歩行形態を利用した歩行者の移動経路の抽出

三宅 康雄[†], 正会員 堤 喜代司[†],
正会員 平 井 宏[†], 正会員 弓 場 芳 治^{††}

Extraction of Routes of Walkers Utilizing Conditions of Walking

Yasuo Miyake[†], Kiyoshi Tsutsumi[†], Hiroshi Hirai[†] and Yoshiharu Yuba^{††}

Abstract A method of extracting routes of walkers based on investigation of speed and direction change over a short period is proposed. Images in time series are taken alternately with two values of intervals. The position of a walker after a longer interval is determined by using a vector of movement obtained from images over a shorter interval. Good accuracy is compatible with short computation time. By using a trapezoidal mask, a portion of one person is extracted from a figure in which some walkers are connected. This mask is determined from the parallax of two cameras. Our method does not require identification of a person and is expected to decrease computation time. Routes of walkers were almost always extracted in our experiment.

1. ま え が き

近年, 多くの分野で, 歩行者の流れを把握することが要請されている. 移動方向が限定されるゲート等では, 比較的簡単なセンサで通行量を計測できる. しかし, 広場など移動方向が限定されない場合にはセンサでは限界がある. カメラによる画像情報を用いることが有効であると考えられ, 画像処理に基づく研究が行われている¹⁾²⁾.

画像を用いて歩行者の移動経路を求めることは, 現在の時刻の画像中の人物を前の時刻あるいは次の時刻の画像中のその人物と対応づけることにほかならな

い. このためには, 画像中の歩行人物の領域を抽出する必要がある. 移動物体や人物を背景から切り出す方法として, 時系列の差分³⁾⁴⁾, 逐次更新される背景画像との差分⁵⁾, 背景の輝度や特徴量との比較^{6)~8)}などが提案されている. また, 歩行者の移動経路を求めるにあたっては, 時系列の差分¹⁾や逐次更新される背景の特徴量との比較²⁾が行われている. 人物が1人ごととに分離しているとは限らないので, 人物部分を背景から切り出したあと, 1人分の人物部分を抽出しなければならない. このために, 個々の人物の特徴を抽出することが行われている²⁾³⁾.

実用的なシステムを目指す場合には, 計算量をでき

キーワード: 歩行者の流れの計測, 屋外情景画像, 2眼視, 動画像処理, 不等間隔サンプリング

1993年9月8日, 1993年電子情報通信学会秋季大会で発表

1994年3月28日受付, 1994年10月14日再受付

[†] 京都工芸繊維大学 工芸学部電子情報工学科 (〒606 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, TEL 075-724-7419)

^{††} 岡山県立大学 情報工学部情報システム工学科 (〒719-11 総社市窪木111, TEL 08669-4-2140)

[†] Faculty of Engineering and Design, Kyoto Institute of Technology (Goshokaido-cho, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan)

^{††} Faculty of Information Engineering, Okayama Prefectural University (111, Kuboki, Soja-shi, Okayama 719-11, Japan)

るだけ少なくする必要があり、個々人や背景の特徴抽出を行わずにすめば計算量の減少が期待できる。

本論文では、歩行者個々人の特徴抽出を行わずに、1人分の人物部分を抽出し、その移動経路を求めることができる手法を提案する。筆者らは、先に屋外の地平面に生じた影を2台のカメラによる画像を用いて消去する一方法を提案した⁹⁾。この方法によれば、人物部を特別な形状として取り出すことができる。この形状を用いる探索によって、個々の人物の特徴を抽出しなくても人物1人分を抽出できると考えられ、計算量の減少が期待される。

次に、現在の時刻の画像中の人物と前後の時刻の画像中の人物との対応づけにあたって、個々の人物の特徴を抽出せずにすむ方法が望ましい。時空間画像から運動軌跡を求めることが提案されている¹⁰⁾。この方法では、1人の人物の領域が途切れないように、現在の時刻の画像中の人物が次の時刻の画像中のその人物と最も近くにあり、ほとんど重なる程度に充分短い時間間隔で画像データを取り込む必要がある。これと同様の考えに基づけば、個々の人物の特徴抽出を行わずに移動経路が求められると考えられる。すなわち、ある歩行者は、ごく短い時間のあとでは最も近くにいる人物に他ならないと考えることにより、その移動経路を求めることができる。しかし、このときも時間間隔が短くなると扱うべきデータがぼう大となり、計算量が多くなる。したがって、画像データの時間間隔をいくらかにすればよいかについての検討が必要になる。

