

適応的特徴選択を用いた人物対応付けによる入退室状況の計測

Adaptive Feature Selection for Matching of Human in a Room Entrance

本田 拓也† 出口 大輔† 高橋 友和‡ 井手 一郎† 村瀬 洋†

Takuya Honda†, Daisuke Deguchi†, Tomokazu Takahashi‡, Ichiro Ide†, Hiroshi Murase†

†名古屋大学 ‡岐阜聖徳学園大学

†Nagoya University, ‡Gifu Shotoku Gakuen University

E-mail: thonda@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract

近年，マーケティングを目的として，カメラ映像から人物の動きを検出して人流解析を行う技術が注目されている．例えば，出入口を通過する人物映像から平均滞在時間や時間別滞在人数の算出などが挙げられる．こういった情報は，部屋に入室する人物と退室する人物を，映像から抽出した色特徴等により対応付けることで得られる．しかし，服装の類似した人物が存在する場合，単純に色のみでは正しい対応付けを得ることが難しい．

そこで本研究では，在室者の状況に応じて，対応付けに有効な特徴を適応的に選択することで，高精度な入退室対応付けを実現する．また，部屋の出入口に設置したカメラ映像約1日分を用いて手法を評価し，精度良く入退室状況の計測ができることを確認した．

1 はじめに

近年，安全・防犯への意識の高まりから，商店街や店舗内，事務所などへの監視カメラの設置が急速に進んでいる [1]．しかし，多数の監視カメラ映像のすべてをモニタリングすることは困難であり，実際には事件が発生した後の不審人物の確認程度にとどまっている場合が多い．そのため，監視者の目視によらず，自動で映像から情報を得る技術が重要となってきた．

一方，マーケティングを目的とした映像の解析では，美術館やコンビニエンスストアなど，不特定多数の人物が入り出りする場での人流解析システムの開発が重要となってきた．これに関連して，マーケティングを目的として，カメラ映像中の人物を検出・追跡する技術が研究されている [2]．また，通用門などの出入口に注目して，出入状況を監視する技術も研究されている [3]．この研究では，人物の検出のみしか行っておらず，個々の滞在時間などの情報は得られない．これに対し，我々は部屋の出入口にカメラを設置し，色特徴を用い

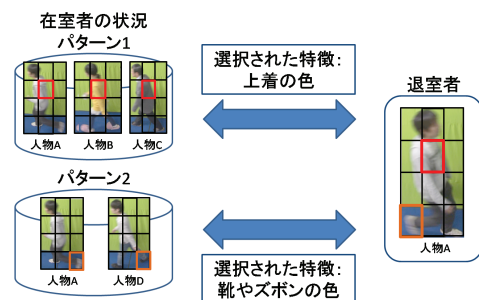


図1 在室者の状況に応じた特徴選択の例

て入退室する人物を対応付けることで人物の滞在時間等を計測する手法を開発してきた [4]．しかし，類似した服装をした人物が同時に存在する状況下では，単純に色特徴を用いただけでは，正しい対応付けは困難である．そのような場合であっても，人物間の部分的な色特徴の違いにより，類似した服装の人物を識別できる可能性がある．そこで本稿では，複数の特徴から在室者の状況に応じて適応的に有効な特徴を選択し，人物の入退室の対応付けを高精度に行う手法を提案する．

以下では，適応的特徴選択手法の概念を示した後，具体的な処理の内容，評価実験，考察の順で述べる．

2 適応的特徴選択を用いた人物対応付け

2.1 適応的特徴選択の概念

特徴ベクトルの中から，在室者に応じて有効な特徴を選択し，対応付けに用いる手法について述べる．適応的特徴選択のコンセプトを図1に示す．

この手法では，任意の在室者の状況に応じて，在室者の間で差が大きい特徴を見つけ，対応付けるといえるものである．例えば，在室者状況が図1のパターン1に示すように上着の色が在室者を対応付けるために有効な特徴である場合には，上着の特徴によって退室者と在室者の対応付けを行う．また，パターン2のように

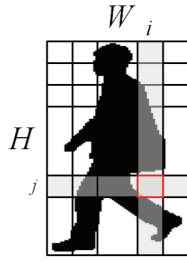


図2 局所領域色特徴の概略図

靴やズボンの色が有効な特徴である場合には，これによって対応付けを行う．このように，在室者の状況に応じて人物の対応付けに有効な画像特徴を適応的に選択することにより，入退室する人物の高精度な対応付けを行う．本研究では，人物の画像特徴として局所領域の色特徴を用い，在室者の画像特徴の判別分析を行うことによって，人物の対応付けに有効な特徴を適応的に選択し，在室者の状況に適した対応付けを行う．入室時には，その時の入室者を在室者に追加し，新しい在室者の各特徴に対して判別分析を行い，対応付けに用いる特徴の更新を行う．退室時には，更新された特徴を用いて対応付けを行い，在室者の入室映像の中から類似する入室を探し，対応付け結果を出力する．そして，在室者の中から対応する人物の情報を削除し，新しい在室者の各特徴に対して，入室時と同様に特徴の更新を行う．

