

複数の認証技術を組合せた複数カメラでの映像追跡技術

吉田 諭史[†] 劉 健全[†] 西村 祥治[†]

[†] 日本電気株式会社 バイオメトリクス研究所 〒 211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753
E-mail: †{s-yoshida@ez, j-liu@ct, s-nishimura@bk}.jp.nec.com

あらまし 本論文では、複数のカメラ映像から、同一人物の追跡を行う方法を提案する。吉田らは、複数のカメラ映像に対して追跡技術を適用し、その結果を顔による認証技術を用いて結合することで、複数のカメラ映像から同一人物を追跡する技術を提案した。本論文では、顔による認証技術に加えて、全身による認証技術も用いて追跡結果を結合する技術を提案する。このことで、監視カメラ映像など、カメラ映像に顔が大きく映り込まないため顔が認識できない場合でも頑健に追跡結果を結合できる。また、実験の結果、提案手法は76%の追跡率で同一人物を追跡できることがわかった。

キーワード 映像分析, 映像追跡, 再特定

1 はじめに

IoT 技術やストレージ技術の発展により、膨大な数の監視カメラが利用可能となっており、莫大な量の映像データが蓄積されている [8]。映像データから、条件を満たす人が、どこから来て、何を、どこに行ったのかを抽出することは重要な問題となっている。例えば、犯罪捜査においては、防犯カメラ映像から、目撃情報を満たす人を探し出してきて、その人がどこに行ったのかを分析することが行われている。ところが、莫大な映像データの分析が人手で行われていることも多く、映像分析官に多大な負担がかかっている。

上記の問題を解く手法として、映像追跡技術がある。映像追跡技術は、映像を入力として、映像中で移動している物体を追跡する技術である。映像追跡技術には様々な手法があるが、いずれの方法も前後のフレーム間で物体の移動を抽出するため、複数カメラ間での映像追跡は難しい。また、複数カメラで映像追跡する試みもあるが、カメラの視野を共有しなかったり、カメラ同士が近くにならなかったりする場合は、カメラ間での物体の移動が抽出できなくなる。

また、映像追跡技術と再特定技術とを組み合わせることで、複数カメラ間でも追跡を行うことができる手法も提案されている [30]。再特定技術は、複数の映像や画像を入力として、同一人物を発見する技術である。画像や映像から得られる特徴量同士の類似度を計算して、類似度が高いものがあれば、それらを同一人物と判定する。この手法は、映像追跡技術によって抽出された同一人物の画像集合より特徴量を抽出し、再特定技術によって画像群同士で同一人物の発見を行う。このことにより、複数カメラ間でも特徴量同士での照合により追跡を行うことができる。しかし、この手法で扱う特徴量は一種類であることから、複数カメラ間で追跡できるための条件が厳しく、うまく追跡ができない場合がある。映像追跡で得られる画像集合から、その種類の特徴量が抽出できないときや、環境や時刻によって容易に変化する特徴量を使用している場合には、画像集合同士



図 1 複数種類の特徴量を併用した複数カメラでの映像追跡。赤枠と緑枠はそれぞれ同一人物の全身と顔を囲んでいる。

での同一人物判定に失敗する。例えば、顔画像の特徴量を使用する場合には、映像中に顔がある程度鮮明に映っている必要がある。ところが、カメラの画角や設置場所、角度によっては顔が鮮明に映らずに顔画像の特徴量が抽出できないことがある。また、服の色を特徴量として使用する場合には、光の当たり方によって色の見え方が変化したり、人が着替えて服の色が変わることがある。このような場合には、同一人物の集合同士であっても、判定ができなかったり、異なる人物と判定されたりする。

