

ステレオビデオカメラを用いた 交通量算出システムに関する研究開発

吉田博哉[†] 村木広和^{††} 田中成典^{†††}
古田均^{†††} 西田義人[†] 藤巻重則^{††}

道路交通センサスは、全国の道路と道路交通の実態を把握する調査であり、平日および休日における歩行者、自転車、自動車の交通量を1時間ごとに調査する一般交通量調査や、駐車調査などがある。そのため、道路交通センサスを実施すると、地域環境や地域交通の現状を把握・分析することで、将来の交通量を予測できる。近年、情報技術の発達にともない、調査員の目視によって計測されていた交通量をデジタルビデオカメラで撮影した映像から流動情報を自動的に計測する研究が幅広く行われつつある。しかし、既研究では、混雑時において正確に人数を計測するには、膨大な演算量が必要であるため、汎用的で高精度な人物検知手法の確立が切望されている。そこで、本研究では、ヒストグラムから抽出した粗い動体領域の対応点を算出し、動体領域の三次元座標を計測する。そして、動体領域の三次元情報をもとにクラスタ分析を用いて人物分離を行い、動体領域のラップ率から人物の流動を計測するシステムを開発した。

A Research on Traffic Calculation Using Stereo Video Camera

HIROYA YOSHIDA,[†] HIROKAZU MURAKI,^{††} SHIGENORI TANAKA,^{†††}
HITOSHI FURUTA,^{†††} YOSHITO NISHITA[†] and SHIGENORI FUJIMAKI^{††}

A road traffic census is an investigation to grasp the realities of road traffic in Japan, and there are the general traffic density investigation and the parking investigation. Especially, the general traffic density investigation measures various traffics of the pedestrian, the bicycle, and the car every one hour on weekday or holiday. Therefore, grasping a local environment and a local traffic density can be estimated the traffic for the future by executing road traffic census. Until now, investigators manually performed the traffic. Recently, with a development of information technology, many researchers are carrying out researches can automatically be measured using the animation filmed with the digital video camera. However, existing researches are required for huge computational complexity to realize the accurate measurement at congested time. Then there is a demand for establishment of a general-purpose method to accurately measure. Therefore, in this research, we calculated the three-dimensional coordinates of the movement body area based on corresponding points of the rough movement body area extracted with histogram of brightness. And we have developed the system separates the movement body area from people by carrying out cluster analysis base on the three-dimensional coordinates of the movement body area, and measures a people flow based on lap probability of the movement body area.

1. はじめに

道路の整備計画は、地域環境や地域交通の現状を把握・分析し、将来の交通量を予測したうえで策定する。そして、現状の交通量を把握するために、道路交通セ

ンサスが定期的実施されている。道路交通センサスは、全国の道路と道路交通の実態を把握する調査であり、平日および休日における歩行者、自転車、自動車の交通量を1時間ごとに調査する一般交通量調査や、駐車調査などがある。これらの情報は、道路計画・管理に活用し、各種の道路政策を策定するうえでの基礎資料となる。しかし、交通量調査は、調査員がカウンタを片手に目視で計測する方法が採用されているため、長時間の計測による計測ミス¹⁾や膨大な人件費が発生するという問題点がある。そのため、デジタルビデオカメラで撮影した映像をもとに画像処理技術²⁾を用い

[†] 関西大学大学院総合情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kansai University

^{††} アジア航測株式会社

Asia Air Survey Co., Ltd.

^{†††} 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

て交通の流動情報を自動的に計測する研究が行われている。しかし、既研究^{3),4)}では、車両の通過台数を計測しているが、対象となるオブジェクトを車両に限定しているため、人の通過人数を計測することができない。また、人の通過人数を計測する研究⁵⁾では、人と人が重なり合うような混雑時において、正確に計測できないといった問題がある。その問題を解決するため、既研究^{6),7)}では、人と人の重なりをなくすために、上空から鉛直下向きにカメラを設置して計測する方法を採用しているため、カメラの設置場所が限定されるという問題がある。また、既研究⁸⁾では、カメラの設置位置を限定しない人物検知システムを採用しているが、多数の三次元座標を計測するため、膨大な演算量が必要となる。そのため、既研究の問題点である演算量を削減し、混雑時においても正確に人物を計測する手法の確立が切望されている。