以下に特徴の求め方および判別分析による特徴選択の方法，対応付けの方法について述べる．

2.2 人物対応付けに用いる色特徴の計算

画像特徴を用いて物体の対応付けを行う場合，色特徴は有用な特徴の一つである．中でも，人物を対応付ける場合においては，上下の服装の色の組み合わせが，高速かつ高精度な対応付けの実現に有効であることが報告されている [5][6]．本研究では，対応付けに用いる人物の画像特徴として，画像を分割した各局所領域内の平均色を用いる．具体的な計算手順を以下に示す．

まず前処理として，入力映像に対して背景差分を行い，人物領域を矩形に抽出する．そして図2のように，人物領域矩形を $W \times H$ に分割し，各領域の平均色から式 (1) のような特徴ベクトルを作成する．

$$\mathbf{X} = (l_{11}^T, \dots, l_{W1}^T, \dots, l_{WH}^T)^T \quad (1)$$

ここで \mathbf{X} の (i, j) における要素 l_{ij} は，式 (2) のような RGB の 3 値を持つベクトルとなっている．

$$l_{ij} = \begin{pmatrix} r_{ij} \\ g_{ij} \\ b_{ij} \end{pmatrix} \quad (2)$$

この $3WH$ 次元の特徴ベクトルを対応付けに用いる．

2.3 判別分析による特徴選択

ある時刻において，部屋の中に P 人が存在している状況を考える．また，ある人物 p の入室映像のフレーム数は F_p とする．まず，2.2 節で述べた特徴ベクトルを用いて，フレームの特徴ベクトル \mathbf{X} を求める．

$$\mathbf{X}_p(f) = (x_1, x_2, \dots, x_{3WH})^T \quad (f = 1, 2, \dots, F_p) \quad (3)$$

この特徴ベクトルの人物内 (within) 平均 \mathbf{E}_p^w を用い，人物 p 内での共分散行列 \mathbf{S}_p^w を次式で求める．

$$\mathbf{E}_p^w = \frac{1}{F_p} \sum_{f=1}^{F_p} \mathbf{X}_p(f) \quad (4)$$

$$\mathbf{S}^w = \frac{1}{F_p} \sum_{f=1}^{F_p} (\mathbf{X}_p(f) - \mathbf{E}_p^w)(\mathbf{X}_p(f) - \mathbf{E}_p^w)^T \quad (5)$$

次に，式 (6) のように在室者の総フレーム数を F として，人物間での特徴ベクトルの平均 \mathbf{E}^b を用いて，人物間 (between) の共分散行列 \mathbf{S}^b を求める．

$$F = \sum_{p=1}^P F_p \quad (6)$$

$$\mathbf{E}^b = \frac{1}{F} \sum_{p=1}^P F_p \mathbf{E}_p^w \quad (7)$$

$$\mathbf{S}^b = \frac{1}{F} \sum_{p=1}^P (\mathbf{E}_p^w - \mathbf{E}^b)(\mathbf{E}_p^w - \mathbf{E}^b)^T \quad (8)$$

求めた \mathbf{S}^w と \mathbf{S}^b を用いて，次の一般固有値問題を解く．

$$\mathbf{S}^b \mathbf{u}_i = \lambda_i \mathbf{S}^w \mathbf{u}_i \quad (9)$$

$$\boldsymbol{\lambda} = (\lambda_1, \dots, \lambda_{3WH}) \quad (10)$$

$$\mathbf{U} = (\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_{3WH}) \quad (11)$$

ここで $\lambda_i (\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_i \geq \dots \geq \lambda_{3WH})$ と \mathbf{u}_i は対応する固有値と固有ベクトルであり，固有値の大きいものから \mathbf{u}_i を K 個選択し，特徴変換行列 \mathbf{U}' を求める．

$$\mathbf{U}' = (\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_K) \quad (12)$$

2.4 対応付け手法

対応付けの概要を図3に示す．この図のように，退室が発生した時に，退室者の各フレームを在室者群の全フレームと比較する．その際にまず，式 (12) で求めた特徴変換行列を用いて特徴を変換する．そして，人物 p_1 の f_1 フレーム目と人物 p_2 の f_2 フレーム目の距離を式 (13) のように求める．

$$d = \|(\mathbf{U}'^T \mathbf{X}_{p_1}(f_1) - \mathbf{U}'^T \mathbf{X}_{p_2}(f_2))\| \quad (13)$$