そこで本論文では、複数種類の特徴量を併用することで、複数カメラ間で追跡できるための条件を緩和する手法を提案する。図 1 に本手法で得られる結果を図示する。左右の画像はそれぞれ別の場所を映した映像から抜き出した画像である。また、本手法によって、同一人物であると判断された人に枠を付けている。赤枠と緑枠はそれぞれ、人の全身と顔を囲んでいる。本手法では、映像追跡により得られた人の画像集合より、複数種類の特徴量を抽出することで、複数種類の特徴量からなる同一人物の特徴量集合を得る。図 1 の例では、赤枠部分より全身画像の特徴量、緑枠部分より顔画像の特徴量をそれぞれ抽出する。特徴量集合の間で、同一人物から得られたものと考えられる特徴量の種類がある場合にはそれらの特徴量集合は同一人物から得られたと判断する。このことにより、複数種類の特徴量のうち、どれか一種類の特徴量でも照合が行えれば追跡が可能となる。また、本論文では、実映像データを用いて実証実験を行った。本実証実験では、顔画像の特徴量および全身画像の特徴量

を用い、顔による認証として NeoFace(R)¹を、全身による認証として人物照合技術²をそれぞれ用いて追跡を行った。その結果、同一人物の画像のうち、平均して 76%が同一人物と判断された。

本論文は以下のように構成されている。第 2 節では、本論文で用いる記法と用語の説明を行う。第 3 節では、従来技術である映像追跡技術と再特定技術の概要を説明する。第 4 節では、本論文の提案手法である、複数種類の特徴量を用いた追跡技術について説明する。第 5 節では、計算機実験の結果について述べ、提案手法の有効性を実証する。最後に第 6 節で、本論文の結論を述べる。

2 記法と用語

本論文で扱うデータまたは特徴量は、それらの間に類似度 $\text{sim}(\cdot, \cdot)$ が定義される。類似度は、以下の 3 つの条件を満たす。

- すべてのデータ f_i, f_j について、 $0 \leq \text{sim}(f_i, f_j) \leq 1$ 。
- すべてのデータ f_i について、 $\text{sim}(f_i, f_i) = 1$ 。
- すべてのデータ f_i, f_j について、 $\text{sim}(f_i, f_j) = \text{sim}(f_j, f_i)$ 。

また、本論文では、データ f_i, f_j, f_k と δ について、 $\text{sim}(f_i, f_j) \geq \delta$ かつ、 $\text{sim}(f_j, f_k) \geq \delta$ を満たすならば、 $\text{sim}(f_i, f_k) \geq \delta$ を満たすと類推し、以下では、多くのデータの 3 つ組 (f_i, f_j, f_k) についてこれが真であると仮定して議論を進める。

3 関連技術

本節では、本論文で提案する技術の関連技術である映像追跡技術と再特定技術、再特定技術を用いた複数カメラ間での追跡について簡単に述べる。

3.1 映像追跡技術

映像追跡技術は、映像を入力として、映像中に現れる特定の物体について、映像中の各フレームにおけるその物体の位置を特定することで、その物体を追跡する技術である。映像追跡技術は、いくつかの種類に大別される。特徴量ベースの追跡 [17], [22], [25] は、映像中の各フレームから、物体の特徴点を抽出し、フレーム間の特徴点の移動を算出することで物体を追跡する。カーネルベースの追跡 [4], [20], [24] は、追跡する物体を覆う楕円や四角などの単純な図形からなる領域の動きを前後フレーム間で計算することで追跡を行う。シルエットベースの追跡 [2], [3], [18] は、対象の物体の形状や領域を、前のフレームの形状や領域の情報を使いながら抽出する。

3.2 再特定技術

再特定技術は、複数の映像や画像を入力として、それら

の中から、同一人物を発見する技術である。例えば、静止画像の中の色情報を用いて、同一人物を発見する手法が提案されている [5], [7], [28]。また、色やテクスチャなどから属性を学習して同一人物を発見する手法も提案されている [10], [12], [21], [23]。深層学習を用いる手法も提案されている [9], [11], [16], [19], [27]。映像から同一人物を発見する手法も提案されている。これらの手法は、映像の各フレームを入力とし、深層学習 [6], [11], [15], [26], [27], [29] や統計的機械学習 [1], [7], [13], [14] によりモデルを作成して同一人物を発見する。

