

## I-12 混雑空間内における人物流動計測システムの研究開発

## Research Development on People Flow Measurement in Crowded Space

吉田博哉<sup>1</sup>田中成典<sup>2</sup>古田均<sup>2</sup>

Hiroya Yoshida

Shigenori Tanaka

Hitoshi Furuta

**抄録：**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、平日及び休日における歩行者、自転車、自動車の交通量を一時間毎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・分析する事で、将来の交通量を予測できる。近年、情報技術の発達に伴い、監視員によってカウントされていた交通量計測が、ビデオカメラで撮影した映像を基に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が、汎用的で高精度な人物検知手法は確立されていない。そこで、本研究では、背景差分法や平滑化処理で動体領域を特定し、ラベリング処理で人物の特徴を抽出し、ラベリング面積のラップ率の変化で人物の流動を計測するシステムを開発した。また、本研究では、エレベータのような混雑空間を想定し、より汎用的で高精度な人物流動計測システムを目指す。

**Abstract:** A road traffic census is an investigation to understand the realities of the road traffic in Japan, and there are the general traffic density investigation and the parking investigation. Especially, the general traffic density investigation measures the traffic of the pedestrian, the bicycle, and the car every one hour on the weekday or holiday. Therefore, grasping local environment and local traffic density can be estimated the traffic for the future by executing road traffic census. Recently, with a development of information technology, the traffic density investigation can automatically be measured using the animation filmed with the video camera. In an existing research, a general and highly accurate method of detecting people is not established. Then, in this research, we try to establish it. Firstly, the area of people is specified by the background difference method and the smoothing process. Secondly, the feature of people is extracted by the labeling. Finally, the movement of people is measured from the area lap rate of the labeling. This research is applied to the crowded space like the elevator, and we aim for the development of a general and highly accurate system for measuring the flow of people.

**キーワード：**道路交通センサス、人物流動計測、背景差分法、平滑化処理、ラベリング処理、面積ラップ率

**Keywords :** Road Traffic Census, People Flow Measurement, Background Subtraction Method, Smoothing Process, Labeling Process, Area Lap Percentage

## 1. はじめに

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、平日及び休日における歩行者、自転車、自動車の交通量を一時間毎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・分析する事で、将来の交通量を予測できる。これら交通量調査によって得た情報は、道路の整備計画や維持管理に活用し、各種の道路政策を策定する上での基礎資料となる。なお交通

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。しかし、現在の計測方法は、計測地点毎に調査員を配置するため、計測地点での離散的な交通量しか取得できず、膨大な時間と人件費が必要となる。そこで、近年、IT技術の進展に伴い、移動対象をシステム上から自動追尾する事で、連続的な移動履歴を取得し、交通量を流動情報としてモデル化<sup>1) 2)</sup>し、分析・評価<sup>3)</sup>する手法が考案されている。

移動対象をシステム上から自動追尾する手法の1つとして、GPSや移動体通信システムを利用する研

1 : 学生会員 情修 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 2-1-1, Tel :072-690-2404, Fax :072-690-2491)

2 : 正会員 工博 関西大学 教授 総合情報学部総合情報学科

(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺 2-1-1, Tel :072-690-2404, Fax :072-690-2491)

究<sup>4)</sup>が挙げられる。しかし本手法では、位置情報を取得する媒体の精度に依存するため、計測地点によっては、精度の悪い結果となる。そこで、ビデオカメラで撮影した映像を基に人物の流動情報を自動的に計測する研究が幅広く行われている。

しかし、既研究<sup>5) 6)</sup>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<sup>7) 8)</sup>では、ステレオビジョンによる計測手法を採用しており、カメラ設置にかかる費用が膨大となる。そのため、より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、1台のビデオカメラで撮影された映像を用いて、エレベータのような混雑空間を想定した、より汎用的で高精度な人物流動計測システムを開発する。本稿では、本システムを利用して、実証実験について述べ、その有用性を示す。

