

人物モデルと体軸方向フィルタリングを用いた 実時間人物検出・計数システム

非会員 中上 友宏* 正員 松尾 啓志*

Real-Time human detection and counting system using human model and axial direction filtering

Tomohiro Nakagami*, Non-member, Hiroshi Matsuo*, Member

We propose new fast human detection method and counting system corresponding to the environment where many persons exist in camera view. We develop a human model from the feature of region change of many images of pedestrians which walk toward various directions, and detect two or more persons who are overlapping by matching with difference image and human model. And we propose the axial direction filtering for simplification of matching process. In counting system, we also propose the algorithm which counts measurement line passage of pedestrian using information of passage position and body color. The experiment in the environment where many persons exist in camera view shows that the proposed systems are possible to work in real-time with sufficient accuracy.

キーワード：実時間人物検出，人物計数，人物モデル，体軸方向フィルタリング，色ヒストグラム

Keywords: realtime human detection, counting, human model, axial direction filtering, color histogram

1. ま え が き

動画像中の人物領域検出は，セキュリティ，人流計測などのシステムの基幹技術として重要であり，従来から盛んに研究が行われている．特に近年，これらのシステムの適用範囲は，犯罪のグローバル化などの要因から，空港，都市の雑踏⁽¹⁾，大型店舗の入口⁽²⁾など，人物が高密度に存在する環境に拡大しており，次に挙げる2つの課題を解決した人物検出手法の開発は重要な課題である．

課題 1. 検出に必要な総計算コストの抑制

課題 2. 複数人物の重なり(交差，隠蔽)の検出

動物体検出の代表的な手法として，オプティカルフロー⁽³⁾，Snake⁽⁴⁾を用いた手法や，EM アルゴリズムを用いて人物色のフレーム間の対応付けを行い，複数人物を分離する手法⁽⁵⁾が挙げられるが，これらの手法では単一物体の抽出においても多大な計算量が必要であるため，特殊なハードウェア等を用いない限り，**課題 1**の解決は困難であると考えられる．

一方，簡便かつ高速な動物体検出法として，検出対象の存在しない背景画像と入力画像との差分画像から物体領域を求める背景差分も多く提案されている．加藤ら⁽⁶⁾は人

物を楕円体としてモデル化し，モデルと差分画像とのマッチングによって実環境での人物検出，追跡手法を提案した．内田ら⁽¹⁾は，背景差分によって追跡用の初期テンプレートを生成し，テンプレートマッチングによる都市の雑踏での人物検出，追跡手法を提案した．

しかし加藤らの手法においては，人物歩行像は侵入方向に対して様々な形状を取り得るため，固定の形状モデルによるマッチングでは誤検出の可能性が無視できない．また，背景差分によって得られる情報は，移動物体の領域情報(以下，移動領域)のみであり，ラベリングや外接長方形の算出など，一般的な画像処理による移動領域のグルーピング処理では**課題 2**の解決は困難である．これに対し加藤ら，内田らの両手法は検出結果のフレーム間の対応付け，即ち追跡処理によって**課題 2**の解決を図っているが，人物数の増加と考慮するフレーム間での人物移動量に応じて計算量が線形に増加するため，実時間検出は困難となる．逆に，追跡処理を行わず，差分画像の領域情報だけを用いて人物交差，隠蔽を抽出できれば，追跡処理へ応用した場合の高速性，ロバスト性の向上も期待できると考えられる．

そこで本研究では，差分画像を用いた新たな高速人物検出手法を提案し，更に提案手法の応用として人物計数システムを構築する．提案する人物検出手法は，様々な方向を歩く人物歩行像の上半身の統計データから人物の上半身モデルを構築し，モデルと差分画像とのマッチングによって

*名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

人物検出を行うモデルベースの検出手法である。このマッチング処理では重なりを生じた複数人物の検出が可能であり、課題 2 に対応する。そして、課題 1 を解決するため、マッチング処理の簡略化を目的とした差分画像のフィルタリング処理も同時に導入する。また、構築する人物計数システムでは、画像中の任意の位置に計測線を設定し、人物検出によって人物の計測線通過をカウントするアルゴリズムを導入する。本論文では提案する人物検出手法、人物計数システムの詳細と、実環境における提案手法の適用実験の結果について示す。

2. 提案システムの概要

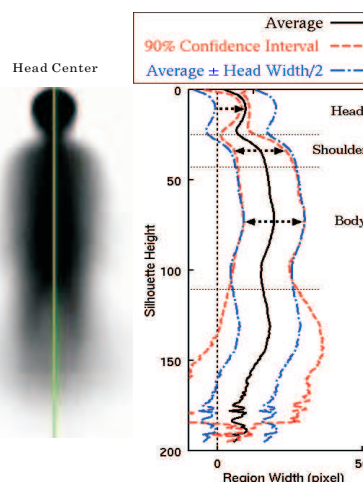
(2・1) カメラの設置条件 撮影に用いるカメラの設置は様々な条件があるが、例えば歩行人の真上での設置^{(7)~(10)}では、人物の顔が認識できないため、監視、認証などへの幅広い応用が困難であり、また屋外環境ではこの設置が困難な状況も考えられる。よって人物の顔や衣服などがほぼ認識可能であり、且つ容易に設置できる場所が望ましいが、その一方でカメラに対する妨害行為が簡単には行えない場所であることも望まれる。そこで本研究ではこれらを満たすカメラ設置条件として、地上から約 4 メートル前後の高さにカメラを設置し、15~20 度の俯角を想定する。