3.3 再特定技術を用いた複数カメラ間での追跡

本節では、再特定技術を用いた複数カメラ間での追跡 [30] について説明する。この手法は、映像追跡によって得られる同一人物の画像集合群に対して再特定技術を適用して、同一人物の画像集合を見つけることで、複数カメラ間での映像追跡を可能にする技術である。また、画像集合同士で同一人物判定をする際に、集合中の画像を複数用いることで、より頑健な追跡を可能にしている。この手法の大まかな手順は次のとおりである。まず、各カメラの映像に対して、人物追跡技術を適用し、対象となる人物を追跡する。この手順によって、同一人物の画像の集合が延べの人数分得られる。次に画像集合から特徴量を抽出して、特徴量の集合とする。最後に、特徴量の集合同士で類似度を計算し、類似度が所与の閾値よりも高ければ、それらの集合は同一人物から得られたものと判断する。なお、特徴量の集合間の類似度は、双方の集合に含まれる特徴量の組み合わせで類似度を計算し、それらの類似度を集計することで得られる。

図 2 に、この手法の適用例を図示する。図 2 (a) は、映像に対する追跡結果である。映像追跡の結果、同一人物とされた顔画像を円で囲んでいる。各円に含まれる顔画像から、特徴量を抽出した結果を図 2 (b) に示す。2 つの円に含まれる各特徴量間で類似度を計算し、集計する。この例では集計として最大値を取る。図 2 (b) では、類似度の最大値を与える 2 つの特徴量を破線矢印で示している。これらの間の類似度が所与の閾値よりも高ければ、2 つの円で囲まれた特徴量集合は同一人物から得られたものと判断する。

4 複数認証技術を用いた映像追跡

本節では、本論文で提案する複数の認証技術を組合せた複数カメラでの映像追跡手法を説明する。本手法では、前節で説明した複数カメラ間での映像追跡技術に加えて、複数種類の特徴量を用いて照合を行う。このことで、ある種類の特徴量が抽出できなかつたり、環境や時刻により特徴量が変化した場合も、別種の特徴量で照合を行うことにより、より頑健に同一人物判定を行うことができる。本手法の大まかな手順は以下のとおりである。まず、映像追跡により得られた同一人物の画像集合に対して、複数種類の特徴量を抽出する。このことで、同一人物から得られた複数種類の特徴量からなる集合が得られる。図 3 に例を示す。上段に入力映像のフレームを図示している。映像

1: NeoFace(R) は、日本電気株式会社が開発した世界トップクラスの性能を持つ顔認証技術を使用した製品である。URL: <https://jpn.nec.com/solution/face-recognition/index.html>。

2: 人物照合技術は、日本電気株式会社が 2019 年 2 月に発表した人物の全身の外観画像で照合できる技術である。URL: https://jpn.nec.com/press/201902/20190207_01.html。

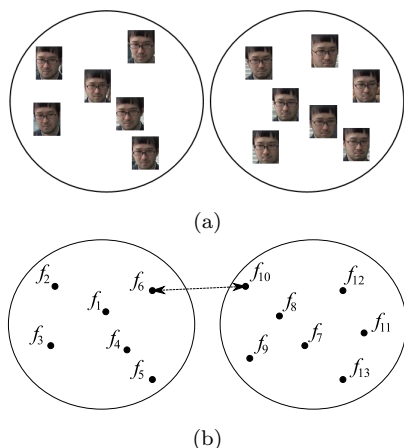


図 2 複数カメラ間での追跡手法の適用例。(a) 映像追跡の結果、同一人物のものと判断されたものを円で囲んでいる。(b) 映像追跡の結果から特徴量を抽出し、2つの円に含まれる各特徴量間で類似度を取る。類似度最大の特徴量間に破線矢印を引いている。これらの特徴量間の類似度が所与の閾値よりも高ければ2つの円は同一人物から得られたと判断する。