## 2. システムの概要

本研究では、1台のビデオカメラで撮影された映像を用いて、混雑空間内を想定した人数の計測情報を取得するシステムを開発する。本システムでは、入力データとして、デジタルビデオカメラによって撮影されたビデオ画像と人物が写っていない背景画像、計測対象とする計測領域、被写体の直立方向ベクトルを利用する。また、本システムでは、図-1に示すように、1) 計測エリアにおける内外判定、2) 動体領域抽出機能、3) 人物特徴取得機能、4)

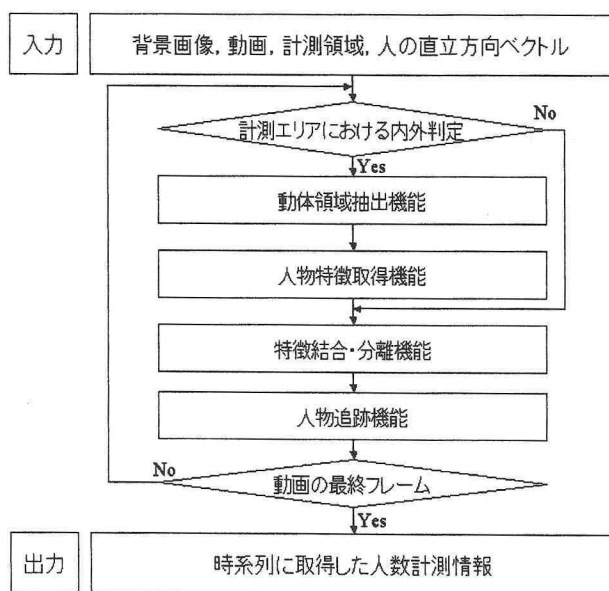


図-1 システム処理の流れ

特徴結合・分離機能、5) 人物追跡機能、の5つの機能から構成される。

本システムでは、まず、計測エリアにおける内外判定を行い、追跡の開始や終了の判別を行う。次に動体領域抽出機能処理する事で、背景差分及びフレーム間差分を用いて動体領域を抽出する。そして、人物特徴取得機能において、抽出した各動体領域の特徴を抽出する。さらに、特徴分離・結合機能によって異なるフレームにおけるラベリングされた面積のラップ率を算出し、人物の特徴を分離・結合する。最後に、人物追跡機能において、人物の追跡を行い、行動履歴情報を取得する。

## 3. 計測エリアにおける内外判定

人物の追跡を行う場合、計測エリアに進入した瞬間に人物の特徴を取得し、追跡を行う。また、計測エリア内から退出した場合、追跡を終了する必要がある。そこで、本機能では、図-2に示すように内外判定領域を指定し、人の特徴領域が閾値以上、内外判定領域と重なる場合、内外判定を行う。

計測エリアにおける内外判定は、前フレームまでに特徴情報を取得していない場合、その人物が進入したと判定し、計測人数に加算した上で、追跡を開始する。また、前フレームまでに特徴情報を取得している場合、その人物が退出したと判定し、計測人数を減算し、追跡を終了する。

## 4. 動体領域抽出機能

本機能では、処理フレーム画像の計測領域に対して、動体領域を抽出する。抽出方法としては、まず、背景差分を用いて領域を抽出し、次に、フレーム間差分を用いてエッジを補完し、最後に、平滑化処理を用いてノイズを除去する。

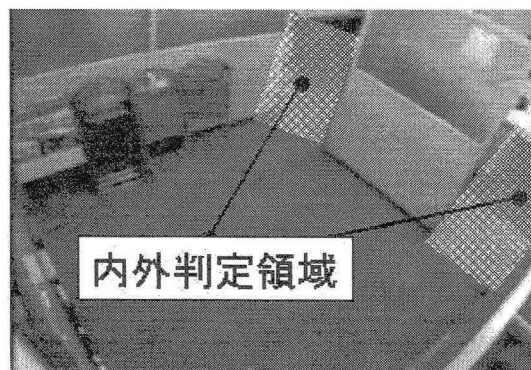


図-2 内外判定領域の指定

## (1) 動体領域の特定

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。そこで、本機能では、HSV 変換を行って、明度の情報を除いた上で背景差分を行い、次フレームとの動体補間のために、フレーム間差分を行う。