そこで、本研究では、2台のデジタルビデオカメラによるステレオ画像を用いて、画像内のヒストグラムを求め、その形状の類似性に基づき、粗い対応点を求めた後に、対応点補正を行う。そして、削減された対応点から、動体領域の三次元座標を算出したうえで、交通量の人数と方向を自動算出するシステムを開発する。本システムでは、三次元座標を利用するため、人と人が重なるような混雑時においても、正確な通過人数の計測を実現する。本稿では、本システムを利用して、屋外で行った計測実験について検証し、その有効性を示す。

2. 研究の概要

本研究では、2台のデジタルビデオカメラによるステレオ画像を用いて、画像内の動体領域の三次元座標を算出したうえで、人の計測を自動算出するシステムを開発する。本システムでは、図1に示すように、2台のデジタルビデオカメラによって撮影された動画像と、人物が写っていない背景画像を入力情報とする。処理の流れは、まず、入力した動画像と背景画像から動体領域を抽出する。次に、抽出した動体領域の三次元座標を取得する。そして、取得した三次元座標をもとに動体領域を分離・結合する。最後に、フレーム間において追跡した動体領域の追跡結果をもとに画像内を通過した人数を計測する。

3. 動体領域の抽出

動体領域の抽出では、入力情報である動画像をもとにフレーム単位に分割したフレーム画像を取得し、動体領域を抽出する。抽出方法としては、次に示す処理

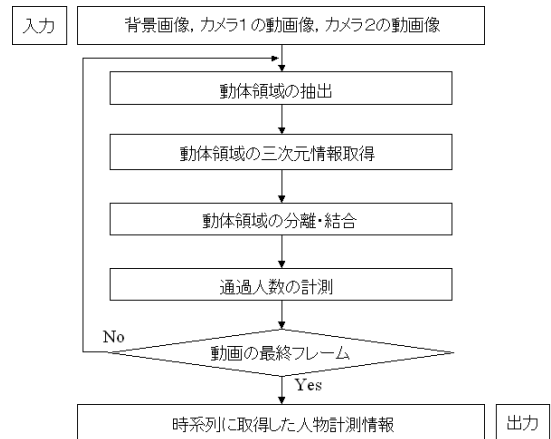


図1 システムの処理フロー
Fig.1 Process flow of system.

の流れで動体領域を抽出する。

- (1) 背景差分による領域の抽出
- (2) フレーム間差分によるエッジ補完
- (3) 平滑化処理によるノイズ除去

3.1 背景差分による領域の抽出

本機能では、取得したフレーム画像と背景画像を用いて背景差分を行い、動体領域を抽出する。背景差分とは、背景画像を用いてフレーム画像から移動物体を抽出する手法である。しかし、背景差分は、画像内に光量変化が発生すると精度が低下する問題がある。そのため、背景画像と動画像との撮影時間に大きな差がある場合、動体領域を正確に抽出できない。そこで、前処理として、HSV変換を行い、フレーム画像を色相(H)、彩度(S)、明度(V)に分解する。そして、光量変化の影響を受ける明度を除いた色相、彩度それぞれに対して背景差分を行い、差分結果を2値化する。閾値の算出方法として、大津の方法⁹⁾がよく知られている。この方法は、画像中の物体認識を想定しているが、差分画像では輝度値が0となる画素が多いためこの方法を適用すると不適切な判別を行う¹⁰⁾。特に、動体領域が存在しない場合、全画素が背景であるが、この方法では、適当な閾値を算出してしまいノイズが多く残る。そこで、本研究では、差分画像の平均と分散をもとに閾値を算出する方法を選択した。2値化に用いる閾値の算出方法を次式に示す。

$$\bar{g} = \frac{1}{N} \left(\sum_{x=1}^N g(x) \right) \quad (1)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{x=1}^N g(x)^2 \right) - \bar{g}^2} \quad (2)$$



図 2 背景差分 (色相)

Fig. 2 Background subtraction by hue.



図 4 フレーム間差分

Fig. 4 Frame subtraction.