本論文では、歩行形態を考慮した2種類の時間間隔での画像データを用いて、前の時刻あるいは次の時刻の画像中の人物部分との対応づけを行う。すなわち、誤差の少ない精度を重視した短い時間間隔と、計算処理を簡単化する比較的長い時間間隔とを交互に用いることによって、精度と処理速度の両方を考慮した時間間隔が設定できると考えられる。以下では、まず、2章で本方法の概要を明らかにし、3章において人物部分の抽出、4章では移動経路の抽出の詳細を述べ、5章では大学構内において行った実験結果を使用したパラメータとともに示す。

2. 移動経路抽出の原理と方法

画像中での人物1人分の領域を正しく抽出できるならば、ごく短い時間間隔ごとに画像を取り込んで最も近くの人物の位置を結んでいくことにより、移動経路が求められる。

混雑していない状況での歩行者の調査から、通常の場合、人の歩く速度は1.1 m/s程度であること、歩

行者と歩行者の間隔は約90 cm以上離れていること、また、2/5 s程度より短い時間内では、歩行者の移動速度と進行方向にあまり変化がないなどがわかった。これらの結果は、当然のことながら、どのような歩行者にもあてはまるものではないが、かなりの場合に成り立つものと考えられる。そこで、画像取り込みの時間間隔を2/5 sあるいはそれよりも短い時間とする。この時間間隔(これを短サンプリング間隔と呼ぶ)で得られた距離と移動方向の情報(移動ベクトルと呼ぶ)を用いれば、他の歩行者との対応づけに誤りを犯さないと考えられる。この時間間隔での処理は正確であるが、計算量は多い。

そこで必要な画像データを少なくするために、図1に示すように、短サンプリング間隔で得た画像の次の画像は、より長い時間間隔で取込むものとする。この時間間隔(これを基本サンプリング間隔と呼ぶ)は、歩行速度1.1 m/s程度の場合に約90 cmの移動に要する時間すなわち約0.8 s程度以上に設定してよいと考えられる。当然、計算量は減少するが、探索を誤る可能性も増大する。他の歩行者との誤りが起こらないと考えられるときは、もっと大きくすることも可能である。本論文では比較的無難な値として4/5 sを設定した。ただし、短サンプリング間隔を2/5 s程度よりかなり短くすると、歩行姿勢の影響ができて移動ベクトルの抽出誤差が大きくなる恐れがあり、したがって短サンプリング間隔を2/5 s程度よりかなり短くすると、それに応じて基本サンプリング間隔も約0.8 sより短くしなければならない場合もあると思われる。

本論文では、短サンプリング間隔による移動ベクトルを用いて移動経路の推定を行うという考えに基づき、長い方の時間間隔を基本間隔と考えた。以上が2つの時間間隔を用いて人物追跡を行う原理である。

人物抽出を含めた本方法の処理の流れを図2に示す。画像中で人物の部分がある程度大きく写り、近くの人物とあまり重ならないようにするため、図3に示すように、2台のカメラを撮影範囲の斜め上方に配置する。

人物部分の抽出に関しては、まず、得られた2枚の画像の地平面が一致する画像変換を行ったのち、これ

図1 サンプリング間隔の設定
Sampling intervals.

図 2 処理の流れ
Flow chart of this method.

図 3 カメラの配置
Location of two cameras.

(a) 右カメラ

(b) 左カメラ

図 4 2台のカメラによる画像
Original pictures taken by two cameras.
(a) Right camera, (b) left camera.