### a) HSV 変換による背景差分

HSV 変換とは、赤、緑、青といった RGB 表色系を色相、彩度、明度といったマンセル表色系に変換する処理である。マンセル表色系は、図-3に示すような色相を環状に配置した色相環で表現することができる。そして、HSV 変換では、色相環において、赤 (R) の位置を基準 (0度) とした場合、緑 (G) は、基準から 120 度回転させた位置、そして青 (B) は、基準から 240 度回転させた位置というように定義する。色相は、色相環の中心を原点として、R、G、B それぞれのベクトルの和を求め、その偏角を算出することで得ることができる。彩度は、R、G、B それぞれのベクトルの和から算出できる。明度は、R、G、B のベクトルのうち、最大のベクトルから算出することができる。HSV 変換によって、マンセル表色系に変換されたフレーム画像は、光量変化の影響を受ける明度を除いた色相、彩度に対して背景差分を行い、その結果を差分画像として生成する。

### b) フレーム間差分

背景差分を使用した動体領域は、エッジが断片的であるため、ラベリングで人物分離を行う事が困難である。そこで、著者らは、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、フレーム間差分を使用して、色相と彩

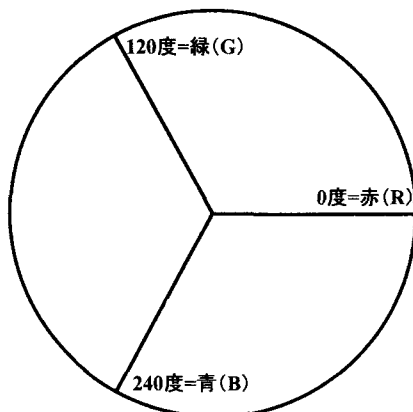


図-3 色相を環状に配置した色相環

度の背景差分に重ね合わせて、断片的なエッジを補完した。

## (2) 雑音除去

特定された動体領域の候補には雑音が存在する。そこで、抽出された動体領域の雑音を除去するために平滑化処理を行う。平滑化処理を行うことにより、雑音を除去でき、高精度なラベリング結果の取得が可能となる。画像に含まれる雑音を除去するためには、単純平均法やメディアンフィルタが使用される。

### a) 単純平均法

単純平均法とは、ある画素  $(i, j)$  を中心とした任意の平方または矩形領域である各点の濃度の平均値を求めて、平滑化画像の新しい濃度  $f(i, j)$  とする方法である。例えば、 $3 \times 3$  の平方領域の場合は、 $(i, j)$  を中心として、 $(i-1, j-1)$  から  $(i+1, j+1)$  までの9個の2次元映像信号  $g(i, j)$  に対して次式(1)のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} f(i, j) &= g(i, j) \times M(i, j) \\ M(i, j) &= \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、上記の式は、行列  $M(i, j)$  の要素の値に従って  $(i, j)$  を中心とする9画素の濃度値に、行列内で指定した画素に相当する重みを付加し、その和を求め、9画素に設定した重みの総数で除算することで、新たに画素  $(i, j)$  の濃度値として設定する。

この単純平均法は、正方領域内の画素の濃度値を平均化してしまうため、画像が細かく変化している成分、すなわち高周波成分を除去してしまう性質を持つため、低周波通過型のフィルタとして作用する。通常、ノイズは、高周波成分に混入するため、平均化より、高周波成分が失われると同時にノイズも除去できる事になる。

### b) メディアンフィルタ

単純平均法では、 $3 \times 3$  の画素領域における濃度の平均値を中央の画素  $(i, j)$  の濃度とする。それに対し、メディアンフィルタは、ある画素  $(i, j)$  を中心とした任意の平方または矩形領域である各点の濃度を高い順に並び替え、その中央の濃度である画素を平滑化画像の新しい濃度  $f(i, j)$  とする方法である。例えば、 $3 \times 3$  の平方領域の場合は、 $(i, j)$  を中心として、 $(i-1, j-1)$  から  $(i+1, j+1)$  までの9画素の濃度順に並び替え、5番目の画素を中心の位置の濃度値とする。メディアンフィルタは、ノイズ除去と同時に、単純平均法に比べて濃度が急激に変化しているエッジ情報が保存されるという特徴がある。