追跡技術により検出された人を緑枠で囲んでいる。また、追跡された同一人物の画像を集合として中段に図示している。この画像集合に含まれる各画像から、複数種類の特徴量を取得し、得られた特徴量の集合を下段に図示している。この例では、1つ目の特徴量として、顔画像の特徴量を選択した。また、2つ目の特徴量として、全身画像の特徴量を選択した。なお、図では特徴量の部分に画像を図示しているが、実際のところ、特徴量は画像として見ることでできない数値列である。

次に、これらの集合から、同一人物から得られた集合を見つける方法について記述する。2つの集合が同一人物から得られたものであるかどうかの判定は、以下のとおり行う。2つの特徴量集合に含まれる同じ種類の特徴量すべての組合せについて、類似度を計算し、それらの類似度の集計値を計算する。これを特徴量集合に含まれるすべての種類の特徴量について実行し、いずれかの集計値が所与の閾値を上回るとき、この2つの特徴量集合は同一人物から得られたものと判定する。図4に例を示す。この図には、特徴量集合が2つ示されている。各特徴量集合には、2種類の特徴量が含まれている。特徴量集合間では、それぞれの種類での特徴量で類似度を計算し、同一人物判定を行う。この手順を各集合の組に対して適用することで、同一人物から得られた集合を見つけることができる。

ある種類の特徴量が抽出できなかったときは、双方の追跡結果に共通して存在する種類の特徴量のみを用いて同一人物判定を実行する。この例を図5に示す。トラック2の顔画像の特徴量が抽出できていないため、図では空欄となっている。このときは、トラック1とトラック2の双方に存在する、全身画像の特徴量のみを用いて同一人物判定を行う。また、特徴量が時間や環境で変化した場合は、その特徴量で判定せず、時間や環境で変化しづらい特徴量を用いて同一人物判定を行う。ここでは、特徴量の中で、同一人物と判定される種類の特徴量があれば、2つの特徴量集合は同一人物から得られたものと判定すること

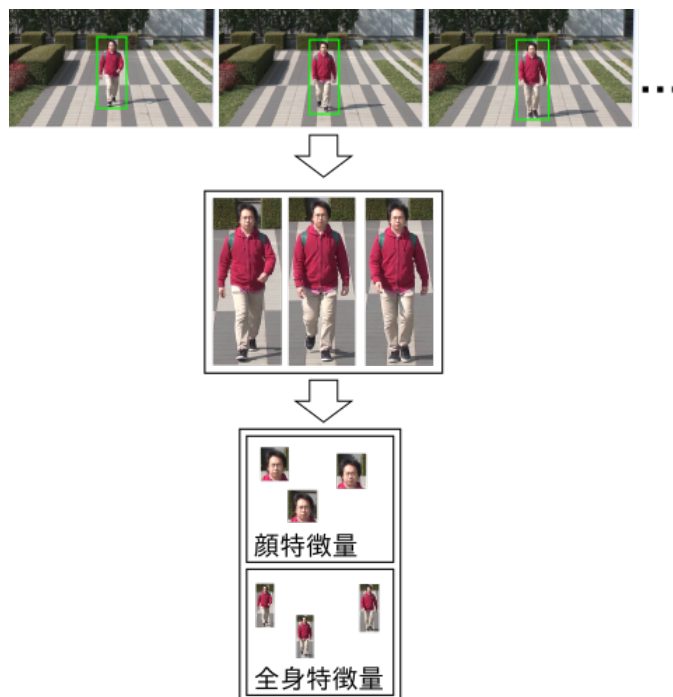


図 3 映像追跡により得られた画像集合から複数の特徴量を抽出する。最上段は入力映像中のフレームを図示している。映像追跡により検出された人を緑枠で囲んでいる。中段は、映像追跡により検出された一人の人の画像を集合として図示したものである。下段は、中段の画像より2種類の特徴量を抽出したことを図示している。