図 3 背景差分 (彩度)

Fig. 3 Background subtraction by saturation.

$$Th = \bar{g} + \alpha \delta \quad (3)$$

なお、 $x(1, 2, \dots, N)$ は、画素を表し、 $g(x)$ は、各画素の差分結果を表す。また、 α は、重み付けのための定数を表し、本システムでは、経験的な値として、色相の画像における 2 値化の場合、 $\alpha = 1.0$ 、彩度の画像における 2 値化の場合、 $\alpha = 0.5$ に設定した。そして、その結果を重ね合わせた画像を生成する。色相による背景差分、彩度による背景差分を図 2 と図 3 に示す。

3.2 フレーム間差分によるエッジ補完

背景差分によって抽出した動体領域には、断片的な部分が存在するため、ラベリングで人物分離を行うことが困難である。そこで、本研究では、異なるフレーム画像の差分から、移動物体の変化領域を抽出するフレーム間差分の特徴に着目した。フレーム間差分を行うと、変化領域のエッジを検出することができる。そのため、本機能では、フレーム間差分を行い、色相と彩度の背景差分に重ね合わせて、断片的な部分を補完する。フレーム間差分の差分結果の 2 値化にも、上記の式を適用し、 $\alpha = 0.1$ として算出した。フレーム間

差分の結果画像を図 4 に示す。

3.3 平滑化処理によるノイズ除去

背景差分とフレーム間差分画像を重ね合わせることで、断片的な部分を補完した画像を生成した。しかし、本画像では、細かいノイズが存在する。そこで、本システムでは、ピクセルに含まれる黒画素数と白画素数を比較し、画素数が多い色をピクセルの色とすることで、細かなノイズの除去を行う。なお、本システムでは、ピクセルのサイズを 11 画素 × 11 画素とする。

4. 動体領域の三次元情報取得

抽出した動体領域から、通過人数を計測するには、人物ごとに動体領域を分離する必要がある。しかし、人と人が重なり合うような混雑した状況において、二次元情報のみをもとに動体領域を分離することは困難である。そこで、三次元座標を取得するには、2 台のデジタルビデオカメラでステレオ撮影を行い、左右の画像の対応した同一点である対応点を自動で取得し、その三次元座標を算出した。

対応点を自動で取得するには、フレーム間差分画像をもとに、動体領域のエッジを検出する。しかし、フレーム間差分画像には、細かいノイズが存在する。そこで、人物のエッジは、縦方向のエッジが横方向エッジより多く存在する特徴を利用した。まず、図 5 と図 6 に示すように縦方向に対して 10 画素ごとに輝度値を積算し、ヒストグラムを生成する。次に、そのヒストグラムから極大となる点を算出し、その点の積算値が 1,000 以上となる点を対応点の候補とする。最後に、左画像において取得した点を右方向に 300 画素ずらし、右画像においてその画素の周辺に取得した点が存在するかどうか判定する。右画像に点が存在した場合、その点の組を三次元計測の対応点とする。

この手法によって得られた 2 台のデジタルビデオカ

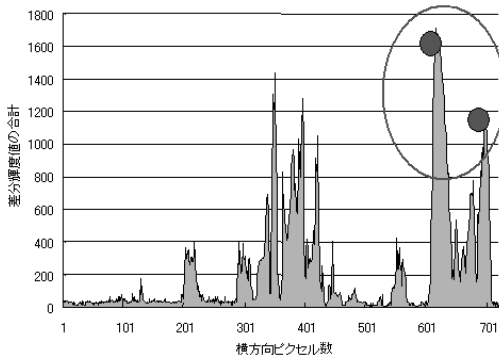


図 5 左カメラ画像の輝度値

Fig. 5 Brightness of left camera image.

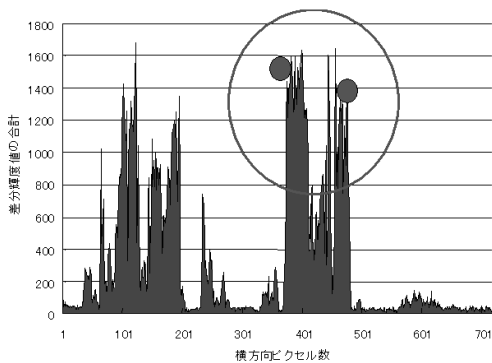


図 6 右カメラ画像の輝度値

Fig. 6 Brightness of right camera image.