(2・2) 人物検出手法 差分画像だけを用いて複数人物の重なりを検出するためには、差分画像中の各移動領域集合が単一人物の領域であるか、複数人物の重なり領域であるかを判定する必要がある。提案手法では、まず単一人物領域を表す性質を求め(人物のモデル化)、この性質を用いて各移動領域集合に対する判定処理を行う(マッチング)。単一人物領域を表す性質には例えば人物の面積などが挙げられるが、本手法では人物領域の横方向の変化量のみを用いる手法を提案する。

様々な方向を歩く人物歩行像は、当然様々な形状を取り得るが、その上半身部分での横方向の領域変化は比較的安定している。そこで本手法ではこの点に着目し、実際に得られる様々な方向の人物歩行像を用い、その上半身部分における領域変化の性質を求め、検出に用いる単一人物モデルを構築する。このモデル構築は具体的には、単一人物の上半身部分における領域変化量の最大値を求める処理である。そしてマッチング処理では、各移動領域集合に対して移動領域の横方向の変化量を求め、モデル構築で求めた最大値を超える場合に、複数人物の領域に分割する。

更に本手法では、マッチング処理の簡略化を目的とした差分画像のフィルタリング処理を導入する。このフィルタリング処理は、マッチング処理に必要な情報の抽出と差分画像の分解能の低下を同時に行う再サンプリング処理である。3 章で人物検出手法の詳細を示す。

(2・3) 人物計数システム 次に、本研究で構築する人物計数システムでは、画像中の任意の位置に計測線を設定し、提案した人物検出手法を用いて人物の計測線通過を



(a) 人物歩行像重畳画像 (b) 人物領域分布の統計量

図 1 人物歩行像の重畳による人物モデル構築
Fig.1. The human modeling by overlapping pedestrian images

カウントするアルゴリズムを導入する。人物と計測線との交差は検出結果から容易に検知できるが、人物の計測線通過は複数のフレームに渡る可能性がある。そのため、人物計数を正しく行うには計測線通過人物をフレーム間で対応付ける必要があるが、本手法では人物の計測線通過位置と色情報を対応付け処理に用いる。4 章で人物計数システムの詳細を示す。

3. 人物モデルと体軸方向フィルタリングを用いた複数人物検出

(3・1) 人物モデル構築 実際に様々な方向を歩く人物を撮影した動画から人物歩行像を抽出し、その上半身部分における領域変化の統計データから、検出に用いる人物モデルを構築した。

まずカメラを床面の水平方向に設置し、カメラに対して前後、左右、斜めの全 8 方向に歩く 6 人の成人男性の動画を撮影した。次に、各方向での 2 歩分の動画(約 1.0 秒)から時間等間隔に 16 枚の人物歩行像を手動で抽出し、合計 768 枚の人物歩行像を作成した。更に、得られた全ての人物歩行像を重ね合わせ、人物領域の頻度を濃淡によって表した画像(重畳画像)を図 1(a) に示す。この重ね合わせ処理では、全人物歩行像の頭部幅の平均値によるサイズの正規化、及び頭部中心位置による位置合わせ(図 1(a)の垂直線)を行った。人物歩行像の頭部幅は、頭部頂点から人物歩行像の高さの 8 分の 1 の領域内での領域幅の最大値とした。

次に図 1(b) に示したグラフは、図 1(a) の重畳画像の上半身部分の各高さにおける人物領域分布の統計量を表したものである。グラフの各線は次の統計データを表す。

- **Average** 人物領域分布の平均
- **90 % Confidence Interval** 人物領域分布の両側 90 % 信頼区間
- **Average ± Head Width/2** 平均に対して正規化

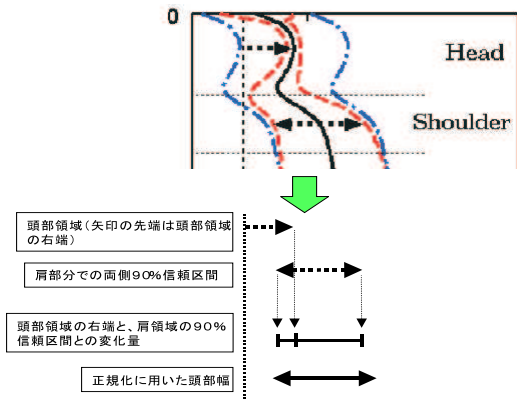


図 2 頭部と肩における両側 90%信頼区間の変化量

Fig. 2. Change of 90% confidence interval from head to shoulder

に用いた頭部幅の半分を加えた(引いた)値

ここで、グラフの上半身部分での領域分布の特徴について考察する。まず第1の特徴として、肩から胴体部分にかけて、両側90%信頼区間と、平均に対して頭部幅の半分を加えた(引いた)値がほぼ一致していることがわかる。次に第2の特徴として、上半身の主要な部位間(頭、肩、胴体)での両側90%信頼区間の変化に着目すると、頭部から肩部分にかけては図2に示すように、両側90%信頼区間の変化量が正規化に用いた頭部幅以内に収まっていることがわかる。そして、肩から胴体部分にかけては、両側90%信頼区間が非常に緩やかに変化している。