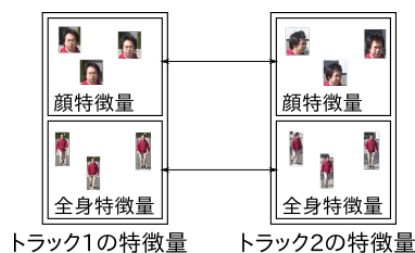


図 4 2種類の特徴量を含む2つの集合間での同一人物判定。特徴量の種類ごとに判定する。

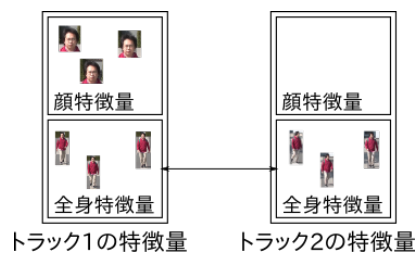


図 5 2つの集合で片方の集合の片方の種類の特徴量が存在しないときの同一人物判定の例。トラック2の顔画像の特徴量が抽出できていないが、全身画像の特徴量のみを使用することで同一人物判定を実行することができる。

で、上記を実現する。

この判定を行うアルゴリズムを Algorithm 1 に示す。このアルゴリズムの入力は、 S_1 と S_2 、 σ で、 S_1 と S_2 は集合の配列、 σ は 0 以上 1 以下の実数の配列である。また、 S_1 と S_2 、 σ は等

Algorithm 1 同一人物判定アルゴリズム .

```
1: procedure DETERMINE SAME PERSON( $S_1, S_2, \sigma$ )
2:    $\triangleright S_1$  と  $S_2$  は特徴量集合の配列,  $\sigma$  は閾値の配列 .
3:   for  $i \in 0..|S_1|$  do
4:      $s \leftarrow S_1[i]$  と  $S_2[i]$  に含まれる特徴量の全組合せでの類似度
       の集計値 .
5:     if  $s > \sigma[i]$  then
6:       return TRUE.
7:     end if
8:   end for
9:   return FALSE.
10: end procedure
```

しい長さで、特徴量の種類の数だけである。集合の配列 S_1 と S_2 にはそれぞれ、映像追跡により同一人物と判断された特徴量が格納されている。 S_1 の各要素は、 S_1 に含まれる特徴量のうち、ある一特徴量が全て含まれる集合である。 S_2 についても同様である。なお、ある種類の特徴量が抽出できなかった場合は配列の対応する要素が空集合となる。実数の配列 σ の各要素は、ある特徴量の種類について、同一人物と判断するか否かの閾値である。なお、配列 S_1 と S_2 、 σ の各要素の順序は特徴量の種類の意味で一致していると仮定する。例えば、顔画像の特徴量と全身画像の特徴量とを使用する際に、 $S_1[0]$ と $S_2[0]$ にはそれぞれ顔画像の特徴量が、 $S_1[1]$ と $S_2[1]$ にはそれぞれ全身画像特徴量が格納されており、 $\sigma[0]$ と $\sigma[1]$ はそれぞれ顔画像の特徴量と全身画像の特徴量に関する閾値が格納されている。このアルゴリズムでは、4 行目で、 S_1 と S_2 に含まれる各種類の特徴量について、特徴量の全組み合わせ $S_1[i] \times S_2[i]$ で類似度の集計値を計算する。ある種類の特徴量で集計値が閾値 $\sigma[i]$ を超える場合、6 行目で S_1 と S_2 は同一人物から得られたものであるという意味で、このアルゴリズムは TRUE を返す。また、すべての種類の特徴量で集計値が閾値を超えない場合は、9 行目に到達し、 S_1 と S_2 は同一人物から得られたものではないという意味で、このアルゴリズムは FALSE を返す。