メラにおける対応点には、多少の誤差が生じる。そのため、取得した左右の対応点付近においてテンプレートマッチングを行い、対応点を補正する。具体的には、左画像で取得した対応点を中心とした 32 画素 × 32 画素の画像をテンプレートとして、右画像で取得した対応点を中心とした 128 画素 × 128 画素の画像内を走査し、以下の式を用いて相関値を求め、相関値が最大となる点を右画像の対応点とする。

$$\bar{f} = \sum_{x=1}^N f(x) \quad (4)$$

$$\bar{s} = \sum_{x=1}^N s(x) \quad (5)$$

$$R = \frac{\sum_{x=1}^N (f(x) - \bar{f})(s(x) - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{x=1}^N (f(x) - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{x=1}^N (s(x) - \bar{s})^2}} \quad (6)$$

なお、 $f(x)$ は左画像の輝度値を表し、 $s(x)$ は右画像

の輝度値を表す。自動的に取得された対応点は、ステレオ計測法を用いて、三次元座標を算出する。

5. 動体領域の分離・結合

背景差分やフレーム間差分で算出した領域は、複数人の動体領域の集合体である。そこで、抽出した動体領域から通過人数を計測するには、人物ごとに動体領域を分離・結合する必要がある。動体領域の分離・結合方法としては、次に示す処理の流れで動体領域を分離・結合する。

- (1) 色情報による動体領域の分離・結合
- (2) クラスタ分析による動体領域の分離・結合

5.1 色情報による動体領域の分離・結合

ビデオ画像の色は、RGB の 3 原色が各 256 階調の情報を持っており、その組合せである 1,677 万色が表現可能である。そのため、同一色のシャツでも数十の領域として抽出されることがある。そこで、過剰な色情報を削除したうえで、人物ごとの動体領域に分離するために、本システムでは、動体領域に対して平滑化処理と減色処理を行い、色情報を減少させたうえでラベリングを行う。平滑化と減色処理を行った画像および色情報のみで行ったラベリング画像を図 7 と図 8 に示す。

5.2 クラスタ分析による動体領域の分離・結合

色情報のみでラベリングを行った場合、人物ごとに動体領域を分離できておらず、一人物に対して、複数のラベルが付加されている。そこで、色情報で行ったラベリングに対してクラスタ分析を行い、グループ化を行う。クラスタ分析では、クラスタを形成する際に、オブジェクト間の非類似度や距離を定義して、凝集または結合ルールに則ってグループ化を行う。本研究では、人物のエッジにおける三次元座標を距離測定として、ワード法¹¹⁾を利用して各クラスタの凝集または結合を評価した。

ワード法では、各対象について、 m 次元の観測値から求められるクラスタ (p) に含まれる i 番目の対象を考え、その変量に関する観測値を $x_{ij}(p)$ と表せば、クラスタ (p) 内の分散の和の合計は次式で表される。

$$S_p = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_p} (x_{ij}(p) - \bar{x}_j(p))^2 \quad (7)$$

(p) と (q) を融合してクラスタ (t) を生成するとき、クラスタ内平方和における合計の増分である ΔS_{pq} は次式で表される。



図 7 平滑化 + 減色処理

Fig. 7 Smoothing and color reduction process.



図 8 色情報のみで行ったラベリング画像

Fig. 8 Labeling with color information only.

$$\Delta S_{pq} = \frac{n_p n_q}{n_p + n_q} \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i(p) - \bar{x}_i(q))^2 \quad (8)$$

なお、上記式の n_p , n_q は、クラスタの大きさである個数を表す。ワード法は、クラスタ内平方和が、できるだけ小さいことを望ましいと考え、各段階でクラスタの融合による平方和の増分 ΔS_{pq} が最も小さい (p) と (q) を融合する。そのため、クラスタ (p) と (q) の非類似度 d_{pq} として ΔS_{pq} を用いる。2つのクラスタ (p) と (q) を融合して生成されたクラスタ (t) と、別のクラスタ (r) を融合する際の非類似度 d_{tr} の更新式は次式で表される。

$$d_{tr} = \frac{n_p + n_r}{n_t + n_r} \Delta S_{pr} + \frac{n_q + n_r}{n_t + n_r} \Delta S_{qr} - \frac{n_r}{n_t + n_r} \Delta S_{pq} \quad (9)$$

本手法では、クラスタリングを繰り返し、グループ化された領域に対して人物 ID を付加する。人物 ID が与えられた領域が個々の人として特定される。ただし、グループ化された面積が小さい場合は、ノイズと判断し、人物 ID を付加しない。

6. 通過人数の計測

距離を用いたクラスタ分析では、完全に正確なラベル結果を得ることができない。これは、分離・結合された動体領域は、人物ごとに分離された領域の候補であり、動体領域は、数フレーム間において分離・結合を繰り返す。そのため、1フレームのみで通過人数を特定することは困難である。そこで、数フレーム間において動体領域を追跡して同一人物を把握し、追跡結果を求める手法が必要である。本研究での通過人数の計測方法としては、次に示す処理の流れで通過人数を計測する。