以上の特徴から人物の上半身部分での領域変化について、次の性質を導くことができる。

「人物の上半身の主要部位間での領域変化量は、ほぼ人物の頭部幅以内に収まっている」

つまり、各移動領域集合における横方向の領域変化量が人物の頭部幅を超える場合、その移動領域集合は複数人物の交差、隠蔽によるものであると判定できる。本手法ではこの性質を人物の上半身モデルと表現し、モデルと差分画像のマッチングによって複数人物検出を行う。

〈3.2〉 人物モデルと差分画像のマッチング処理 本手法のマッチング処理は、差分画像の1行分をマッチング処理の1処理単位(以下、1ライン)とする。そして、差分画像の上部から下部方向へ処理ラインを移動させ、各処理ラインとその直前のラインに存在する、背景差分によって得られた移動物体の領域情報(以下、移動領域)の変化量と頭部幅との比較処理を行い、全ての人物領域を検出する。マッチング処理の手順を以下に示す。

step1. 処理ラインでの移動領域の検出と記録

処理ライン l 中の n 個の移動領域 $MvArea_{li}(0 \leq i \leq n-1)$ の右端、左端の位置 $MvArea_{li}R, MvArea_{li}L$, 領域幅 $MvArea_{li}W$ をそれぞれ記録する。

step2. 移動領域と人物候補領域との重なり検出

ライン $l-1$ までのマッチング処理で得られた m 個の

人物候補領域 $ManArea_j(0 \leq j \leq m-1)$ の最下部と、 $MvArea_{li}$ との重なり ($ManArea_j \cap MvArea_{li}$) を算出する。

- (1) 全ての j に対して、 $ManArea_j \cap MvArea_{li} = \emptyset$, 且つ $MvArea_{li}W \geq W_l$ の場合、 $MvArea_{li}$ を新たな人物候補領域として設定する。ここで、 W_l は得られる画像における人物頭部幅を表す閾値であり、カメラと人物との距離、即ちライン l の位置によって変化する。
- (2) ある j に対して、 $ManArea_j \cap MvArea_{li} \neq \emptyset$ の場合、**step3** の処理へ移る。
- (3) (1), (2) のいずれの条件も満たさない場合、**step5** へ移る。

step3. 移動領域と人物候補領域との領域変化算出

人物領域は、頭部や胴体、あるいは手などから構成されるため、領域変化の算出には閾値 W_l の1/3以上の幅を持つ $MvArea_{li}$ のみを対象とし、 $W_l/3$ 未満の移動領域はノイズ領域としてマッチング処理から除去する。なお、1/3は経験的に決定した値である。 $ManArea_j$ の最下部の右端、左端の位置を $ManArea_{jR}, ManArea_{jL}$ とし、右側及び左側の領域変化 dL_{ij}, dR_{ij} を次式によって求める。

$$dL_{ij} = ManArea_{jL} - MvArea_{li}L$$

$$dR_{ij} = MvArea_{li}R - ManArea_{jR} \dots \dots \dots (1)$$

step4. 領域変化量と人物頭部幅との比較

$ManArea_j$ の頭部幅 $ManArea_{jHW}$ は、人物頭部が移動領域集合の上部に存在することから、 $ManArea_j$ の上部での領域幅の最大値とする。また、次の処理は右側の領域変化 (dR_{ij}) についても同様である。

- (1) $dL_{ij} > ManArea_{jHW}$ の場合、この領域変化を複数人物の重なりによる変化と認識し、拡大部分を新たな人物候補領域として分割する。
- (2) (1) の条件を満たさない場合、この領域変化を単一人物の領域変化と認識し、 $ManArea_{jL}$ の値を $MvArea_{li}L$ に更新する。

step5. 処理対象ラインの移行

ライン l 中の全移動領域に対して **step2~4** の処理を行った後、次の処理対象ライン $l+1$ に移行する。

なお、マッチングの後処理として、人物の下半身領域の誤分割やノイズ領域の誤検出を検出結果から削除するため、検出領域の大きさに対する判定処理を導入した。

〈3.3〉 差分画像の体軸方向フィルタリング

〈3.3.1〉 移動領域の高頻度領域抽出

提案手法ではモデルと差分画像とのマッチングによって人物検出を行うが、実際に得られる差分画像には、太陽、照明などの光や人物の影、人物と背景色の類似による領域欠損など、多くのノイズが混入する。ノイズの軽減にはフィルタリング処理が必要であるが、一般的な膨張、収縮処理などは計算量

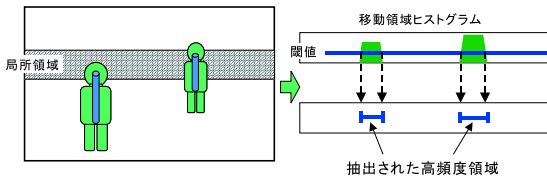


図3 差分画像の分割による移動領域の高頻度領域抽出
Fig. 3. Extract of high frequency part of moving region by division of difference image

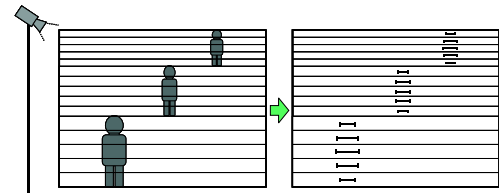


図4 俯角を考慮した差分画像のフィルタリング
Fig. 4. Difference image filtering with angle of depression