らの画像の差の絶対値をとり、人物部分を取り出す。通常、歩行者は道路面に立って歩行することから、人物部分はV字形あるいは台形に近い形状となて得られる。複数の人物が画像中でつながって大きい1つの領域を作っている、それからV字形あるいは台形に近い形状の部分を取り出せば、それが1人分の人物部分であると考えられる。そこで、台形のマスクを2人以上の人物部分で移動して、1人分の人物部分を抽出する。

前後の時刻での人物部分との対応づけに関しては、まず、短サンプリング間隔での画像(時刻 t_{2n} , t_{2n+1})から距離と移動の方向を示す移動ベクトルを求める。次に、この移動ベクトルを用いて、次の時刻 t_{2n+2} での位置を予測し、これに基づいて対応づけを行う。この移動ベクトルを用いれば、前の時刻で対応がとれていない場合にも、時間軸を逆にして、同様のことを行

うことによって対応づけが可能となる場合がある。

3. 人物部分の抽出

3.1 画像変換と視差画像

図3に示したように、2台のカメラを撮影範囲の斜め上方に配置し、それぞれのカメラの光軸は地平面の1点で交わるように設定する。座標系として、カメラの光軸が交わる点を原点とし、地平面上にX軸とY軸をとり、高さ方向にZ軸をとる。また、カメラ画像の座標を (H, V) と定める。右カメラおよび左カメラで撮影した画像の一例を図4(a), (b)に示す。この図では、横360画素×縦290画素の範囲が表示されている。どちらか一方のカメラ(例えば左カメラ)の画像を変換するものとし、左カメラ画像での地平面 $(Z=0)$ の模様を他方の右カメラ画像での地平面の模様と一致させる変換を行う。図4(b)を変換した画像を図5に示す。図5で左端の黒の三角形は画像デー

図 5 図 4 (b) の変換画像
Transformed image from Fig. 4(b).

タがない部分であり、この部分については以降の処理を行わない。左カメラ画像の座標 (H_L , V_L) の画素を新しい座標 (H'_L , V'_L) に写像するわけで、これに必要な式を付録に示す。この画像変換を行うと、 $Z=0$ の面上の点は左右画像 (右カメラ画像と変換された左カメラ画像) で一致するが、 $Z=0$ の面上にない点は一致しない。したがって、物体の高さが高いほど、左右画像で離れた位置に写像されることになる。

右カメラ画像 (図 4 (a)) と変換された左カメラ画像 (図 5) の同一座標の画素間で、輝度の差の絶対値をとる。2 枚の画像において生じた視差の画像が 1 枚の画像にまとめた形で現れる。輝度の差をとるため、同一輝度の部分が消え、また、地面付近の足の部分も消えてしまう。

屋外の環境において歩行者の影が生じなければ、道路や人物部分の輝度に変化しても、時系列差分や背景画像・背景特徴量の更新を行えば人物部分を正しく抽出できると思われる。しかし、歩行者の影が生じると、影は歩行者と一体となって移動するので、人物部分の抽出に誤りが生じる¹⁾。本論文では、幾何学的な変換を用いるので、どのような場合もほぼ完全に影を消去でき、人物部分を正しく抽出できると考えられる。人物がほぼ平坦な道路面を歩行する場合を想定しており、道路面が階段であったり、わん曲していると、背景を消去するための画像変換や人物抽出のためのマスクを別のものにしなければならない。また、鏡面反射成分があってもカメラの輻輳角をそれほど大きくしなければ、さしつかえない場合が多いと思われるが、水たまりなどでのハイライトが左右画像で異なり、完全に消去されないことも起こり得る。現実の状況は多種多様であるので、すべての場合に適用できる

とは限らないが、たいいていの場合に適用可能であると考えている。

以上の処理によって、歩行者は V 字形あるいは台形に近い形状になる。このあと、判別分析法で 2 値化したのち、孤立点などの小さい領域を除去し、囲みができたところは穴埋め処理を行う。

3.2 人物部分の外接長方形の抽出

視差を表す画像では、1 人の人物が複数の塊に分かれることがある。そこで、近接した複数の塊をまとめる。

まず、 P_{min} 画素以上の塊を人物部分の主要な部分とみなし、この画素の塊に対して、その外接長方形を考える¹¹⁾。これに、近接した塊のうち P_{min} 画素未満のものを順次結合する。