5 実 験

提案手法の有効性を実証するため、本手法を実装し、計算機実験を行った。実装は C++ 言語で行い、g++7.3 でコンパイルした。また、実験は Intel(R) Xeon(R) 3.30GHz の CPU と、32GB のメモリ、Ubuntu 18.04 LTS の OS が搭載されたコンピュータ上で行った。入力データは、カメラ 2 台で撮影した人の歩行映像である。今回の実験では、顔画像の特徴量と全身画像の特徴量を使用した。また、顔の検出および特徴量の抽出、照合には NeoFace(R) を、人物の全身画像の検出および特徴量抽出、照合には人物照合技術をそれぞれ使用した。提案手法と特徴量による認証のみでの追跡で、追跡率を評価した。追跡率は、それぞれの人の追跡率を人の画像数で加重平均したものである。追跡率を $\max_{i \in I} \{p_{ij}\} / \sum_{i \in I} p_{ij}$ で定義する。ここで、 I は手法によって得られた人の集合、 p_{ij} は人 i が手法によって人 j であると認識された画像の数である。追跡率を人の画像数で加重平

表 1 追跡率の比較 .

手法	追跡率 (%)
提案手法	76.07
認証のみ	59.84

均すると、 $\sum_j [(\sum_i p_{ij} / \sum_{i,j} p_{ij})(\max_{i \in I} \{p_{ij}\} / \sum_{i \in I} p_{ij})] = \sum_j \max_i p_{ij} / \sum_{i,j} p_{ij}$ となる。それぞれの手法の追跡率を表 1 に示す。提案手法の結果が、認証のみでの追跡の結果よりも 30%程度良くなっている。

6 おわりに

本論文では、複数種類の特徴量を併用することで、複数カメラ間で追跡できるための条件を緩和する手法を提案した。提案手法では、映像追跡により得られた人の画像集合より、複数種類の特徴量を抽出することで、複数種類の特徴量からなる同一人物の特徴量集合を得る。複数種類の特徴量を含む集合の間で、同一人物判定を行うことにより、ある種類の特徴量が抽出できないときや、環境や時刻によって特徴量が変化した場合も、別種の特徴量による認証を利用することにより、より頑健に追跡を行うことが可能となる。また、本論文では、実映像データを用いて、顔画像の特徴量および全身画像の特徴量を用いて実証実験を行った。その結果、同一人物の画像のうち、追跡率が 76%となり、認証のみを利用した追跡よりも 30%良い結果が得られた。

文 献

- [1] Loris Bazzani, Marco Cristani, Alessandro Perina, Michela Farenzena, and Vittorio Murino. Multiple-shot person re-identification by HPE signature. In *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*, pp. 1413–1416. IEEE, 2010.
- [2] Marcelo Bertalmio, Guillermo Sapiro, and Gregory Randall. Morphing active contours. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 7, pp. 733–737, 2000.
- [3] Andrew Blake and Michael Isard. The condensation algorithm—conditional density propagation and applications to visual tracking. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 361–367, 1997.
- [4] Dorin Comaniciu, Visvanathan Ramesh, and Peter Meer. Kernel-based object tracking. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 25, No. 5, pp. 564–577, 2003.
- [5] Abir Das, Anirban Chakraborty, and Amit K Roy-Chowdhury. Consistent re-identification in a camera network. In *European Conference on Computer Vision*, pp. 330–345. Springer, 2014.
- [6] Hehe Fan, Liang Zheng, and Yi Yang. Unsupervised person re-identification: Clustering and fine-tuning. *arXiv preprint arXiv:1705.10444*, 2017.
- [7] Michela Farenzena, Loris Bazzani, Alessandro Perina, Vittorio Murino, and Marco Cristani. Person re-identification by symmetry-driven accumulation of local features. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2010 IEEE Conference on*, pp. 2360–2367, 2010.
- [8] John Gantz and David Reinsel. The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east. *IDC iView: IDC Analyze the future*, Vol. 2007, No. 2012, pp. 1–16, 2012.