が大きく、実時間検出に用いることは難しい。一方、構築したモデルとのマッチング処理に必要な情報は、人物の主要部位における領域の横幅情報であるため、この情報のみをマッチングに用いることで、マッチング処理の高速化を図ることも可能であると考えられる。

そこで本手法では、これらの点に対応した差分画像のフィルタリング処理を導入する。まず差分画像を人物の体軸方向に対して垂直に分割し、複数の小領域（以下、局所領域）を生成する。この分割処理では生成される局所領域に対し、人物の上半身の各主要部位（頭、肩、胴体）がそれぞれ別の局所領域に含まれるように分割する。局所領域の分割幅は上半身の各主要部位が別の局所領域に含まれるよう、カメラの設置情報（高さ、俯角）から決定される値である。そして各局所領域内の移動領域ヒストグラムを求め、ヒストグラムに対する閾値処理によって移動領域の高頻度領域を抽出する。この高頻度領域抽出処理の例を図3に示す。

導入するフィルタリング処理では、差分画像の各画素に対するアクセスが1回のみであるため、マスクを用いるフィルタリングよりも高速な処理が可能である。また、人物の主要部位から得られたヒストグラムに対する閾値処理によって、マッチングに必要な情報のみを抽出する再サンプリング処理であり、ノイズの軽減と同時にマッチング処理の高速化が可能となる。このフィルタリング処理により、〈3・2〉節で示したマッチング処理手順において、マッチングの処理単位が生成された局所領域、求める変化量の対象が抽出された高頻度領域、そして人物の頭部幅が高頻度領域集合の最上部での領域幅にそれぞれ置き換えられる。

〈3・3・2〉 俯角を考慮したフィルタリングと縦方向の重なり検出 導入したフィルタリングの分割処理では、上半身の各主要部位が別々の局所領域に含まれるように、各局所領域の大きさを設定する必要があるが、これは、単一人物像全体を含む局所領域の数（以下、単一人物の領域数）を予め適切な値に設定し、この値によって差分画像の分割幅を決定することと等しい。この単一人物の領域数と分割幅は、検出対象となる人物の一般的な身長、カメラの設置条件などから求められる。しかし、カメラに俯角を設けるため、画像中の位置によって人物像のサイズが変化するため、分割幅に固定値を用いることはできない。そこで本手法では、単一人物の領域数が画像中の位置に関係なくほぼ一定値となるように、画像の上部から下部方向に対してフィル

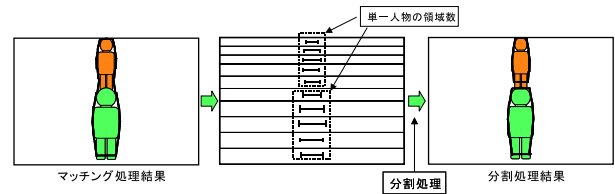


図5 複数人物の縦方向での重なり検出
Fig. 5. Detection of two people who are overlapping vertically in a image

タリングの分割幅を線形に増加させる処理を導入する。図4に、単一人物の領域数を5と設定した場合のフィルタリング処理の例を示す。この処理によって、画像中の位置に関係なく人物の主要部位の横幅情報の抽出が可能となる。

また、本手法で設定した俯角による撮影では、複数人物間の距離が離れているにも関わらず、互いの人物領域が画像の縦軸方向に重なる状況が生じる。〈3・2〉節で述べたマッチング処理では、移動領域の横方向の変化量のみを用いているため、この状況に対しては各人物領域が正しく検出できない（図5左）。本手法ではこの問題の解決法として、検出結果が前述した単一人物の領域数を大幅に上回る場合、この値を用いて検出領域を分割する手法を導入する。図5に、単一人物の領域数を5と設定した場合の分割処理の例を示す。この分割処理を導入することで、本手法は複数人物の様々な重なり方にも対応可能となる。

なお、5章の実験では、検出対象の人物を成人男性（身長170cm）とした。そして人物の主要部位の横幅情報が得られる分割として、単一人物の領域数を10と設定し、予備実験によって差分画像の最上部および最下部での分割幅を算出した。

4. 人物計数システムの構築

次に、本研究で構築した人物計数システムについて述べる。動画像を用いた人物計数手法の研究も従来から盛んに行われているが、その代表的なものとして、画像の任意の位置に計測線（または計測ゾーン）を配置し、実画像中の人物領域を検出、追跡してその通過人物をカウントする手法⁽⁷⁾⁽⁸⁾と、計測線上で得られる時空間画像を用いる手法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾が挙げられる。これらの手法は人物の交差、隠蔽による影響を軽減する目的で、通行人の上空からほぼ鉛直下向きにカメラを設置しているが、〈2・1〉節でも述べたように、このカ

メラ設置は様々な環境に柔軟に対応できる手法とは言えない。本システムで導入する人物計数手法は、人物検出によって計測線通過人物をカウントする手法であり、前者に属するものであるが、容易なカメラ設置条件下での人物検出を行っているため、様々な環境に対する適用が可能である。