- (1) ラップ率による人物追跡
- (2) 計測アルゴリズムによる人数計測

6.1 ラップ率による人物追跡

動体領域から人数を判別する際、分離した人物ごとの動体領域に不完全な部分があるため、通常の動体領域追跡手法に使われるテンプレートマッチング^{(12),(13)} や近傍の重心位置検索^{(14),(15)} の方法が利用できない。また、オプティカルフローを算出することにより動体領域を追跡する手法^{(16),(17)} もあるが、人物が重なり合い、動体領域がラップするため不向きである。そこで、各動体領域のフレーム間でのラップ率を記録し、そのラップ率の数フレーム間の変遷から動体領域を追跡するアルゴリズムを考案した。ラップ率による動体領域の追跡の概念図を図 9 に示す。

本手法は、フレーム間において同一人物の領域の大部分がラップすることに着目した。具体的には、連続するフレーム間の人物分離画像を重ね合わせ、現在の動体領域が過去の動体領域とどの程度ラップしているかを計算する。図 9 の場合、処理フレーム画像 $f(n)$ と t 秒後の処理フレーム画像 $f(n+1)$ で算出したラベリングの結果をもとにラベリングされた面積のラップ率を求め、50%以上は関連強、20-50%は関連弱、20%以下は関連なしとして、同一人物かどうかの判定を行う。

6.2 計測アルゴリズムによる人数計測

長時間の追跡結果から通過人数を判断する場合は、分離・統合を繰り返す動体領域を複数人なのか単数人なのかを判断させるアルゴリズムが必要である。そこで、分離・統合を繰り返す数フレーム間の追跡結果から人数を判断するアルゴリズムを考案した。アルゴリズムの概念図を図 10 に示す。

本アルゴリズムでは、処理フレーム画像 $f(n)$ から人物を判断するために、最大で処理フレーム画像 $f(n-5)$ からの追跡結果を参照して、連続して 3 処

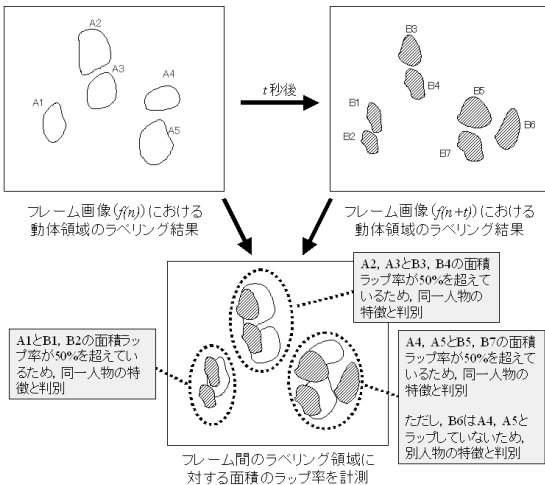


図 9 ラップ率による動体領域の追跡の概念
Fig.9 Concept of tracking movement body area with lap probability.

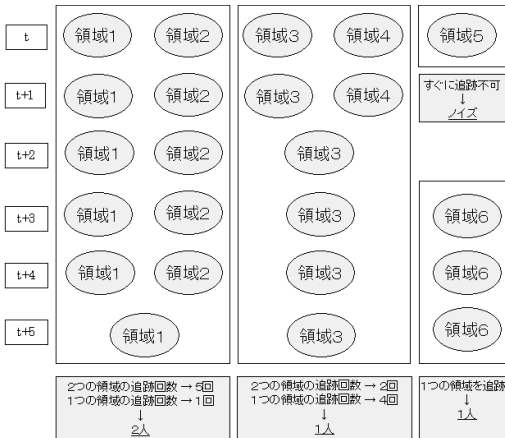


図 10 人数判断アルゴリズムの概念
Fig.10 Concept of counting algorithm.

理フレーム以上追跡した場合、その領域を 1 人として計測する。同様に動体領域が分離し、3 処理フレーム以上連続した場合、2 人として計測する。

本アルゴリズムは、図 10 に示すように動体領域ごとに割り振られたラベルが分離・統合を繰り返した場合においても、長期的な追跡結果を確認することにより正確な人数を判断できる。また、短期間しか追跡できなかった場合は、通過人数として計測しないため、ノイズ除去も行うことができる。

7. システムの実証実験と考察

本実証実験では、本研究で考案した手法の有効性を示すため、図 11 に示すような混雑した状況において、通過人数を正確に計測できるかの実証実験を行った。



図 11 計測画像
Fig.11 Measuring image.

