

(18) 模様付きヘルメットを用いた 複数地点からの人物識別に関する研究

井上 晴可¹・梅原 喜政²・今井 龍一³・神谷 大介⁴・
田中 成典⁵・中畑 光貴⁶・島野 寛己⁷

¹正会員 大阪経済大学講師 情報社会学部 (〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅2-2-8)

E-mail: h.inoue@osaka-ue.ac.jp

²正会員 関西大学特別任命助教 先端科学技術推進機構 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail: y.umeha@kansai-u.ac.jp

³正会員 法政大学教授 デザイン工学部 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33)

E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

⁴正会員 琉球大学准教授 工学部 (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1)

E-mail: d-kamiya@tec.u-ryukyu.ac.jp

⁵正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

⁶学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

E-mail: k964962@kansai-u.ac.jp

⁷非会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

E-mail: k271547@kansai-u.ac.jp

日本では、Society 5.0の提唱を契機として、IoTやAIなどの先端技術を様々な現場において利活用する動きが活発化している。建設現場に着目すると、作業員と建設機械との接触事故や高所からの墜落事故が多発しており、現場の安全安心を担保するために人物の位置や状態を管理する技術の開発が求められている。そこで、著者らは、単体カメラの動画像における作業員のヘルメットに付与した模様を対象に深層学習による人物識別の手法を提案している。しかし、既存研究では、単体カメラを対象としているため、施工範囲が広く複数地点からの撮影が必要となる現場に対応できない。そこで、本研究では、複数カメラを用いた時系列による補正手法を新たに考案し、人物識別手法を改良する。そして、実現現場を想定した実証実験を実施し、提案手法が有用である知見を得た。

Key Words: construction site, safety management, human identification, multiple camera, deep learning

1. はじめに

我が国では、第5期科学技術基本計画にて Society 5.0¹⁾を掲げており、これを契機として、IoTやAIなどの先端技術を様々な現場において利活用する動きが活発化している。特に、建設現場に着目すると、作業員と建設機械との接触事故や高所からの墜落事故が多発²⁾しているため、現場の安全安心を担保するためのICT技術の導入が求められている。現在の取り組みとしては、エッジデバイスによる作業員の体調管理³⁾や超音波センサを用いて人と建設機械との接触判定⁴⁾を行う技術の導入が検討されている。しかし、エッジデバイスを活用した技術は、機器を個々に設置する必要があるため、導入コストが高い。また、これらの技術は用途が限定的であるため、建設現場内で発生する滑落や危険箇所への侵入検知などの

様々な危険事象に対応することが困難である。そのため、昨今では、作業員の位置や周辺の状況を管理するために、安価かつ汎用性の高いビデオカメラを活用し、動画像から人物を識別する技術が注目されている。既存研究では、顔や容姿に基づく手法が提案⁵⁾⁶⁾されている。しかし、建設現場では、作業員の姿勢や向きが変化するため、顔を常時撮影することは困難である。また、作業員の服装は類似するため、容姿から人物を識別する技術の適用は困難である。そこで、今井らは、これらの技術動向を踏まえ、ヘルメットに貼付する模様を考案し、単体カメラで撮影した動画像を対象に深層学習を用いてその模様を識別することで、人物を特定する手法⁷⁾を提案した。しかし、既存研究⁷⁾は、単体カメラでの撮影を対象としているため、施工範囲が広く複数地点からの撮影が必要となる現場に対応できない。また、模様の映り方によって

人物を誤識別する課題がある．そこで、本研究では、複数カメラを用いた時系列による識別結果の補正手法を提案し、その有効性を検証する．

2. 提案手法

本研究では、既存研究⁷⁾の精度低下の要因を整理した上で対応方針を決定し、それに基づいて提案手法を考案する．

(1) 既存研究の課題と対応方針

既存研究⁷⁾は、単体カメラを用いて人物を識別するため、遠方に映るヘルメットの模様が捉えづらくなる場合に誤識別する課題が考えられる．また、ヘルメットの角度によって模様の映り方が異なるため、同一人物に対して誤識別することで識別精度が低下する課題が考えられる．前者の課題には、同一現場を複数地点からカメラで撮影し、人物からカメラまでの距離に基づいて近接するカメラの識別結果を優先的に採用することで対応する．また、後者の課題には、同一人物の識別結果を対象に時系列の連続性に基づいて補正することで対応する．