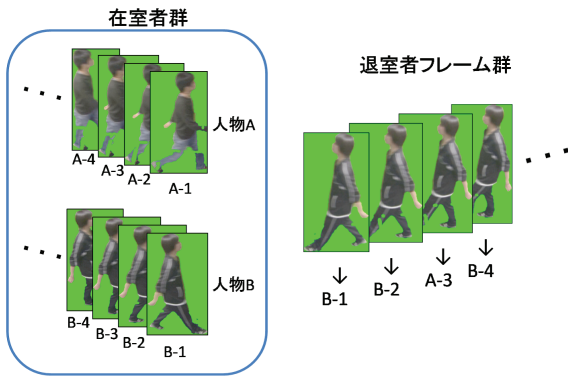


図3 入退室人物間の対応付け

ここで，入退室1回に対して，人物が現れてから消えるまでに複数フレーム存在する．そのため，退室1回分の各フレームについて，最も距離の小さいフレームを入室者の全フレームから探索する．最終的に退室フレームに対応付いたフレーム群で，最も割合の高い入室人物を対応付ける．

3 実験および結果

3.1 適応的特徴選択の評価実験

カメラを部屋の出入口側面に設置し，得られた映像中の入室する人物と退室する人物の対応付けを行った．評価用データセットとして，5人の人物の5回分の入退室時の映像を用いた．5人の中から任意に選んだ N 人が部屋の中に居ると想定し，その N 人の内の誰かが退室した時に，正しい人物に対応付けられるかどうかを評価した．各人物5回のデータがあるため，それぞれ 5^N 通りの対応付けを行い，その内何通り正解しているかを一致率とし，

$$\text{一致率} = \frac{\text{正しく対応付けられた組み合わせ数}}{5^N}, \quad (14)$$

により求めた．

N 人の組み合わせ全て (${}_5C_N$ 通り) について式 (14) の一致率を求め，その平均を対応付け精度とした．この精度により，特徴ベクトルを原空間で比較した場合と判別分析により特徴次元を減らした空間で比較した場合それぞれの評価を行った．具体的には，在室者数を $N = 2$ ，分割数を $(W, H) = (12, 30)$ として実験を行った．

その際に，原空間での特徴比較および，提案手法により 60, 120, 240, 360 次元に圧縮を行った場合での特徴比較による対応付け精度を計算した．表1に各圧縮次元における対応付け精度を示す．

表1 圧縮した次元ごとの対応付け精度

特徴次元	対応付け精度
480 (原空間)	72.7 %
360	76.7 %
240	77.6 %
120	75.3 %
60	74.2 %

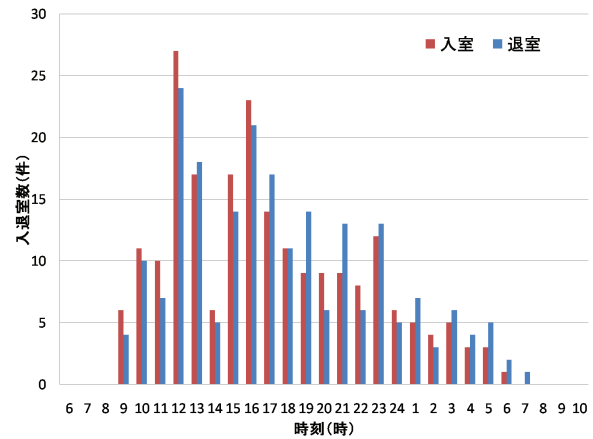


図4 各時間帯における入退室の数

3.2 実環境下での入退室状況計測実験

3.1 節の結果を受けて，約1日部屋の出入口を実際に撮影した映像に提案手法を適用し，それにより入退室状況の計測実験を行った．まず，実験によって得られた入退室の時刻情報を用いて，各時刻にどのように入室・退室が分布しているかを集計した．その結果を図4のような結果が得られた．この分布を見ると，昼間に入退室が集中しており，特に昼食の時間帯である12時から13時が，1日の中で最も頻繁に出入りが行われているのが分かる．そして昼食後は暫く入退室が減り，また夕方頃に徐々に帰宅や夕食などにより人の入退室が増え，深夜になるにつれて人が減っていつていることがわかる．

また，対応付けられた入退室の組み合わせを用いて，入室と退室の間を滞在時間として，滞在時間別の入退室頻度の分布を求めた．図5に，提案手法により得られた結果，および実際の結果それぞれを示す．ビン1つの幅は5分 (300秒) である．提案手法によって得られた分布は実際の分布と同様に，5分未満の滞在件数が最も多く，5分を超えると急激に減り，以降は滞在時間が長くなるにつれて件数は滑らかに減少している．このグラフの一致率は77.0%であり，本手法により実際に近い数値が計測されたことが確認できる．