〈4・1〉 計測線通過人物の対応付け処理 本手法では、人物の通過位置情報と色情報を用いて計測線通過人物の対応付け処理を行う。計数処理の手順を以下に示す。

step1. 入力フレームでの計測線通過人物の検知

設定する計測線を画像の Y 軸に平行な直線とし、人物領域の最上部と計測線が交差している場合、その人物を計測線通過人物と認識する。

step2. 計測線通過人物の情報の取得

人物の通過位置は、人物領域の最上部と計測線との交差位置の Y 座標の値とする。そして人物の色情報として、人物の上半身領域の内接長方形を求め、この長方形領域内の色ヒストグラムを作成する。この色ヒストグラムは、RGB 空間の各軸を Q 分割した要素数 Q^3 の 3 次元ヒストグラム⁽¹¹⁾である。

step3. 過去に得られた人物情報との評価値の算出

入力フレームで検知された人物 i と、過去 T フレーム以内に検知された人物 j との対応付けに用いる評価値を、各人物の通過位置の距離と、色ヒストグラムの類似性から算出する (T は対応付け候補となる過去のフレーム数)。通過位置の距離 D_{ij} は式 (2) に示すように、人物 i, j の計測線通過位置 P_i, P_j の差の絶対値を画像の縦幅 ImgH で正規化して得られる値とする。

$$D_{ij} = \frac{|P_i - P_j|}{\text{ImgH}} \dots \dots \dots (2)$$

次に、各人物の色ヒストグラム間の類似尺度として、色ヒストグラムを Q^3 次元の色ベクトルし、ベクトル間のなす角 θ の \cos の値を用いる。人物 i, j の色ベクトルをそれぞれ V_i, V_j とすると、 $\cos \theta$ は次式 (3) で求められる。

$$\cos \theta = \frac{V_i \cdot V_j}{|V_i| |V_j|} \dots \dots \dots (3)$$

以上で算出された 2 つの値から対応付けの評価値 S_{ij} を算出する。算出式を次式 (4) に示す。

$$S_{ij} = \cos \theta - D_{ij} \dots \dots \dots (4)$$

$D_{ij}, \cos \theta$ の取り得る範囲は共に $0 \leq D_{ij}, \cos \theta \leq 1$ であるため、評価値の範囲は $-1 \leq S_{ij} \leq 1$ となる。

step4. 評価値と閾値との比較

人物 i との評価値が最大となる、過去 T フレーム以内に検知された人物を n とし、その評価値と対応付けの閾値を比較する。評価値が閾値以上ならば i, n は同一人物、閾値未満ならば i を新たな通過人物と認識する。

step5. 計測線通過人物のカウント

過去 T フレーム以内に対応付けされなかった人物は、計測線通過を完了したと判定する。そしてこの人物を対応付け処理から除外し、カウント数を 1 増加させる。

〈4・2〉 2 本の計測線を用いた人物計数 提案した検出手法は複数人物の重なりにも対応できるが、複数人物の交差によって一方の人物がもう一方の人物にほぼ完全に隠蔽されてしまう状況に対しては、各人物領域の正確な検出は困難である。そのため〈4・1〉節の計数処理の問題点として、設定した計測線上でこの状況が生じた場合には正しく計測できない。

そこで本手法ではこの問題を解決するため、2 本の計測線を用いる手法を導入する。この手法により、もし一方の計測線で人物交差によって正しく計測できない場合でも、もう一方の計測線では正しく計測できる。そしてこの場合、各計測線の計数結果は異なる値を示すが、各計測線での計数結果の最大値を計数システム全体での計数結果とすることで、計測線上の人物交差も正しく計測することが可能となる。

5. 実 験

多数の人物がカメラ視野に存在する環境に対して、提案した人物検出手法、および人物計数手法の適用実験を行った。各実験で使用した処理システムは Pentium 866MHz、動画像は 320×240 のフルカラー、フレームレートは 30frame/sec である。背景差分における移動領域の判定には画素値の差分絶対和を用い、閾値を 60 に固定した。また各実験では背景画像と入力画像との加重平均によって新たな背景画像を生成する背景更新処理⁽¹²⁾を適用した。この背景更新処理では、画像を縦方向に 15 の小領域に等分割し、入力フレームに対して 1 つの小領域のみを背景更新の対象とする。背景更新率は 0.10 に設定した。

〈5・1〉 人物検出実験 人物検出実験の環境およびパラメータを表 1 に示し、人物検出の一例を図 6 に示す。

図 6 ではまず、入力画像 (a) に対して背景差分を行い差分画像 (b) を生成する。この差分画像には影、人物領域の欠損などのノイズも含まれている。次にフィルタリング処理によってフィルタリング画像 (c) を生成する。(c) では、フィルタリングの分割幅が画像上部から下部方向に対して線形に増加しており、単一人物の領域数が設定値とほぼ等しくなっているのが確認できる。そしてマッチング処理によって各人物領域が検出される (d)。

次に、表 2 に検出処理に要する計算時間、表 3 に検出率の結果を示す。計算時間の検討では提案手法との比較対象として、楕円体モデル手法⁽⁶⁾による実験も併せて行った。楕円体モデル手法の画像サイズなどは本手法と同じに設定し、各処理のパラメータは文献⁽⁶⁾と同じ値に設定した。表 2 に示した各処理の計算時間は、楕円体モデル手法では人物数が 1~3、本手法では人物数が 3~10 の環境に対する 3 回の実験の平均値とした。また、表 3 の検出率において、検出の正解の判定は目視によって行い、検出結果が人物の上半身領域の約 7 割以上を含む場合を正解とした。表 3 の失報は、検出された人物領域が 7 割未満の事例を表し、誤報は人物領域以外を検出した事例、または単一人物を複数