ここで、この外接長方形が何人の人物を表しているかは、外接長方形に含まれる画素の個数と各辺の長さにより判定する。外接長方形に含まれる画素の個数が P_{max} 画素以下であり、各辺が横 h_{max} 画素以下でかつ縦 v_{max} 画素以下であるものを 1 人の人物部分とし、これを越える場合は 2 人以上とする。

最初の外接長方形が 1 人分に相当する場合、新たに得られた外接長方形に含まれる画素の個数あるいは各辺の長さが 1 人分の数値を越えたら、画素の塊の結合を終える。これを 1 人の人物部分とする。

最初の外接長方形が 2 人以上に相当する場合、新たに得られた外接長方形に含まれる画素の個数あるいは各辺の長さが元の値の k 倍を越えたら、塊の結合を終える。

P_{min} 画素未満の塊のうちで残ったものに、近接した塊を順次結合する。結合した画素数の総和が P_{min} 画素以上になれば、これを 1 人の人物部分とする。

3.3 1 人分の人物部分の抽出

2 人以上の人物部分から、1 人分の人物部分を抽出する。台形マスクは、長さ 170 cm の棒が撮影範囲の中央で地面に垂直に立っている場合に、右画像での棒と左変換画像での棒の両方が入る大きさとし、さらに、人物の頭の幅と足の幅および消える足の位置を考慮したものである。図 6 にその形状を示す。

カメラの設定条件から、外接長方形の上辺および底辺に人物がいるものとみなせる。そこで、まず上辺と底辺のそれぞれに沿って、台形のマスクを外接長方形内で移動して人物部分を探す。上辺側および底辺側のそれぞれについて、台形マスク中の画素数を最大にする部分を 1 人分の人物部分とする。この部分の画素にマークを付ける。次に、外接長方形の左上からラスタ一走査的に台形マスクを移動する。台形マスク内で、

図 6 台形マスク
Trapezoidal mask.

図 7 抽出された人物部分
Pixels expressing walkers.

図 8 1 人分の人物部分の抽出
Extracted nine portions of walkers.

マークされていない画素数が最大で、さらに、マークの有無にかかわらず画素数が最大になる部分を 1 人分の人物部分とする。台形マスク内でマークされていない最大画素数が m 画素以下になるまで、この処理を

繰り返す。図 7 に対して 1 人分の人物部分を抽出した結果を図 8 に示す。

なお、各パラメータの値は、カメラの設定や画像入力時の画素分解能によって決めるべきものであり、実験での値を 5 章に記す。

4. 人物部分の移動経路の抽出

2 つのサンプリング間隔における人物部分の対応づけについて述べる。人物部分として抽出された 1 つの外接長方形ごとに移動経路を抽出する。また、2 人以上の外接長方形から 1 人の人物部分が分離した場合は、2 人以上の人物部分のうちで、どの部分が分かれたかを判定する。これは、2 人以上の人物部分については、1 つのグループとして、移動経路に関しては同一の経路をとると考え、そのうちで異なる方向に移動した歩行者だけを分離するものである。

4.1 短サンプリング間隔での対応づけ

短い時間では歩行者は元の位置からそれほど移動しないと考えられるので、次の時刻 t_{2n+1} での外接長方形（あるいは台形）のうちで、時刻 t_{2n} での外接長方形（あるいは台形）に最も近いものを対応づける。ただし、外接長方形あるいは台形間の距離は、その中心点について求めるものとする。台形の中心点としては、その台形に外接する長方形の中心点を用いる。

1 人の人物部分については、2 人以上の人物部分の外接長方形内の台形も対応づけの対象とする。また、2 人以上の人物部分のうちの台形については、前時刻で対応づけされたものについてのみ移動先を求めるものとする。対応づけされなかった台形はそのままにしておき、2 人以上の人物部分の外接長方形として対応づけを行う。