(2) 提案手法の概要

提案手法（図-1）は、模様識別機能、識別結果統合機能、時系列補正機能により構成される．入力データは複数地点から撮影した動画像とし、出力データは人物の識別結果とする．なお、模様識別機能は、既存研究⁷⁾を用いて動画像中から人物を識別する．本章では、新たに考案する識別結果統合機能および時系列補正機能を詳述する．

a) 識別結果統合機能

本機能では、カメラに近い人物ほど模様が大きく映り正しく識別できる可能性が高いことに着目し、複数カメラから得たそれぞれの識別結果を用いて、同一人物の識別結果を補正する．まず、図-2に示すとおり、建設現場の施工図から各カメラの位置を指定し、その点を母点としたボロノイ分割⁸⁾によりボロノイ領域を作成する．次に、動画像内の人物位置を射影変換し、ボロノイ領域に重畳する．そして、人物がどのカメラのボロノイ領域内かを判定し、カメラからボロノイ領域までの距離に応じて模様の識別結果に重み（以下、識別結果の重み）を付与する．最後に、各カメラの識別結果の重みを模様毎に合算し、合計値が最大となる模様を採用し、注目フレームの識別結果を補正する．

b) 時系列補正機能

本機能では、一時的に誤識別しても過去フレームでは正しく識別できている可能性があることに着目し、時系列の連続性に基づいて解析することにより、同一人物の

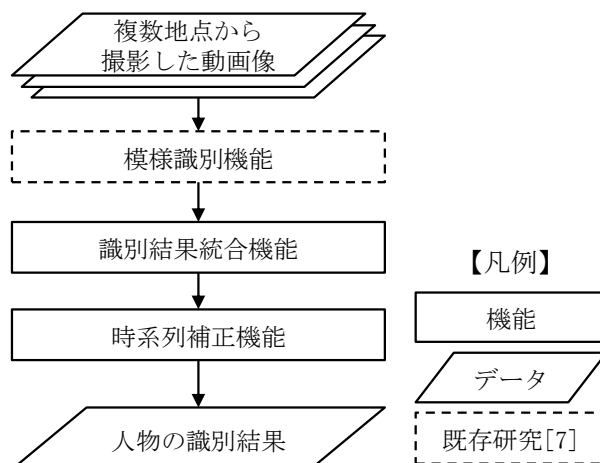


図-1 処理フロー

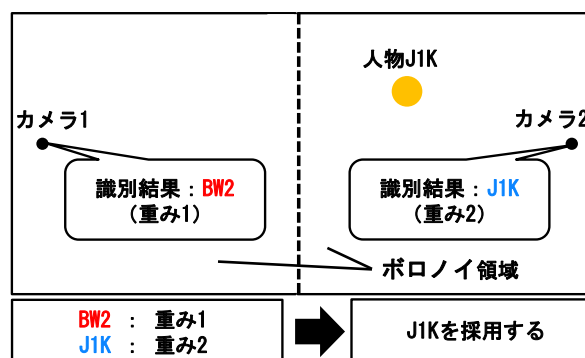


図-2 識別結果統合機能

A. 識別結果を一つに絞り込み B. 識別結果を多数決して補正

フレーム	識別結果
1	BW2
2	J1K
3	RJ6
4	RJ6
5	RJ6
6	J1K, BW2

フレーム	識別結果
1	BW2
2	J1K
3	RJ6
4	J1K
5	J1K
6	RJ6 → J1K

赤枠：注目フレーム

図-3 時系列補正機能

識別結果を補正する．

まず、a)の機能にて識別結果の重みが重複し、模様を一意に絞り込めない場合に対応する．この場合、識別結果を時系列順に並べ、識別結果が重複しているフレームを注目フレーム（図-3Aの6フレーム目）として検出する．そして、注目フレームから候補の模様となる、いずれかの識別結果と合致するフレーム（図-3Aの2フレーム目）まで遡り、その模様を採用する．

次に、同一人物に対して誤識別するフレームが含まれる場合に対応する．この場合、全フレームを対象として識別結果を時系列順に並べ、各フレームを順に注目フレーム（図-3Bの6フレーム目）として抽出する．そして、注目フレームから任意の分析フレーム数分の識別結果を用いて多数決を行う．最後に、多数決の結果を採用し、注目フレームの識別結果を補正する．

3. 実証実験

本実験では、建設現場を模した環境を関西大学構内に再現し、提案手法の有用性を検証する。まず、事前実験にて、模様による識別精度の違いを確認する。次に、実証実験にて、事前実験で識別精度の高い5模様を対象に、提案手法の有用性を確認する。

(1) 事前実験

本実験では、現場の人数に応じて識別精度の高い模様を選定するために、模様別の識別精度を確認する。

a) 実験方法

本研究では、既存研究⁷⁾で用いた模様を構成する11符号に、B, 2, ?, △, ○, &の6符号を加えた計17模様（表-1）を対象とする。本実験では、高さ4.5mに単体カメラを設置（図-4A）し、それぞれの模様付きヘルメットを装着してカメラから5m離れた地点で20秒間（600フレーム）静止した人物を撮影する。そして、撮影した動画画像に対して模様識別機能を適用し、識別結果を目視確認することで、適合率、再現率とF値を評価する。

b) 実験結果と考察

事前実験における提案手法の識別精度を表-2に示す。表-2より、F値が高い上位5模様は、222, ???, △△△, UUUとNNNであり、模様によって識別精度が異なることがわかった。このことより、現場の人数に応じて識別精度が高い模様を優先して使用することが必要であるという知見を得た。