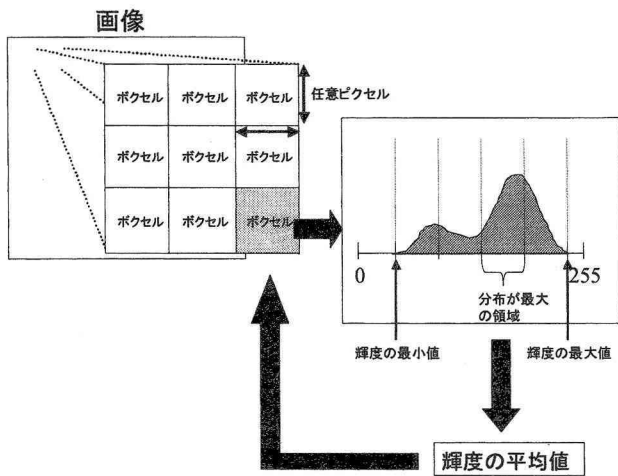


図-4 本研究における雑音除去の手法

c) 本研究での雑音除去

雑音除去として単純平均法を使用すると、画像に含まれる雑音を除去すると共に画像のエッジをぼかしてしまう問題が発生する。また、メディアンフィルタでは、小さな雑音を除去するには効果的であるが、ある程度大きな雑音になると、雑音を除去すると共に動体領域のエッジを不明確にしてしまう問題が発生する。そこで、本研究では、雑音を除去すると共に、特徴領域を強調するために、独自の平滑化手法を用いた。本研究で用いた平滑化の方法として、グレースケール処理を行った画像に対して、縦横の任意ピクセルの領域（ボクセル）毎に分割を行い、ボクセル毎に輝度を設定した。本研究における雑音除去の手法を図-4に示す。

ボクセルの輝度の設方法として、まず、ボクセル毎において、ピクセルの輝度の最小値と最大値を算出する。次に、算出した輝度の最小値と最大値間において輝度の領域を4等分割し、分割した輝度の

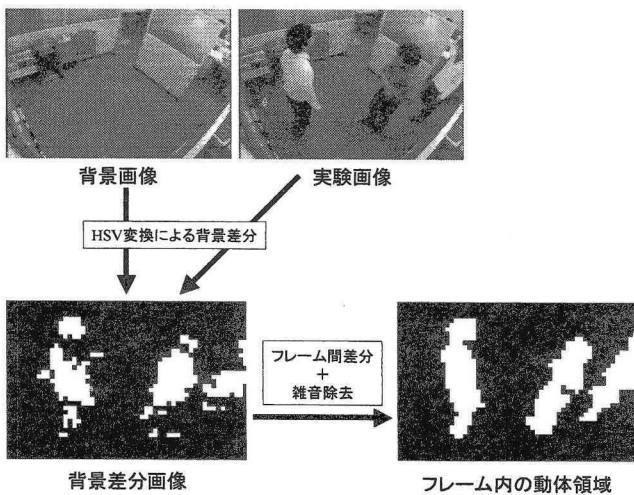


図-5 本機能によって抽出した動体領域

領域毎に分布するピクセル数を調べる。さらに、ピクセルが最も多く分布している輝度の領域を調べ、その領域に分布するピクセルの輝度の平均値を算出する。最後に、算出した輝度の平均値をボクセル内の全ピクセルの輝度値として設定する。本手法では、ボクセル単位に輝度の分布状況から平滑化することにより、雑音を除去するとともに、特徴領域の強調を行うことができる。本機能によって抽出した動体領域を図-5に示す。

(3) ラベリング処理

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、その組み合わせである1677万色が表現可能である。そのため、同一色のシャツをラベリング処理した場合でも、数百種類の領域として抽出する問題がある。そこで、ラベリング処理の前処理として、減色処理を行い、極めて似ている色を同一色として扱う。そして、人物の特徴領域毎にラベリング処理を行い、抽出した特徴情報に対しラベルIDを付加する。

a) 減色処理

減色処理は、画像のメモリの節約や作画作業の効率化を目的とする。本研究で実装した減色処理は、R、G、Bの8ビット階調値を直交した3軸として与えられるRGB空間内に、フレーム画像で使用された色を分布させ、色が存在した部分空間のみを64色数で均等に分割する方法を採用した。

b) ラベリング処理

ラベリング処理では、人物の特徴領域毎にラベルIDを付加する事で、特定の領域を抽出できる。本研究では、図-6に示すように4近傍によるラベリング処理を使用する。

4近傍によるラベリング処理は、まず、画像上でラベルが付加されていない画素(x,y)を見つけ、その画素に新しいラベルを付加する。次に、画素(x,y)に4方向に連結している画素に同じラベルを付加する。最後に、同じラベルを付加した画素と4方向に