表 1 実験環境, パラメータ (人物検出実験)

Table 1. Parameters (experiment of detection)

撮影日時	11月1日 午後2時頃
天候	曇り
カメラ設置位置	地上から約4.5メートルの高さ
俯角, 水平画角	20度, 28度
動画フレーム数	2550(85秒間)
画像中の最大人物数	10
1フレーム平均人物数	5.27
検出対象人物数	13438
フィルタリング分割幅	5pixel(最上部),14pixel(最下部)
閾値 W_t	6pixel(最上部),18pixel(最下部)
高頻度領域抽出の閾値	局所領域の縦幅の25%

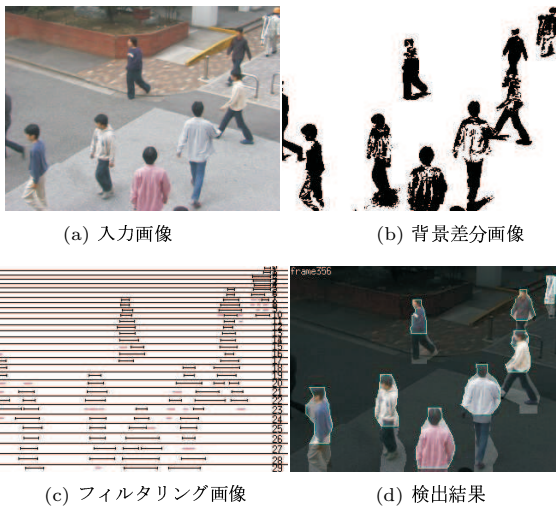


図 6 人物検出の一例

Fig. 6. The sample of detection process

表 2 検出処理に要する計算時間 (単位:[msec])

Table 2. The computation time of detection process

処理	楕円体モデル手法 (人物数 1~3)	提案手法 (人物数 3~10)
背景差分	3.07	
フィルタリング	46~135	1.1~1.2
マッチング	4.5~13.5	0.8~1.1

表 3 人物検出実験 検出率

Table 3. The result of detection rate

総人物数 13438	検出数 (率)	失報数 (率)	誤報数
提案手法	11850 (88.18%)	1588 (11.82%)	590

人物として検出した事例を表す。

表 2 に示すように, 本手法は楕円体モデル手法と比較して, フィルタリング, マッチングの各処理が非常に高速に処理できていることがわかる。本手法のマッチング処理は, 領域変化量の算出, 変化量と頭部幅との比較といった単純な処理で構成されており, 人物数が 10 人に達する状況においても, 計算時間の増加は非常に小さい。また, 導入した背景更新処理に要する計算時間は約 1.26msec, 検出結果画像作成 (図 6(d)) は約 2.14msec であり, 本手法は Video4Linux ライブラリによる動画の入出力処理など, 全ての処理を



(a) マッチング処理 (b) 縦方向分割処理

図 7 複数人物の重なり検出の一例

Fig. 7. Detection of two overlapping people

含めた場合でも, ビデオレート (1/30sec) での処理が実現可能であった。本実験で用いた計算機は, 現時点では既に低速な計算機であるが, この計算機上で画像入出力を含めた全ての処理をビデオレートで行えることは, 提案手法の高速性を示している。

本手法の検出精度を表 3 に示す。実験は多数の人物が存在する環境で行ったが, このような環境に対して総人物数の約 88% を正しく検出することができ, 十分な精度が得られることを確認した。図 7 に複数人物の重なり検出の例を示す。図 7(a) では, <3・2>節で述べたマッチング処理により, そして図 7(b) では, 縦方向に重なる複数人物に対して<3・3・2>節で導入した分割処理により, 各人物領域が正しく検出されている。

検出における失報は, 人物がほぼ完全に他の人物に遮蔽されてしまう場合や, 人物と背景色の類似による背景差分の精度不足が主な要因であった。失報例を図 8 に示す。前者の問題に対しては, 本手法は差分画像の領域情報のみを検出に用いるため, 解決は非常に困難である。後者の問題に対しては, 差分結果から背景差分の閾値を動的に決定する手法⁽¹³⁾などの対策が考えられる。

また, 検出における誤報の要因は, 縦方向に重なる複数人物の検出ミスや, カメラに対して正面 (背面) を向いた人物の肩の誤検出などが主なものであった。誤報例を図 9 に示す。前者の問題は, 人物の頭部検出処理⁽¹⁴⁾などを用い, 縦方向の重なりに対して最適な分割点を求めることで解決可能と考えられる。また後者の問題に関しては, 人物領域の面積など, 人物の性質を表す他の情報をマッチングの分割処理の判定に用いる方法で対応できると考えられる。本手法は表 2 で示したように, 非常に高速に検出処理が行えるため, 検出精度の向上を目的とした他の処理の併用も十分に可能である。

次に, 画像中の存在人物数 (人物の密度) に対する検出率を求めたグラフを図 10 に示す。グラフから本手法における検出率の低下 (失報率の増加) は, 人物数の増加にほぼ比例していることがわかる。

なお, 今回の実験では動画撮影を曇天時に行ったため, 背景差分に対する人物の影の影響は比較的小さいものであった。しかし, 晴天時は影と背景のコントラストが高くなるため, 人物の影が背景差分に多大な影響を与えてしまう。こ