得られた結果は、移動距離と方向を持つ移動ベクトルとして扱う。

4.2 基本サンプリング間隔での対応づけ

基本サンプリング間隔を T_f 、短サンプリング間隔を T_s として、図 9 に示すように、時刻 t_{2n+1} の位置（外接長方形あるいは台形の中心） P_{2n+1} から移動ベクトルの T_f/T_s 倍だけシフトした点を求める。この点を次時刻 t_{2n+2} での位置の予測点とし、この予測点と次時刻 t_{2n+2} の外接長方形（あるいは台形）の関係により対応づけを行う。

予測点がただ 1 つの外接長方形（あるいは台形）に含まれる場合、その外接長方形（あるいは台形）を選ぶ。予測点が 2 つ以上の外接長方形（あるいは台形）に含まれる場合、移動ベクトルのうちで方向が最も近い外接長方形（あるいは台形）を選ぶ。予測点がどの

図 9 時刻 t_{2n+2} での位置の予測
Predicted position of a walker at t_{2n+2} .

外接長方形にも含まれない場合、その点に近接した外接長方形のうちで最も近いものを選ぶ。

予測位置は点であるが、人物部分の大きさを表す外接長方形あるいは台形を対応づけに用いているため、移動ベクトルのブレに対処していることになる。

4.3 前の時刻での人物部分との対応づけ

歩行者が急に方向を変えた場合や、2人以上の人物部分から1人の人物部分が分かれた場合は、対応づけができず移動経路が途切れることがある。途切れた経路を回復するため、画像の端以外で人物部分の対応づけが新たに発生した場合、以下に示すように、前の時刻の人物部分との対応づけを行う。

短サンプリング間隔での対応づけを終えたあとで、それ以前での対応づけがないものについては、時間軸を逆にして対応づけを求める。逆向きの移動ベクトルを用いて、前の時刻での人物部分と対応づけを行う。2人以上の人物部分から1人の人物部分が分離した場合も同様の処理を行う。前時刻での人物部分との対応づけが完了するまで、この処理を繰り返す。

1人分の人物部分については、2人以上の人物部分中の台形も対応づけの対象とするので、2人の人物が出会ったのち分かれる場合も個々の人物の移動経路を求めることができる。ただし、今回の実験では生じなかったが、短サンプリング間隔内での方向変化が大きければ、移動経路を誤って抽出することもあると考えられる。

5. 実験結果

2台のカメラの配置は、図2に示すように、それぞれカメラの光軸が地面上の1点Oで交わるものとし、地面（道路面）からの高さ h を13m、俯角 δ を 52° 、両カメラの距離 s を4m、距離 d を10mとした。大学構内の道路で、5人程度の歩行者が方向を変えながら接近したり遠ざかったりする場合を3シーン

(a) 時刻 t_a

(b) 時刻 t_b

(c) 時刻 t_c

図 10 時系列 ($t_a < t_b < t_c$) の右カメラ画像
Original picture of right camera in time series ($t_a < t_b < t_c$).
(a) time t_a , (b) time t_b , (c) time t_c .

撮影した。3シーンの各々について、時間にして3.6s間の左右各々7枚からなる、6組の時系列画像（計18例）を得た。サンプリングにあたっては、短サンプリング間隔を2/5s、基本サンプリング間隔を4/5s

図 11 図 10 の場合の移動経路

Extracted routes of walkers in the case of Fig. 10.

とした。なお、基本サンプリング間隔での対応づけにおいて、予測点がどの外接長方形にも含まれない場合、50 画素以内の距離にある外接長方形を対応づけの対象とした。

カメラには SONY 8 mm ビデオカメラ CCD-V 800、画像処理装置には PIAS LA-555、処理用コンピュータには NEC PC-9801 RX を使用した。画像は縦 512×横 512 画素、白黒 256 階調で表される。カメラの焦点距離は概算で左右とも 890 画素と求められた。これによって、実験の設定では 1 画素は道路面での約 2 cm に相当する。処理時間のほとんどは人物部分の抽出、とりわけ台形マスクの走査に費やされる。台形マスクの走査を何回行うかによって処理時間が異なるが、実験において、処理の 1 回分すなわち $t_{2n}, t_{2n+1}, t_{2n+2}$ での画像から人物部分とその経路を抽出するのに要する時間はほとんどの場合 2 min 以内であった。実時間処理を仮定すると、コンピュータの計算速度をこのシステムより 100 倍程度早くすることが要求される。