表 1 カメラの仕様
Table 1 Specification of camera.

	パラメータ値
焦点距離	6.000 mm
CCD 素子間隔	0.007083 mm
解像度 (縦)	480 pixel
解像度 (横)	720 pixel
カメラ間の距離	100 cm

なお、通過人数の計測を開始、終了する領域を画面の上下に設定し、ビデオカメラで撮影された人間の上方方向への通過人数および下方方向への通過人数を計測した。

7.1 実証実験と結果

本実験では、交通量算出の性能を評価するため、屋外にカメラを取り付け、視野内を移動する人をカウントする実験を行った。なお、撮影条件として、表 1 に示す 2 台のデジタルビデオカメラとカメラを固定するための装置を用いて、カメラ高を約 4.0 m、俯角を 40 度に設定し、階段面に対してステレオ撮影を行った。本実験では、設置したカメラの処理フレーム画像から、計測エリア内に侵入した動体領域の抽出を行うために、色相と彩度を利用した背景差分 (図 12) を行い、動体領域のエッジを抽出するためにフレーム間差分の結果と結合 (図 13) し、ノイズの除去 (図 14) を行った。さらに、図 15 に示すようにクラスタ分析による人物領域を分離・結合し、人物追跡による人数計測を行った。

なお、本実験では、CPU が Pentium IV 3 GHz でメモリが 2 GB のパソコンを使用し、1 秒ごとに処理フレームを取得することで、リアルタイム処理を実現した。

7.2 結果と考察

システムの実証実験として、混雑度の低い場合と、混雑度の高い場合の 2 種類の動画を用意し、1 分ごと

表 2 実験結果

Table 2 Experiment result.

		1 分ごとの計測値 (人)										合計 (人)	認識率 (絶対評価)
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10		
計測動画 1 (重なり度: 低)	上り	11(12)	15(16)	21(23)	9(9)	12(12)	8(8)	11(12)	9(9)	8(9)	11(12)	115(122)	94.3%
	下り	5(5)	8(9)	12(15)	14(16)	6(6)	8(9)	15(18)	18(21)	11(12)	14(16)		
計測動画 2 (重なり度: 高)	上り	23(26)	29(30)	17(17)	32(35)	35(37)	25(27)	23(24)	24(26)	15(17)	20(23)	243(262)	92.7%
	下り	6(6)	12(13)	8(10)	15(18)	32(36)	35(40)	14(16)	9(11)	15(18)	14(17)		



図 12 背景差分(色相 + 彩度)

Fig. 12 Background subtraction by hue and saturation.



図 14 ノイズ除去後の動体領域

Fig. 14 Image after noise reduction.



図 13 背景差分 + フレーム間差分

Fig. 13 Background subtraction and frame subtraction.

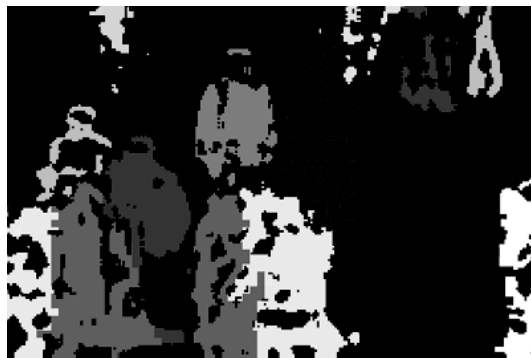


図 15 クラスタ分析による動体領域の分離・結合

Fig. 15 Separation and combination of movement body area with cluster analysis.

の計測値と実測値を計り、10 分間における認識率を算出した。また、システムの時間ごとにおける計測の認識率は、表 2 に示すように、上り 92%以上、下り 86%以上であった。この結果より、下りの認識率が上りの認識率より約 6%程低いことが分かった。その原因としては、上りと下りの移動速度の違いが考えられる。本システムでは、人物を追跡する際の人物領域の重なり合う割合を上りの場合と下りの場合とで同じ値に設定している。しかし、一般的に人物が階段を移動する速度は、上りに比べて下りの方が速い。そのため、階段を下る人物を追跡できないことがあり、その結果、下りの人数が実測値より少なく計測したと考えられる。