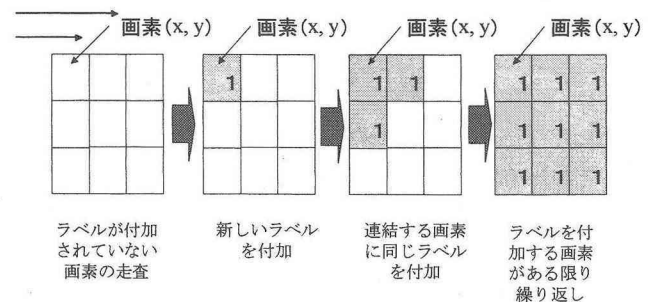


図-6 ラベリング処理の流れ

連結している画素に対して、同一ラベルを付加する。

## 5. 人物特徴抽出機能

人物を追跡するには、映像中に人物が含まれるかどうかを判定する必要がある。このような機能は、監視カメラなどで求められており、常に映像を解析し、映像中に人物が撮影された際に対応が必要となるアプリケーションで利用される。フレーム毎に人物を特定するには、人物の特徴を取得し、異なるフレームにおいて、同一人物であるかの判別を行う。

### (1) 直立方向ベクトルの指定

人物を追跡するためには、処理フレーム内における人物の特徴領域を特定し、次フレーム内での特徴領域の変移をもとに移動量を計測する。ラベリングされた特徴領域から、一人ひとりの特徴として識別するには、撮影されたビデオ映像において、人物の直立方向ベクトルを指定する。指定した直立方向ベクトルから、それぞれの人物の頭領域、体領域、足領域といった特徴領域を割り当てる。

指定した人物の直立方向ベクトルは、カメラのレンズ収差によってレンズディストーションが起こる。レンズディストーションには、ラジアルディストーション（放射方向わい曲収差）とタンジェンシャルディストーション（法線方向わい曲収差）の2種類がある。本研究では、歪みが大きいラジアルディストーションの補正を行った。

ラジアルディストーションの補正は、主点からの距離  $r$  に対してのラジアルディストーション  $d(r)$  を用いて、任意の指標座標  $(x, y)$  を次式 (2) で  $(x', y')$  に補正する。



図-7 直立方向ベクトルの指定

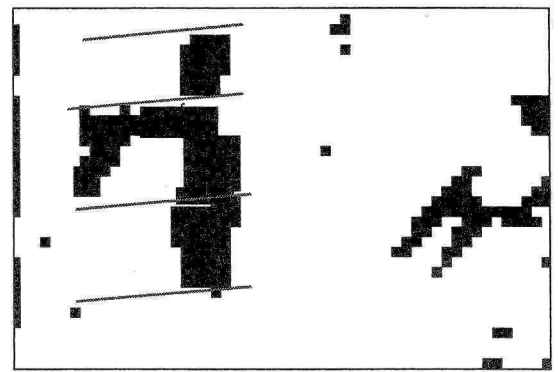


図-8 人体の部位比率

$$\left. \begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ x' &= x - (x/r) - d(r) \\ y' &= y - (y/r) - d(r) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

本システムでは、指定した直立方向ベクトルからラジアルディストーションを考慮して、撮影されたフレーム内の位置によって、直立方向ベクトルの方向を修正する。なお、直立方向ベクトルを使用して、頭領域、体領域、足領域の算出が可能である。直立方向ベクトルを指定した画像を図-7に示す。