2 人以上の人物部分が時間の経過につれて分離する場合の一例を図 10、図 11 に示す。図 10 の (a), (b), (c) は時刻の経過順の画像である。図 11 が移動経路であり、矢印が歩行者の移動方向を示す。図において、2 人以上の人物部分は外接長方形で表し、1 人の人物部分は中心点を丸印で表している。ただし二重丸は、2 人以上の人物部分から 1 人の人物部分が分離した場合の 1 人分を示す。人物部分が分離すると別の文字で表している。添字はサンプリング時刻を表す。点線によって結ばれている対応は、時間軸を逆にして、前時刻との対応づけを行ったことを示す。

2 人以上の人物部分 (長方形 A_0) が移動するが、サンプリング時刻 t_2 で 1 人の人物部分 a_2 と 2 人以上の人物部分 (長方形 A_2) に分かれている。分離した 1 人

図 12 他の移動経路の抽出例

Another example of extracted routes of walkers.

の人物部分 (a_2) については、はじめ対応づけが得られなかったが、次の短サンプリング間隔で $a_2 \rightarrow a_3$ の対応づけが得られた。そこで、時間軸を逆向きにした 4.3 節の処理により、 $a_1 \rightarrow a_2$ の対応づけが得られた。図 11 では、この対応づけが破線で表されている。同様の処理で、 $b_3 \rightarrow b_4$ の対応づけが得られた。また、 $c_3 \rightarrow c_4$ の対応づけは時刻 t_4 で得られるが、1 人の人物部分となったので、 $c_4 \rightarrow c_5$ の対応づけが得られたあとで 4.3 節の処理が行われた。なお、図 11 では、経路の線を見やすくするため、図 10 (b) で左から現れて図 10 (c) で中央へ進む歩行者の経路を省略している。

2 人以上の人物部分が途中で生じる場合の一例を図 12 に示す。この場合の歩行者は 5 人である。時刻 t_2 で b と c が 1 つの人物部分 (長方形 A_2) を作り、さらに、時刻 t_3 で e が合体する (長方形 A_3)。この場合の対応づけは、1 人分の人物部分を表す台形との間で行われ、その台形の中心点が二重丸で表されている。時刻 t_4 では、 b, c, e が各々分離する。このあと、時刻 t_5 で b と d が合体し (長方形 A_5)、時刻 t_6 で b と d が分離する。 $t_4 \sim t_6$ の c や $t_0 \sim t_3$ の d はほとんど静止している。

対象画像において 1 人分の人物部分はすべて正しく抽出できた。3 シーン 18 例のうち 16 例で、人物部分の移動経路を正しく抽出できた。2 例では、2 人の人物部分が 1 人ずつに分離したとき、4.3 節の処理において同一の 1 人分の人物部分に対応づけを行う誤りを生じた。この 2 例は図 10、図 11 と同じシーンの場合で、一例を図 13 に示す。 $b_3 \rightarrow b_4$ と $c_3 \rightarrow c_4$ のいずれも、長方形 A_3 中の同じ人物部分 (1 人分) に対応づけが行われている。なお、この場合に限れば、移動ベクトルは画像中の人物部分の位置から求めているが、地平面での位置から求めれば、上記の誤りをなくすることができることがわかった。したがって、この誤りは歩行の際の姿勢の変化で人物部分の形状が変化し、進行方向の抽出に誤差が生じたためと考えられる。

図 13 移動経路抽出の失敗例
A false route of a walker.

表 1 歩行者の人数の推定結果
Estimation of numbers of walkers.