(a) 人物の完全な隠蔽 (b) 差分の精度不足

図 8 検出における失報例

Fig. 8. The sample of undetected people



(a) 人物の縦分割ミス (b) 肩部分の誤検出

図 9 検出における誤報例

Fig. 9. The sample of misdetection

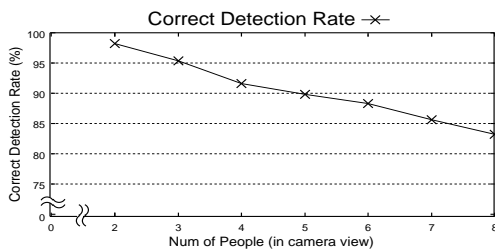


図 10 画像中の存在人物数に対する検出率の変動

Fig. 10. Detection rate for the number of people in camera view

の問題に対しては、晴天時における影の特徴を HSI 表色系を用いて表現し、この特徴から監視シーンの影領域を分離する手法 [15] などが提案されており、これらの手法を用いることで、影の影響を軽減できると考えられる。

〈5・2〉 人物計数実験 続いて、表 4 に計数実験の撮影環境及びパラメータ、図 11 に計数処理の一例を示す。図 11 では、人物が画像中央部付近を歩いている (a)。この歩行者はまず左側の計測線 L0 を通過する (b)。この時 (b) に示すように、歩行者の上半身の内接長方形が求められ、色ヒストグラムと通過位置情報が取得される。その後、数フレームに渡って L0 で計数処理が行われ、この歩行者の L0 の通過がカウントされる (L0 : 60 → 61)。次に歩行者は右側の計測線 L1 を通過し (c)、計数処理によってカウント数が 1 増加する (L1 : 61 → 62)。そして歩行者は 2 本の計測線通過を完了する (d)。この時、各計測線 L0, L1 のカウント数は共に 1 増加したので、計数システム全体としての計数結果が 1 増加する (Total : 66 → 67)。

計数処理に要する計算時間に関しては、一人の人物情報取得が 0.20msec、1 回の評価値算出が 0.01msec であった。

表 4 実験環境, パラメータ (人物計数実験)

Table 4. Parameters (experiment of counting)

撮影日時	11月1日, 午後2時30分頃
天候	曇り
カメラ設置位置	地上から約4メートル
俯角, 水平画角	15度, 34度
動画フレーム数	5700(190秒間)
画像中の最大人物数	11
フィルタリング分割幅	4pixel(最上部),16pixel(最下部)
閾値 W_t	6pixel(最上部),20pixel(最下部)
2本の計測線の位置	画像のY軸平行, $x = 150, 170$
評価値の閾値	0.75
対応付けのフレーム数 (T)	5フレーム
色ヒストグラムの要素数 (Q^3)	64(RGB各軸を4分割)



(a) フレーム 2728

(b) フレーム 2739



(c) フレーム 2753

(d) フレーム 2766

図 11 2本の計測線を用いた計数処理の一例

Fig. 11. The sample of counting process using two measurement lines

本手法は計数システムの全処理 (画像入出力, 検出処理, 2本の計測線を用いた計数処理) を含めた場合でも、実時間処理が実現可能であった。

次に表 5 に計測線単独、及び 2 本の計測線を用いる手法での計数正解率の結果を示す。計数実験における正解は、カウントされた人物の各情報 (通過位置, 色ヒストグラム) が正しく取得された場合のみを正解とした。計数実験の失報、誤報はそれぞれ、人物をカウントできなかった事例、人物以外をカウントした事例を表す。各計測線単独での正解率は 87.3%, 91.8% であり、単独でも高い精度が得られたが、2本の計測線を用いる手法では 93.3% の正解率が得られ、本手法の有効性が確認できる。2本の計測線を用いても計測できなかった 9 回の事例は全て、複数人物がほぼ完全に隠蔽された状態で、且つ同方向に歩く状況であった。これに関しては本手法が鉛直下向きのカメラ設置ではない以上、正確な計測は非常に困難であると考えられる。また、計測線単独の誤報数に対して 2本の計測線での誤報数が増加しているが、これは各計測線の計数結果の最大値をとっており、各計測線での誤報が必ず計数結果に含まれてしまうこ

表 5 人物計数実験結果 計数正解率
Table 5. The result of correct counting rate

	通過人数	計数正解数 (率)	失報数 (率)	誤報数
計測線 1($x = 150$)	134	117 (87.3 %)	17 (12.7 %)	4
計測線 2($x = 170$)	134	123 (91.8 %)	11 (8.2 %)	5
2本の計測線	135	126 (93.3 %)	9 (6.7 %)	8

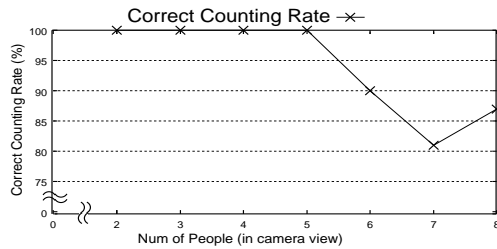


図 12 画像中の存在人物数に対する計数正解率の変動

Fig. 12. Correct counting rate for the number of people in camera view

とが要因である。各計測線での誤報は、検出処理の誤報が計測線上で生じることが要因であるので、〈5・1〉節で述べたように、検出精度向上を目的とした他の手法を併用することで対応できると考えられる。