(2) 実証実験

本実験では、事前実験にてF値が高い222, ???, △△△, UUUとNNNの5模様を対象に、複数カメラを用いて同一人物を撮影した動画画像に模様識別機能（以下、機能A）、識別結果統合機能（以下、機能B）と時系列補正機能（以下、機能C）を適用し、本提案手法の有用性を確認する。

a) 実験方法

本実験では、高さ4.1m、人物から8.5m～18.5m離れた2地点にカメラを設置（図-4B）し、4m×10mの長方形の外周を1分間（1,800フレーム）歩行する人物を撮影する。ここでは、時系列補正機能にてパラメータ設定が必要となる分析フレーム数のパラメトリック解析を実施し、そこで得た最適値を提案手法のパラメータとする。また、本実験では、2地点から撮影した動画画像を用いるため、識別結果の重みに関わらず、人物から距離の近いカメラの識別結果が採用される。そのため、識別結果の重みは、カメラ位置を母点とするボロノイ領域に人物がいる場合に重み2、それ以外の場合に重み1と設定する。そして、撮影した動画画像に対して提案手法の各機能を適用し、識

表-1 模様

No.	模様	No.	模様	No.	模様
1	JJJ	7	NNN	13	222
2	111	8	UUU	14	???
3	KKK	9	YYY	15	△△△
4	RRR	10	XXX	16	○○○
5	666	11	HHH	17	&&&
6	LLL	12	BBB		

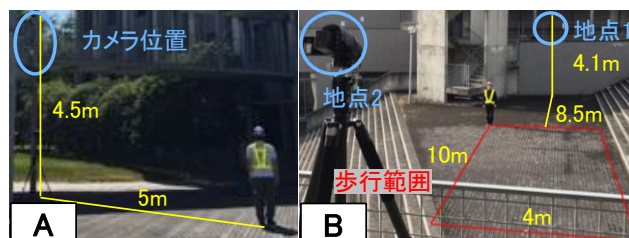


図-4 実験環境

表-2 事前実験における提案手法の識別精度（一部抜粋）

順位	模様	適合率	再現率	F 値
1	222	0.701	0.710	0.705
2	???	0.728	0.387	0.506
3	△△△	0.448	0.580	0.505
4	UUU	0.457	0.503	0.479
5	NNN	0.605	0.377	0.464

別結果を目視確認することで、適合率、再現率とF値を評価する。

b) 分析フレーム数のパラメトリック解析

まず、1分間の動画画像 1,800 フレームまでを対象に 100 フレーム刻みで最適値を確認した結果を図-5に示す。図-5より、400 フレームの場合に F 値が最大になることがわかった。次に、400 フレームの前後 100 フレームを対象に 10 フレーム刻みで最適値を確認した結果を図-6に示す。図-6より、420 フレームの場合に F 値が最大となることがわかった。これらの結果より、時系列補正機能にて必要なパラメータである分析フレーム数は、420 が最適値であることがわかった。

c) 実験結果と考察

分析フレーム数を 420 とした場合の実証実験における提案手法の識別精度を表-3に示す。表-3より、全体の F 値を確認すると、機能 A の地点 1 は 0.362、地点 2 は 0.366、機能 B は 0.394、機能 C は 0.709 であった。機能 A の 2 地点の F 値の平均である 0.364 に比べて、機能 B は 0.030、機能 C は 0.315 向上することがわかった。機能 B では、カメラと人物間の距離に応じて識別結果を重み付けすることで、距離の離れた人物の識別結果を適切に取舍選択でき、識別精度が向上したと考えられる。機能 C では、同一人物の識別結果を時系列的に解析することで、一時的に誤識別した場合の識別結果を正しく補正するこ