外接長方形中の実際の人数									
外接長方形中の推定人数		1	2	3	4	5	6	7	8
	1	55	4						
	2		24	2	1				
	3			7	3	1			
	4				5	4			
	5					3	1		
	6								
	7								
8								1	

なお、人物部分の抽出にあたって、結合する画素の塊は、20 画素以内の距離のものを対象とした。各パラメータの値は、 $P_{min}=1000$, $P_{max}=1500$, $h_{max}=75$, $v_{max}=75$ とし⁹⁾、また、 $k=1.2$, $m=300$ とした。台形マスクは、人物の頭の幅 (15 cm) と足の幅 (25 cm) および消える足の位置 (地上 20 cm まで) を考慮して、 $u_m=45$, $b_m=30$, $h_m=60$ とした。

複数の歩行者が画像中で縦に並び重なり合う度合いが大きいと、1 人分の人物部分を抽出する際に誤ることがある。歩行者が 10 人程度で、複数の人物が画像中でつながることが多い場合の画像 25 例について、歩行者の人数を求めた結果を表 1 に示す。人物どうしが完全に同一線上にのらず少しでも横にずれていれば、1 人分の人物部分を正しく抽出できることがわかった。85% の外接長方形について、それに含まれる人物の数を正しく求めることができた。全人数に対する正解率は 92% であり、2 人以上の人物部分の合計人数に対する正解率は 90% である。誤りが生じた場合においては、本論文での人物抽出法で予想されるように

人数を少なくカウントしたが、その数はほとんどの場合 1 人であった。

また、人物の実際の位置についても検討した。その結果、歩行者の位置を画像から求めたものと実画像から求めた真値*との差は平均で 20 cm、最大で 35 cm であった。ただし、歩行者の位置は、1 人の人物部分では外接長方形の底辺の左から 1/3 の距離の点とし、2 人以上の人物部分では台形の底辺の中点として、座標変換により地平面での値を算出した。

6. む す び

短時間での速度や方向変化などの歩行者の一般的特性に着目して、歩行者の移動経路を求める一手法を提案した。ある時間間隔と、それよりも短い時間間隔の 2 種類のサンプリング間隔により、比較的少ない画像で、前後の時刻の人物部分との対応づけを行う。本手法では、歩行者個々人の特徴量を用いずに、人物部分とその移動経路の抽出を行うので、計算量が少ない。大学構内での実験結果により、本手法の有効性を確認した。

本手法は単純な処理からなるものではあるが、比較的良好な結果が得られたと考えている。今後、歩行者が多く人物部分の重なりが多いシーンについて実験を行い、歩行の形態をより一層反映した移動経路抽出法を開発しなければならない。また、台形マスクの走査をより効率的に行い、1 人分の人物部分の抽出に要する時間を短縮することが望ましい。そして、サンプリング間隔の比率の考察を含め、リアルタイム処理を目指すしたい。

(参 考 文 献)

- 1) 竹内啓五, 長田耕治: “画像を利用した群衆流動解析法に関する研究”, 信学技報, IE90-60 (1990)
- 2) 安居院猛, 長尾智晴, 斉藤智明, 中嶋正之: “ブロック特徴を用いた歩行人物の抽出と追跡”, テレビ誌, **45**, 10, pp. 1213-1220 (1991)
- 3) 浅田稔, 谷内田正彦, 辻三郎: “運動物体の検出と追跡”, 信学論, **J62-D**, 6, pp. 395-402 (1979)
- 4) 野中利成, 木村茂, 小沢慎治: “適応型フレーム積分を用いた移動物体抽出”, 信学論, **J76-D-II**, 1, pp. 84-91 (1993)
- 5) 川端敦, 谷藤真也, 諸岡泰男: “移動物体の抽出技術”, 情処学論, **28**, 4, pp. 395-402 (1987)
- 6) 黄秉元, 高羽慎雄: “ITV 画像による人の流れの実時間計測”, 信学論, **J66-D**, 8, pp. 917-924 (1983)
- 7) 依田晴夫, 本池順, 江尻正員, 弓仲武雄: “実時間画像処理を用いた待客数検出方式”, 信学論, **J69-D**, 11, pp. 1679-1686 (1986)
- 8) 石橋聡, 小林幸雄, 岸野文郎: “背景参照画像と両眼視差を用いた任意背景中の人物像抽出”, テレビ誌, **45**, 10, pp. 1270-

