために、いくつかの用途に応じた STHOG 特徴の可視化の方法を提案した。

4.1.1 章の円形にしたヒストグラムは空間ヒストグラムにおける一部のセルの比較に、4.1.2 章の一定以上のエッジを描画する方法は元画像と比較しながらのノイズの有無の確認や空間ヒストグラムにおける元画像の空間情報の確認に、4.2.1 章の動きの大きな部分を強調する手法は時間ヒストグラムにおける元画像における主な動き情報の確認に、4.2.2 章の勾配の方向と強度を色で可視化する方法は勾配強度が強い勾配方向とその場所の確認や、時間ヒストグラムにおける元画像列間の位置ずれの確認に、それぞれ有効である。実際、それらの可視化方法を用いて Hazem ら [33] の手法による人物照合の結果に対し考察を行い幾つかの問題点を発見できた。

今後この可視化方法を用いて、STHOG 特徴を用いた人物照合における問題点を明確にするとともに、その知見に基づき高精度の人物照合を実現する手法を開発していく。

謝辞 本研究では、アイデア・フロント株式会社が総務省「平成 28 年度情報通信利用促進支援事業費補助事業（デジタル・ディバイド解消に向けた技術等研究開発）」において収集したデータの提供を受けた。

参考文献

- [1] I. Bouchrika, M. Goffredo, J. Carter, and M. Nixon, "On using gait in forensic biometrics," *Journal of Forensic Science*, vol. 56, no. 4, pp. 882-889, 2011.
- [2] H. Iwama, D. Muramatsu, Y. Makihara, and Y. Yagi, "Gait verification system for criminal investigation," *IPSSJ Transactions on Computer Vision and Applications*, vol. 5, pp. 163-175, Oct. 2013.
- [3] Y. Makihara, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, T. Echigo, and Y. Yagi, "Gait Recognition Using a View Transformation Model in the Frequency Domain," *Proc. of the 9th European Conf. on Computer Vision (ECCV 2006)*, Vol.