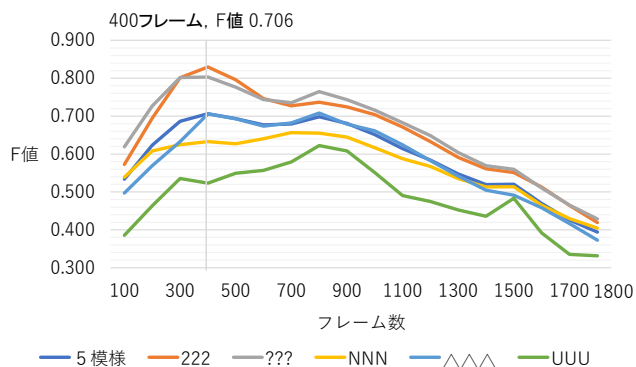


図-5 100～1,800フレームの結果

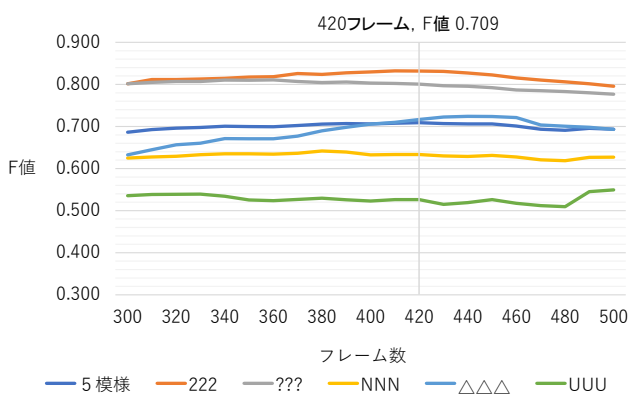


図-6 300～500フレームの結果

表-3 実証実験における提案手法の識別精度

模様	提案手法	適合率	再現率	F 値
222	機能 A-地点 1	0.432	0.333	0.376
	機能 A-地点 2	0.513	0.354	0.419
	機能 B	0.484	0.369	0.419
	機能 C	0.868	0.798	0.832
???	機能 A-地点 1	0.465	0.451	0.458
	機能 A-地点 2	0.397	0.389	0.393
	機能 B	0.405	0.455	0.428
	機能 C	0.734	0.881	0.801
△△△	機能 A-地点 1	0.322	0.306	0.314
	機能 A-地点 2	0.336	0.396	0.364
	機能 B	0.348	0.401	0.373
	機能 C	0.737	0.697	0.717
UUU	機能 A-地点 1	0.499	0.147	0.227
	機能 A-地点 2	0.372	0.161	0.224
	機能 B	0.509	0.241	0.327
	機能 C	0.845	0.382	0.526
NNN	機能 A-地点 1	0.307	0.508	0.383
	機能 A-地点 2	0.307	0.528	0.388
	機能 B	0.360	0.470	0.408
	機能 C	0.530	0.786	0.633
全体	機能 A-地点 1	0.376	0.349	0.362
	機能 A-地点 2	0.366	0.365	0.366
	機能 B	0.402	0.387	0.394
	機能 C	0.709	0.709	0.709

とができ、F 値 0.315 と大幅な精度向上に成功した。また、各模様の F 値を確認すると、それぞれで F 値に差はあるものの、全ての模様において同様の傾向が見られた。これらの結果より、提案手法により正しい模様に補正することができ、その有用性が明らかとなった。

4. おわりに

本研究では、施工範囲が広い現場では複数地点からの撮影が必要となることを想定し、複数カメラを用いた時系列による識別結果の補正手法を提案した。そして、事前実験では、模様によって識別精度が異なるため、作業員の人数に応じて高精度な模様を優先して使用する必要があるという知見を得た。また、実証実験では、提案手法を適用すると、カメラから遠く誤識別する場合や模様の映り方によって一時的に誤識別する場合に正しく補正することができ、識別精度を向上できることを確認した。今後は、実現場においても提案手法を適用することで、提案手法の実用性を検証する。

参考文献

- 1) 内閣府：Society 5.0, <https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/>, (入手 2021.6.13) .
- 2) 厚生労働省：労働災害統計, <<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/anst00.htm>>, (入手 2021.6.13) .
- 3) 斉藤 謙志, 三上 明子, 有賀 健一, 安武 宏, 木村 重夫, 羽根 秀宜：エッジコンピューティングのソリューション事例, デジタルビジネスを支える IoT 特集, Vol.70, No.1, pp.27-33, 2017.
- 4) 竹中エンジニアリング：建設機械車両用バックセンサー SSW-7M4, <<https://sooki.co.jp/rental/product/detail/43090/>>, (入手 2021.6.13) .
- 5) Taigman, Y., Yang, M., Ranzato, M. and Wolf, L.: DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification, *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1701-1708, 2014.
- 6) 武村紀子, 白神康平, 榎原靖, 村松大吾, 八木康史, 越後富夫：深層学習による高精度歩容認証, 画像ラボ, Vol.29, No.1, pp.40-48, 2018.
- 7) 今井龍一, 神谷大介, 井上晴可, 田中成典, 藤井琢哉, 三村健太郎, 伊藤誠：深層学習を用いた模様付きヘルメットを装着した人物識別に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.77, No.2, pp.I_58-I_66, 2021.
- 8) 津田暢彦, 濱砂幸裕：ボロノイ図に基づくクラスタ分割の妥当性, ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol.35, pp.431-436, 2019.