### (2) 人物領域の分割

次に、抽出した人物領域を頭部、体領域、足領域に分割する。人物領域の分割には、一般的な人体の比率を用いる。人体の平均的な身長は約8頭身とされている。人体の比率は、人種、年齢、性差、個人差があるが、本研究では、表-1のような比率を用いる。これにより、抽出した人物領域を特徴毎に分割した例を図-8に示す。次に、算出したそれぞれの人物の頭部、体領域、足領域に対して、それぞれの領域における色の平均値を特徴情報として取得する。特徴情報に対して取得した特徴情報の例を表-2に示す。

本機能にて抽出した特徴情報を人物追跡機能において、テンプレートとして利用する。混雑した空間内では、人と人が重なり合った状態で移動するため、位置や形状、大きさが変化する。そこで、本研究では、色情報のみ保持し、形状や大きさの情報は保持

表-1 人体の部位比率

特徴	比率	特徴	比率
頭長	身長 / 8	背肩幅	2*頭長
背丈	2*頭長	袖丈	身長 / 3
腰丈	身長 / 8	乳頭間隔	頭長
股上	身長 / 6	股下	4*頭長 - 6

表-2 抽出した特徴情報の例

人物ID	RGB	頭領域	体領域	足領域
1	R	0	240	0
	G	10	200	52
	B	5	112	0
2	R	32	134	0
	G	32	160	42
	B	0	212	14
3	R	128	250	18
	G	78	112	22
	B	5	228	38

しない。また、これにより、マッチング時の処理速度が高速化できる。

### 6. 特徴結合・分離機能

人物領域の追跡は、ある一定時刻間での同じ人物の動きを把握するために行う。この追跡結果から特定の動きをした人物を計測対象として選定する。しかし、混雑した狭い空間では、複数人が重なりあうため、ラベリングされた動体領域は、分離統合を繰り返す。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、本機能では、人物の追跡するために、人物領域の結合および分離処理を行う。このとき、人物特徴抽出機能により、取得したテンプレート情報を利用する。これにより、分離統合を繰り返す人物領域についてもある程度の連続性をもって追跡が可能となる。本研究では、各人物領域の時刻間でのラップ率および人物の特徴を記録し、時系列上の変遷から人物を追跡する方法で実装した。図-9は、その面積ラップ率および人物

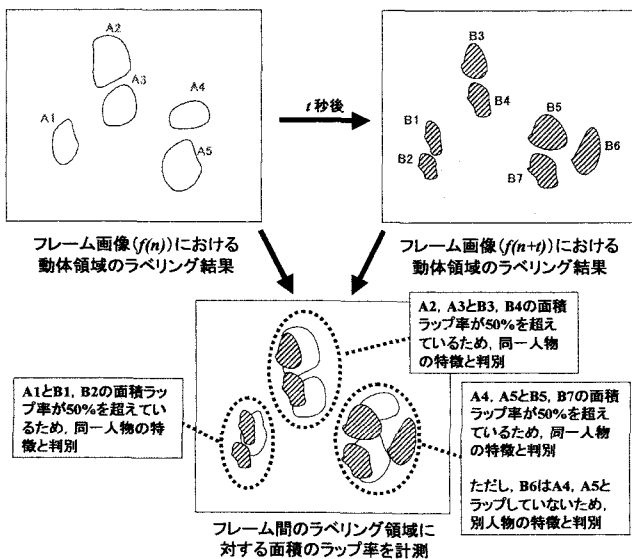


図-9 面積ラップ率の概念

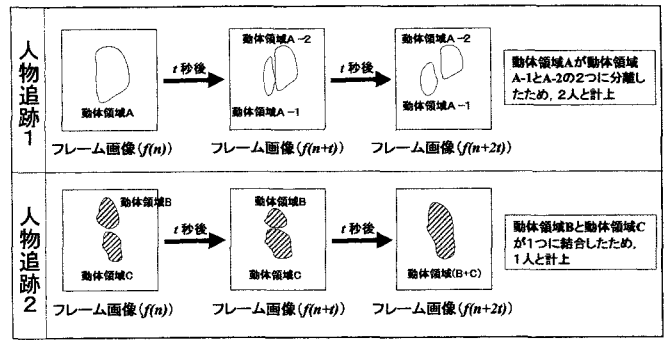


図-10 人物追跡のアルゴリズム

の特徴によるラベル間の同定方法を示した概念図である。図-9のように各観測時間で人物領域の色が異なるのは、その時間によっては処理結果が異なるため、ラベルに付与される人物IDが順次カウントされるためである。図-9の場合、フレーム画像  $f(n)$  と  $t$  秒後のフレーム画像  $f(n+t)$  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%を超える場合は、同一人物の特徴として判別する。