本システムでは、下りの認識率が劣るものの、全体を通して、90%以上の認識率を得ることができた。手動で交通量を計測する場合、誤差が 1 割以上あると報告されている。そのため、本システムが、混雑した状況において正確に計測可能であることを実証できた。

8. おわりに

本研究では、計測エリア内に侵入した動体領域の抽出を行い、取得した人物の特徴から動体領域を追跡し、高精度な人数計測システムを開発した。本システムを用いることによって、次に示す内容を実現した。

- 混雑空間内での動体領域抽出
- 動体領域から特徴を分離・結合
- 人物追跡による人数計測

そして、実証実験より、本システムの認識率は、すべての実験において、90%以上の認識率であり、混雑した空間においても正確に通過人数を計測した。なお、混雑した条件下とはいえ、本システムの実験に用いたシーケンスは、人の動きの方向が上下方向と明確に限定できる条件のもとで得られたものである。本来の交通量算出の場合も、このような人の動きが明確に分離できる場所で計測を行い、スクランブル交差点のように、まちまちな方向が交わるような場所では計測しないのが一般的である。また、本研究では、画像全体における厳密な距離画像を計算することなく、動体領域のエッジの情報を縦方向に射影したヒストグラムをもとに粗い対応点を求め、原画像においてテンプレートマッチングを用いて対応点の補正を行った。その結果、距離画像の生成において大幅な演算量の削減が可能となった。そして、得られた距離画像から人と人との重なり合いを分離・結合するため、ウォード法によるクラスタ分析を行うことにより、単純に色情報のみで行った場合と比較して良好なラベル結果を得ることができた。その結果、距離情報を人物の縦方向のエッジに関する情報に限定しても人と人との重なりを分離・結合するには十分な情報であるということが確認できた。

本システムでは、移動速度の関係で認識率の精度が低下する。そのため、移動速度にかかわらず、計測精度を向上させることが今後の課題である。また、本システムでは、夕日が当たるような長時間の計測は、色相や彩度に影響が出やすいため、今後の課題である。本システムを応用すれば、高速移動体の計測や、車種判別など、道路交通センサスへの適用から、顧客の店舗内動線分析といったマーケティング分野でも応用可能である。

参 考 文 献

- 1) 鹿島 茂, 曹 圭錫, 山本 隆, 石井康一郎: 人手による交通量調査の調査精度に関する研究, 交通工学, Vol.33, No.6, pp.36-43, 交通工学研究会 (1998).
- 2) 画像処理ハンドブック編集委員会: 画像処理ハンドブック, 昭晃堂 (1987).
- 3) 諏訪正樹, 相濱知禎, 光本大輔, 麻生川佳誠, 来海雅俊: 交通流計測のためのステレオビジョン, 画像ラボ, Vol.15, No.12, pp.47-51, 日本工業出版 (2004).
- 4) 内村圭一, 松島宏典: オクルージョンを考慮した交通流計測, 電気学会論文誌, Vol.122, No.12, pp.2120-2127, 電気学会 (2002).
- 5) Terada, K., Ando, T. and Yamaguchi, J.: Counting Passers-by Using a Color Camera, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.11, No.2, pp.123-128, Fuji Technology Press (1999).
- 6) 寺田賢治, 吉田大輔, 大恵俊一郎, 山口順一: ステレオカメラを用いた通行人数の自動カウント, 電気学会論文誌, Vol.120, No.1, pp.850-856, 電気学会 (2000).
- 7) Kim, J.W., Choi, K.S., Choi, B.D. and Jea, K.S.: Real-time System for Counting the Number of Passing People Using a Single Camera, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.2781, pp.466-473, Springer Berlin (2003).
- 8) 池谷 崇, 諏訪正樹, 麻生川佳誠, 来海雅俊: 重なりに強いステレオ型人間検知システム, 画像ラボ, Vol.15, No.11, pp.53-56, 日本工業出版 (2004).
- 9) 大津展之: 判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法, 電子通信学会論文誌, Vol.63, No.4, pp.349-356, 電子通信学会 (1980).
- 10) 讓田賢治, 坪内貴之, 菅谷保之, 金谷健一: 移動ビデオカメラ画像からの運動物体の抽出, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会研究報告, Vol.143, No.6, pp.41-48 (2004).
- 11) Anderberg, M.R., 西田英郎, 佐藤嗣二, 江藤香, 寺尾 裕, 宮井正彌: クラスタ分析とその応用, 内田老鶴園 (1988).
- 12) 斉藤慎也, 佐治 斉: テンプレートの可変分割と統合による人物の動作追跡, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会研究報告, Vol.104, No.290, pp.33-39 (2004).
- 13) 天本直弘, 藤井明宏: 画像処理技術による障害物検出と移動物体追跡方法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.81, No.4, pp.527-535, 電子情報通信学会 (1998).
- 14) 金吉雅人, 真道雅人, 及川徹也: 2眼カメラ残像による移動体の検出と追跡 II-Ellipse Fitting, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会研究報告, Vol.2003, No.109, pp.127-134 (2003).
- 15) 羽下哲司, 鷲見和彦, 八木康史: 時間平均シルエットを用いた能動カメラによる人の追跡, 電子情報通信学会論文誌, Vol.88, No.2, pp.291-301, 電子情報通信学会 (2005).
- 16) 森田俊彦: 局所相関演算による動きの検出と追跡, 電子情報通信学会論文誌, Vol.84, No.2, pp.229-309, 電子情報通信学会 (2001).
- 17) 岡田隆三, 白井良明, 三浦 純: オプティカルフローと距離情報の統合による3次元運動する人間の追跡, 電子情報通信学会パターン認識・メ