次に、画像中の存在人物数に対する計数正解率を示したグラフを図 12 に示す。人物数が 5 人までの状況では 100% の正解率を示しているが、6 人以上の正解率が減少している。この原因としては、今回撮影した動画像では人物数が 6 人以上の場合に、上述した計測困難な状況が生じたためである。また、人物数が 7 人の場合に計測困難な状況の頻度が高かったため 7 人での正解率が低下しているが、基本的には図 10 の検出率と同様に、人物数の増加に応じて計数精度が低下すると考えられる。

6. むすび

本研究では、多数の人物が存在する環境に対応した新たな人物検出手法を提案し、更に検出手法の応用として人物計数システムを構築した。人物歩行像の領域変化の特徴から人物の上半身モデルを構築し、差分画像とモデルとのマッチング処理によって複数人物を検出するモデルベースの検出手法を提案した。そして差分画像のフィルタリング処理を導入し、検出処理における計算コストの低減を図った。人物計数システムでは、画像の任意の位置に計測線を設定し、人物の位置情報、色情報を用いて人物の計測線通過をカウントするアルゴリズムを導入した。

実験では、実際に多数の人物が断続的にカメラ視野に侵入する環境に対して検出手法、計数手法を適用し、計算量、精度の両面で良好な結果が得られることを確認した。

今後の課題として、検出精度向上を目的とした他の手法の併用を検討する予定である。

なお、本研究の一部は、財団法人日東学術振興財団の助

成による。

(平成 14 年 3 月 22 日受付, 同 14 年 8 月 27 日再受付)

文 献

- (1) 内田 恭輔, 三浦 純, 白井 良明, "雑踏における歩行者の追跡", 信学技報 PRMU99-209 pp.39-45 (2000)
- (2) 数藤 恭子, 大和 淳司, 伴野 明, 石井 健一郎, "入店客計数のためのシルエット・足音・足圧による男女識別法", 信学論 D-I Vol.J83 No.8 pp.882-890 (2000)
- (3) 長井 敦, 久野 義徳, 白井 良明, "複雑変動背景下における移動物体の検出", 信学論 D-II Vol.J80 No.5 pp.1086-1095 (1997)
- (4) 荒木 昭一, 横矢 直和, 竹村 治雄, "交差判定により分裂・統合する動的輪郭モデルによる複数移動物体の実時間追跡", 信学論 D-II Vol.J80 No.11 pp.2940-2948 (1997)
- (5) Sohaib Khan and Mubarak Shah, "Tracking People in Presence of Occlusion", Proc. of Asian Conference on Computer Vision, vol.2, pp.1132-1137 (2000)
- (6) 加藤 博一, 中澤 篤志, 井口 征士, "楕円体モデルを用いたリアルタイム人物追跡", 情処学論 Vol40 No.11 pp.4087-pp.4096 (1999)
- (7) G Sexton, X Zhang, G Redpath, D Greaves, "Advances in automated pedestrian counting", IEE ECOS95, pp.106-110, IEE publication No.408 (1995)
- (8) 小川 浩太郎, 杉村 宏治, 菅 泰雄, 辻谷 潤一: "画像処理を用いた自動通過人数計測システムの構築", 第 2 回動画画像処理実用化ワークショップ pp.18-22 (2001)
- (9) 間瀬 健二, "x-t 時空間画像を用いた歩行者の計数", 信学技報 IE90-43 pp.29-36 (1990)
- (10) 寺田 賢治, 田所 英昭, 山口 順一, "2本のななめ計測線を用いた通過人数計測", 電気学会論文誌 C 研究開発レター Vol.120-C, No.12, pp.2105-2106 (2000)
- (11) 村瀬 洋, V.V.Vinod, "局所色情報を用いた高速物体探索—アクティブ探索法—", 信学論 D-II Vol.J81 No.9 pp.2035-2042 (1998)
- (12) 伊藤 渡, 山田 浩正, 上田 博唯, 千葉 隆広: "映像監視システムにおける差分用背景画像の照度変化追従性向上の検討", 情処学研報 CVIM112-1 pp.1-8 (1998)
- (13) P.L. Rosin and T. Ellis, "Image difference threshold strategies and shadow detection", 6th British Machine Vision Conf, Birmingham, pp. 347-356 (1995)
- (14) Stan Birchfield, "Elliptical Head Tracking Using Intensity Gradients and Color Histograms", Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Santa Barbara, California, pp.232-237 (1998)
- (15) 園田 頼信, 緒方 敏博, 松野 洋輔, "監視画像における対象物と影の分離 - カラー情報の利用 -", 信学技報 PRMU99-19 pp.1-6 (1999)

中上 友宏 (非会員) 1977 年生。2000 年 3 月 名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業。2002 年 3 月 同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 4 月 富士通 (株) 入社。在学中は動画画像認識に関する研究に従事。平成 13 年度 電気関係学会東海支部連合大会奨励賞受賞。



松尾 啓志 (正員) 昭和 58 名工大・情報卒。昭和 60 同大学院修士課程修了。同年松下電器産業 (株) 入社。平成 1 名工大大学院博士課程修了。同年名工大・電気情報・助手。平成 8 名工大・電気情報・助教授。現在に至る。分散システム, 画像認識, 分散協調処理に関する研究に従事。工博。情報処理学会, 人工知能学会, IEEE 各会員。