### 7. 人物追跡機能

本研究では、長時間の追跡結果から人数を判断する場合、分離統合を繰り返す複数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履歴から人数を判断する手法を考案した。

本手法は、図-10の「人物追跡1」に示すように、動体領域Aが動体領域A-1と動体領域A-2の2つに分離したため、計測人数を2人と判別する。また、図-10の「人物追跡2」に示すように、動体領域Bと動体領域Cが結合したため、計測人数を1人と判別する。このように、動体領域が分離・統合を繰り返した場合においても、数フレーム間の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、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。

### 8. 実証実験

#### (1) 実験方法

本研究で開発したシステムの有用性を検証するため、システムの実験を行った。実験は、部屋の一部に対して、衝立を設け、仮想的に混雑空間を再現した。なお、本実験では、壁の上部にカメラを1台設置し、部屋を見下ろすように撮影を行い、混雑空間に対しての人物の入退室を撮影した。なお、本シス

表-3 本システムの認識率

実験	実測 (人)	計測 (人)	誤差 (人)	撮影人数 (人)	認識率
実験 1	10	10	0	2	100.0%
実験 2	20	20	0	2	100.0%
実験 3	10	10	0	3	100.0%
実験 4	20	19	1	3	95.0%
実験 5	10	9	1	4	90.0%
実験 6	20	18	2	4	90.0%
実験 7	10	8	2	5	80.0%
実験 8	20	17	3	5	85.0%

テムの背景差分処理を行うために用意した背景画像を図-11に示す。また、実験で利用したカメラ画像を図-12に示す。

## (2) 実験結果

本実験では、設置したカメラ画像から、計測エリア内に侵入した動体領域の抽出を行い、図-13に示すように人物の特徴を取得した。さらに、特徴情報をもとに、動体領域を結合・分離し、人物追跡による人数計測を行った。そして、システムの有用性を検証するため、表-3に示すように、実際にビデオカメラで撮影した実測人数とシステム上から算出した計測人数を比較し、本システムの認識率を算出した。

本システムの詳細な実験結果を確認すると、「実験1」や「実験2」、「実験3」では認識率が100%であるのに対し、「実験8」の撮影人数が5人で、実測人数が20人の場合、最大で3人の誤差が発生した。本システムでは、撮影人数が多くなれば、誤差が増加する結果となった。なお、誤差の原因については、以下の原因から映像によって人物の計測に漏れが生じていると考えられる。

まず、本研究では、計算速度を高速化するため、色の情報からラベリングを行い、人物の特徴を抽出した。そのため、人物の向きや形状によって、特徴情報が大きく変化し、追尾時の特徴情報のマッチングに不備が生じたと考えられる。高精度なラベリングを行うには、ステレオカメラを使用して3次元座標を取得する事と同様に、単写真測量の技術を使用して、人物の3次元座標を算出する必要がある。ただし、3次元座標を使用したラベリングを行うと、計算量が膨大となり、リアルタイムに追跡する事が困難となる。

次に、本研究では、計測エリアに対しての内外判定を行うために、指定した領域と人物の特徴領域が重なった際に、追跡開始及び追跡解除の判定処理を行った。そのため、人物が内外判定領域に進入した