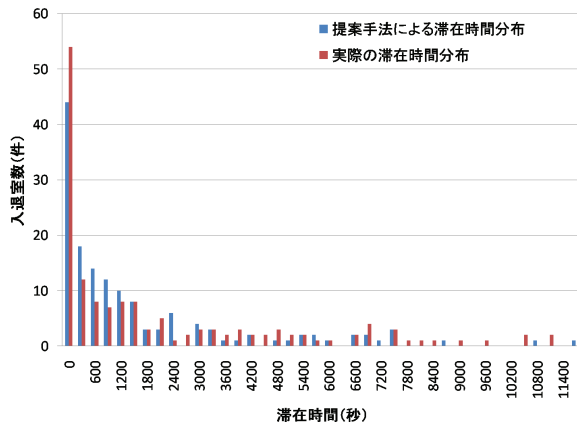


図5 滞在時間の分布

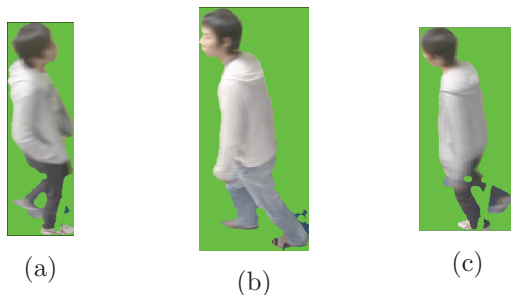


図6 誤対応の例1

4 考察

表1のように，判別分析により特徴選択を行うことで，原空間で対応付けを行うことよりも良好に対応付けができることを示した．しかし，依然として対応付け誤りが2割以上存在する．図6の(a),(b)に対応付け誤りの例を表す．提案手法を適用すると，図6の(a)と(b)に対応付けられたが，実際に(a)と対応付けられなければならないのは，(c)の人物である．異なる人物がこのように対応付けられたのは，服装の色が非常に類似しているためである．そのため，色特徴のみを用いるだけでは，正確な対応付けは困難であると考えられる．しかし，色特徴に差が出ないような状況下でも，身長などといった身体的特徴に差が現れる可能性がある．今回用いた色特徴に加えて，このような形状特徴を用いることで，人物間の対応付け精度が向上するのではないかと考えられる．

また，今回用いた局所領域の平均色特徴は，色の空間的位置を特徴としている．そのため，位置ずれに弱く，同一人物間でも，歩き方や姿勢が大きく変化すると類似度が著しく低下してしまう．人物の歩行は，上下の変化は小さいが，前後方向の動きは大きい．そのため，今回のように局所領域に分割する場合は，横方向の分割を粗くするなどして，人物の横方向の変動に頑健な

特徴を用いていく等の対応が必要であると考えられる．

5 まとめ

局所領域の平均色を特徴として，部屋に入退室する人物を対応付ける手法を提案した．その際に判別分析を用い，在室者状況に応じた適応的な特徴選択により，高精度な入退室人物間の対応付けを実現した．提案手法を，任意の2人が在室している状況における人物対応付け実験を行った結果，特徴選択無しで72.7%，特徴選択有りで77.6%の精度が得られた．これにより，在室者に応じた特徴選択の有効性を確認した．また，提案手法を長時間の入退室映像に適用した結果，実際の計測結果と類似した結果が得られることを確認した．

今回の実験では在室者数が2人の場合について良好な対応付け結果が得られたが，今後は更に人が多い場合についても実験を行っていく．また，色特徴以外にも形状や動きなどの特徴を追加するなどして，より一般的な状況においても高精度に入退室状況が計測できるシステムの実現を目指す．

謝辞

日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏，その他撮影にご協力いただいた皆様に深く感謝する．本研究の一部は，科学研究費補助金による．また，本研究では画像処理にMISTライブラリ (<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>) を使用した．

参考文献

- [1] 小出治，“防犯カメラの効果と利用について，” 予防時報，No.244，pp.30-35，Jan. 2006.
- [2] 赤塚ら，“撮影領域に重ならないカメラ間における人物軌跡の対応付けに関する検討，” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2006)，pp.583-588，Jul. 2006
- [3] 庭川ら，“監視カメラ映像から抽出する動きベクトルと局所領域時間変化を用いた通用門の出入状況監視，” 電気学会論文誌，Vol.123，No.7，pp.1292-1297，2003
- [4] 本田ら，“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，” 情報通信学会総合大会講演論文集，pp.225，Mar. 2009
- [5] 佐藤ら，“服装・顔を用いた高速人物検索，” Panasonic Technical Journal，Vol.52，No.3，pp.67-71，Jan. 2006.
- [6] 由雄ら，“顔・着衣特徴による高速人物検索，” Panasonic Technical Journal，Vol.54，No.4，pp.30-32，Jan. 2009.