ア理解研究会研究報告, Vol.98, No.528, pp.9-16 (1999).

(平成 17 年 10 月 18 日受付)

(平成 18 年 4 月 4 日採録)



吉田 博哉 (学生会員)

1980 年生。2002 年関西大学総合情報学部卒業。2004 年関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士前期課程修了。現在、同大学院総合情報学研究科総合情報後期課程在学中。修士(情報学)。知識情報処理を用いた人物追跡に関する研究に従事。2000 年(株)関西総合情報研究所入社、現在に至る。Web アプリケーション、データマイニング等の研究開発に従事。土木学会学生会員。



村木 広和

1963 年生。2001 年関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士前期課程修了。2005 年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士後期課程修了。博士(情報学)。1982 年アジア航測(株)に入社、現在に至る。デジタル測量への知識情報処理技術の適用に関する研究開発に従事。土木学会、写真測量学会、日本測量協会各会員。現在、土木学会土木情報システム委員会・編集部会委員。



田中 成典 (正会員)

1963 年生。1986 年関西大学工学部土木工学科卒業。1988 年関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程修了。同年(株)東洋情報システム(現 TIS)に入社、知識情報処理システムに関する研究受託開発業務に従事。1994 年関西大学総合情報学部専任講師。1997 年助教授。2003 年教授、現在に至る。博士(工学)。2002 年 8 月から 1 年間カナダの UBC にて客員助教授。専門は知識工学と土木情報学。2000 年(株)関西総合情報研究所を起業。土木学会、GIS 学会、IABSE、人工知能学会、日本知能情報ファジィ学会と情報知識学会、各会員。現在、土木学会土木情報システム委員会幹事長、国土交通省建設情報標準化委員会委員、ISO/TC184/SC4 委員。



古田 均

1948 年生。1971 年京都大学工学部卒業。1973 年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。1976 年同大学院工学研究科博士課程修了。同年京都大学工学部助手。その後講師、助教授を経て、1994 年関西大学総合情報学部教授、現在に至る。その間、米国バディー大学客員助教授、米国プリンストン大学客員研究員、2004~2005 年米国コロラド大学客員教授。構造物の信頼性解析、最適設計、ライフサイクルコスト解析、ソフトコンピューティングの構造設計・維持管理への応用に関する研究に従事。著書に『ファジィ理論の土木工学への応用』、『建築土木技術者のためのファジィ理論入門』、『遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用』、『Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems』等。日本知能情報ファジィ学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会、土木学会、日本建築学会、日本材料学会、日本鋼構造協会、ASCE 各会員。



西田 義人 (学生会員)

1981 年生。2005 年関西大学総合情報学部卒業。現在、関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士前期課程在学中。写真測量、画像処理に関する研究に従事。2003 年(株)関西総合情報研究所入社、現在に至る。CAD アプリケーションに関する研究開発に従事。



藤巻 重則

1975 年生。1998 年長岡技術科学大学工学部卒業。2004 年長岡技術科学大学大学院博士前期課程修了。2000 年アジア航測(株)入社、現在に至る。写真測量、画像処理に関する研究開発に従事。日本写真測量学会、日本都市計画学会に所属。