- 3, pp. 151-163, Graz, Austria, May 2006.
- [4] D. Muramatsu, A. Shiraiishi, Y. Makihara, M.Z. Uddin, and Y. Yagi, "Gait-based Person Recognition Using Arbitrary View Transformation Model," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 24, No. 1, pp. 140-154, Jan. 2015.
- [5] C. Nakajima, M. Pontil, B. Heisele and T. Poggio: "Full-body person recognition system", *Pattern Recognition*, 36, 9, pp. 1997-2006(2003).
- [6] 赤塚, 高橋, 井手, 村瀬: "不連続な撮影領域間の人物軌跡の対応付けに関する検討", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2006, 2, p.198 (2006-03-08).
- [7] 本田, 出口, 高橋, 井手, 村瀬: "入退室解析のための色特徴を用いた人物対応付けに関する検討", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.225 (2009-03-04).
- [8] N. D. Bird, O. Masoud, N. P. Papanikolopoulos and A. Isaacs: "Detection of Loitering Individuals in Public Transportation Areas", *IEEE Trans. on ITS*, 6, 2, pp. 167-177 (2005).
- [9] Z. Lin and L. S. Davis: "Learning Pairwise Dissimilarity Profiles for Appearance Recognition in Visual Surveillance", *Proc. of ISVC*, pp. 23-34 (2008).
- [10] E. D. Cheng and M. Piccardi: "Matching of Objects Moving Across Disjoint Cameras", *Proc. of ICIP*, pp. 1769 -1772 (2006).
- [11] Y. Cai and M. Pietik: "Person Re-identification Based on Global Color Context", *The Tenth International Workshop on Visual Surveillance* (2010).
- [12] Dalal, Navneet, and Bill Triggs: "Histograms of oriented gradients for human detection." *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. Vol. 1. IEEE, 2005.
- [13] O. Hamdoun, F. Moutarde, B. Stanculescu and B. Steux: "Person re-identification in multi-camera system by signature based on interest point descriptors collected on short video sequences", *Proc. of ICDS*, pp. 1 - 6 (2008).
- [14] S. Bak, E. Corvee, F. Br emond and M. Thonnat: "Person Re-identification Using Haar-based and DCD-based Signature", *AMCSS 2010*, pp. 1 - 8 (2010).
- [15] A. Alahi, P. Vanderheynt, M. Bierlaire and M. Kunt: "Cascade of descriptors to detect and track objects across any network of cameras", *CVIU*, 114, 6, pp. 624-640 (2010).
- [16] S. Bak, E. Corvee, F. Br ´ emond and M. Thonnat: "Person Re-identification Using Spatial Covariance Regions of Human Body Parts", *Proc. of AVSS*, pp. 435-440 (2010).
- [17] 上村, 池亀, 下山, 玉木, 山本: "ネットワーク上の複数カメラを用いた実時間人物照合システム", 信学技報 (PRMU), 103, 659, pp. 67-72 (2004-02-13).
- [18] N. Gheissari, T. B. Sebastian and R. Hartley: "Person Re-identification Using Spatiotemporal Appearance", *Proc. of CVPR*, pp. 1528-1535 (2006).
- [19] G. Berdugo, O. Soceanu, Y. Moshe, D. Rudoy and I. Dvir: "Object Reidentification in Real World Scenarios Across Multiple Non-overlapping Cameras", *Proc. of Euro. Sig. Proc. Conf.*, pp. 1806-1810 (2010).
- [20] M. Farenzena, L. Bazzani, A. Perina, V. Murino and M. Cristani: "Person Re-Identification by Symmetry Driven Accumulation of Local Features", *Proc. of CVPR*, pp. 2360-2367 (2010).
- [21] L. Bazzani, M. Cristani, A. Perina, M. Farezena and V. Murino: "Multiple-shot Person Re-identification by HPE signature", *Proc. of ICPR*, pp. 1413-1416 (2010).
- [22] D. Gray and H. Tao: "Viewpoint Invariant Pedestrian Recognition with an Ensemble of Localized Features", *Proc. of ECCV*, pp. 262-275 (2008).
- [23] W. R. Schwartz and L. S. Davis: "Learning Discriminative Appearance-Based Models Using Partial Least Squares", *Proc. of Brazil. Symp. on Comp. Graph. and Image Proc.*, pp. 322-329 (2009).
- [24] C.-H. Kuo, C. Huang and R. Nevatia: "Inter-camera Association of Multi-target Tracks by On-Line Learned Appearance Affinity Models", *Proc. of ECCV*, pp. 383-396 (2010).
- [25] 井尻, 川西, 美濃, 村瀬: "視野を共有しない複数カメラ間での人物照合", 信学技報 (PRMU) 111(317), 117-124, (2011-11-17)
- [26] 川合, 榎原, 八木: "STHOG 特徴を用いた複数カメラ間での人物照合", 情報処理学会研究報告 (CVIM), 2011, 10, pp. 1-8 (2011-05-12).
- [27] Chaur-Heh Hsieh, Mao-Hsiung Hung, Wei-Yang Huang: "Recognizing human actions by fusing spatial-temporal HOG and key point histogram" *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 39, pp. 538-547, (2014)
- [28] 川合, 榎原, 村松, 岩間, 八木: "方向変換モデルを用いた複数カメラ間での人物照合". 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2013(11), 1-8.
- [29] 三井, 山内, 藤吉: "Joint HOG 特徴を用いた 2 段階 AdaBoost による人検出." 第 14 回画像センシングシンポジウム (SSII08), IN1-06 (2008).
- [30] 松島, 山内, 山下, 藤吉: "人検出のための Real AdaBoost に基づく HOG 特徴量の効率的な削減法". 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2009(32), 1-8.
- [31] 後藤, 山内, 藤吉. (2013). CS-HOG: "色の類似性に基づいた形状特徴量". 電子情報通信学会論文誌 D, 96(7), 1618-1626.
- [32] C. Hua, Y. Makihara, and Y. Yagi, "Pedestrian Detection by using a Spatio-temporal Histogram of Oriented Gradients," *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol. E96-D, No. 6, pp. 1376-1386, Jun. 2013.
- [33] Hazem El-Alfy, Daigo Muramatsu, Yuuichi Teranishi, Nozomu Nishinaga, Yasushi Makihara, Yasushi Yagi,: "A Visual Surveillance System for Person Re-Identification", In *Proc. of the Int. Conf. on Quality Control by Artificial Vision (QCAV 2017)*, pp.(to appear), SPIE, May, 2017.