- [9] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Geoffrey E Hinton. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, pp. 1097–1105, 2012.
- [10] Ryan Layne, Timothy M Hospedales, Shaogang Gong, and Q Mary. Person re-identification by attributes. In *Bmvc*, p. 8, 2012.
- [11] Wei Li, Rui Zhao, Tong Xiao, and Xiaogang Wang. Deepreid: Deep filter pairing neural network for person re-identification. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 152–159, 2014.
- [12] Xiao Liu, Mingli Song, Qi Zhao, Dacheng Tao, Chun Chen, and Jiajun Bu. Attribute-restricted latent topic model for person re-identification. *Pattern recognition*, Vol. 45, No. 12, pp. 4204–4213, 2012.
- [13] Bingpeng Ma, Yu Su, and Frédéric Jurie. Bicov: a novel image representation for person re-identification and face verification. In *British Machine Vision Conference*, pp. 11–pages, 2012.
- [14] Bingpeng Ma, Yu Su, and Frédéric Jurie. Local descriptors encoded by fisher vectors for person re-identification. In *European Conference on Computer Vision*, pp. 413–422. Springer, 2012.
- [15] Niall McLaughlin, Jesus Martinez del Rincon, and Paul Miller. Recurrent convolutional network for video-based person re-identification. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016 IEEE Conference on*, pp. 1325–1334. IEEE, 2016.
- [16] Filip Radenović, Giorgos Tolias, and Ondřej Chum. CNN image retrieval learns from bow: Unsupervised fine-tuning with hard examples. In *European Conference on Computer Vision*, pp. 3–20. Springer, 2016.
- [17] Vali Salari and Ishwar K. Sethi. Feature point correspondence in the presence of occlusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 1, pp. 87–91, 1990.
- [18] Koichi Sato and Jake K Aggarwal. Temporal spatio-velocity transform and its application to tracking and interaction. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 96, No. 2, pp. 100–128, 2004.
- [19] Florian Schroff, Dmitry Kalenichenko, and James Philbin. Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 815–823, 2015.
- [20] Jianbo Shi, et al. Good features to track. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR'94., 1994 IEEE Computer Society Conference on*, pp. 593–600. IEEE, 1994.
- [21] Zhiyuan Shi, Timothy M Hospedales, and Tao Xiang. Transferring a semantic representation for person re-identification and search. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 4184–4193, 2015.
- [22] Roy L Streit and Tod E Luginbuhl. Maximum likelihood method for probabilistic multihypothesis tracking. In *SPIE's International Symposium on Optical Engineering and Photonics in Aerospace Sensing*, pp. 394–405. International Society for Optics and Photonics, 1994.
- [23] Chi Su, Fan Yang, Shiliang Zhang, Qi Tian, Larry S Davis, and Wen Gao. Multi-task learning with low rank attribute embedding for person re-identification. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 3739–3747, 2015.
- [24] Hai Tao, Harpreet S Sawhney, and Rakesh Kumar. Object tracking with bayesian estimation of dynamic layer representations. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 24, No. 1, pp. 75–89, 2002.
- [25] Cor J Veenman, Marcel JT Reinders, and Eric Backer. Resolving motion correspondence for densely moving points. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 23, No. 1, pp. 54–72, 2001.
- [26] Yichao Yan, Bingbing Ni, Zhichao Song, Chao Ma, Yan Yan, and Xiaokang Yang. Person re-identification via recurrent feature aggregation. In *European Conference on Computer Vision*, pp. 701–716. Springer, 2016.
- [27] Dong Yi, Zhen Lei, Shengcai Liao, and Stan Z Li. Deep metric learning for person re-identification. In *Pattern Recognition, 2014 22nd International Conference on*, pp. 34–39. IEEE, 2014.
- [28] Rui Zhao, Wanli Ouyang, and Xiaogang Wang. Learning mid-level filters for person re-identification. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 144–151, 2014.
- [29] Liang Zheng, Zhi Bie, Yifan Sun, Jingdong Wang, Chi Su, Shengjin Wang, and Qi Tian. Mars: A video benchmark for large-scale person re-identification. In *European Conference on Computer Vision*, pp. 868–884. Springer, 2016.
- [30] 吉田諭史, 西村祥治, 劉健全. 映像追跡技術を用いた再特定手法. 第10回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2018), 2018.