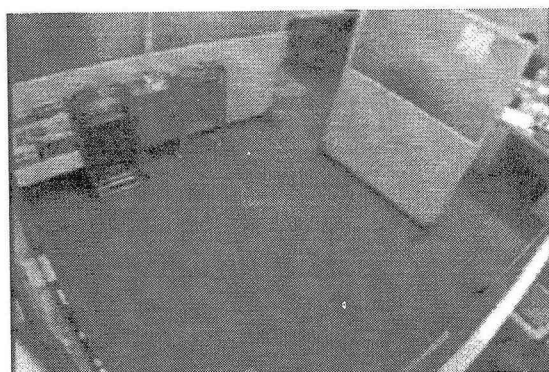


図-11 背景画像



図-12 実験で利用したカメラ画像

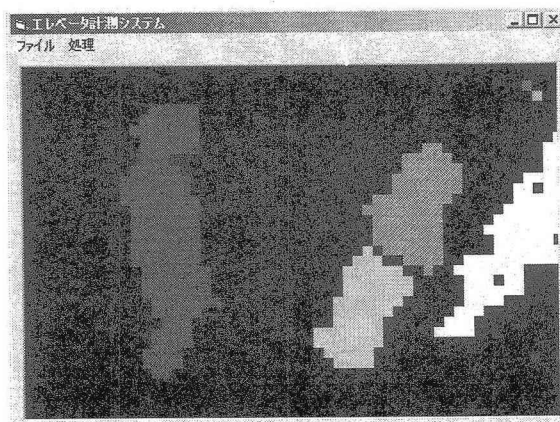


図-13 計測結果画像

際、他の人物と重なり合った状態で計測領域に進入すると、不可視である人物の特徴を抽出できないため、撮影人数が多くなればなるほど、誤差が増加する結果となった。

## 9. 考察

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、

- ・ 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

を実現した。また、実証実験より、本システムの認識率は、全ての実験において、80%以上の認識率であり、混雑した空間において正確に人物を計測した。

以上の結果より、本システムに実装した機能が、人物計測に有用であることを実証できた。

## 10. あとがき

本研究では、混雑空間内において、人物領域を分離する機能と移動物体の人数を決定する機能を実現し、撮影場所や撮影状況に関係なく高精度に人物を計測する手法を考案した。そして、システムの実証実験からその有効性を実証した。本システムを使用すると、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た交通量調査において、ビデオカメラで撮影すると自動的に計測する事ができる。また、本システムを使用すれば、エレベータなどの混雑した空間内での交通量の把握も可能となる。そのため、1) バリアフリー施設であるエレベータの利用者状況把握、及び整備計画データの蓄積、2) 大型店舗におけるエレベータ内追跡機能を利用した顧客導線の把握分析、3) エレベータ内における不審者の行動分析、といった幅広い適用分野が考えられる。また、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も考えられる。

しかし、本システムでは、入退出時において、人物が重なるため、計測に誤差が生じるという問題がある。また、計算速度を高速化するため、色情報のみでラベリングを行ったため、従来の3次元座標を使用したラベリングよりも多少精度が悪くなった。そのため、入退室時の人物の重なりにおいて、計算量を減らした上で、計測精度を向上することが課題であり、今後は、それらの課題を克服したシステムの発展を目指す。

## 参考文献

- 1) 毛利正光, 塚口博司: 歩行路における歩行者挙動に関する研究, 土木学会論文報告集, Vol.268, pp.99-108, 1977.
- 2) Stephen Wolfram: Cellular Automata and Complexity, Addison-Wesley, 1994.
- 3) 青木俊幸: 駅の旅客流動, bit, 共立出版, Vol.31, No.9, pp.91-98, 1999.
- 4) 原田昇: 交通を測る新技術 ヒト,モノ,環境 第1回 新技術を活用した計測手法への期待, 交通工学, Vol.38, No.5, pp.52-56, 2003.
- 5) 寺田賢治: ハフ集合を用いた混雑状況下の人数計測, 画像ラボ, 日本工業出版, Vol.14, No.4, pp.34-38, 2003.
- 6) Jae-Won Kim, Kang-Sun Choi, Byeong-Doo Choi, Sung-Jea Ko: Real-time System for Counting the Number of Passing People Using a Single Camera, Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Vol.2781, pp.466-473, 2003.
- 7) Kenji Terada, Takumi Ando, Junichi Yamaguchi: Counting Passers-by Using a Color Camera, Journal of Robotics and Mechatronics, Fuji Technology Press, Vol.11, No.2, pp.123-128, 1999.
- 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, 日本工業出版, Vol.15, No.11, pp.53-56, 2004.

(2005.5.20 受付)