* 画像中の右足と左足をつなぐ線分の中央の点について、地平面での値を求め、これを真値とした。

1276 (1991)

- 9) 平井宏, 三宅康雄, 堤喜代司, 弓場芳治: “2 眼視による歩行者の影の消去に関する一提案”, テレビ誌, 47, 3, pp. 392-394 (1993)
- 10) 山本正信, ロベルト チボラ: “ステレオ動画画像解析の一手法”, 信学論, J72-D-II, 6, pp. 855-865 (1989)
- 11) 山田友紀乃, 野中利成, 小沢慎治: “動画画像を用いた人数の計数の一手法”, 信学春季全大, D-633 (1991)

〈付 録〉画像変換式の導出

付・図 1 に示すように, X - Y 面が地平面に一致する座標系 X - Y - Z を絶対座標系とし, カメラのレンズ中心が原点となるカメラ座標系 x - y - z を考える. カメラ座標系 x - y - z は絶対座標系 X - Y - Z を平行移動ののち回転したものに等しい. X, Y, Z に一致して x, y, z をとるものとし, 座標系の原点を (a, b, c) に移動して, Z 軸の回りに α だけ回転したのち, X 軸の回りに β だけ回転し, さらに Y 軸の回りに γ だけ回転したものをカメラ座標系とする. また, 付・図 2 に示すように, カメラ座標系の原点から焦点距離 f の位置にあって, y 軸 (光軸) と垂直な平面を画像平面とし, この平面に座標系 H - V をとる.

まず, $Z=0$ (つまり地平面) での (X, Y) と画像平面での (H, V) の関係を求める. (x, y, z) は, (X, Y, Z) により

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X-a \\ Y-b \\ Z-c \end{pmatrix} \quad (\text{付} \cdot 1)$$

と表される. ここで, (a, b, c) は, X - Y - Z 座標系でのカメラの位置であり, 絶対座標系の原点 O とカメラの距離を r とすると

$$\begin{cases} a = r \cos \beta \sin \alpha \\ b = -r \cos \beta \cos \alpha \\ c = r \sin \beta \end{cases} \quad (\text{付} \cdot 2)$$

である. また H, V は, カメラの焦点距離を f とすると, x, y, z により

$$H = f \frac{x}{y}, \quad V = f \frac{z}{y} \quad (\text{付} \cdot 3)$$

と表される. (付・1)~(付・3) 式より, 観測領域の 1 点 (X, Y, Z) の画像での座標 (H, V) は

$$H = f \frac{a_1 X + b_1 Y + c_1 Z - (a_1 a + b_1 b + c_1 c)}{a_2 X + b_2 Y + c_2 Z - (a_2 a + b_2 b + c_2 c)} \quad (\text{付} \cdot 4)$$

$$V = f \frac{a_3 X + b_3 Y + c_3 Z - (a_3 a + b_3 b + c_3 c)}{a_2 X + b_2 Y + c_2 Z - (a_2 a + b_2 b + c_2 c)} \quad (\text{付} \cdot 5)$$

付・図 1 座標系の設定
Coordinate systems.

付・図 2 カメラの画像平面
Image plane of camera.

ただし

$$\begin{cases} a_1 = \cos \alpha \cos \gamma + \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma \\ a_2 = \sin \alpha \cos \beta \\ a_3 = -\cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma \\ b_1 = -\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma \\ b_2 = \cos \alpha \cos \beta \\ b_3 = \sin \alpha \sin \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma \\ c_1 = \cos \beta \\ c_2 = -\sin \beta \\ c_3 = \cos \beta \cos \gamma \end{cases}$$

により求められる. この式で $Z=0$ とすると, (X, Y) と (H, V) は 1 対 1 に対応する. したがって, X, Y は, H, V がわかると

$$X = \frac{V(b_2 d_1 - b_1 d_2) + H(b_3 d_2 - b_2 d_3) + f(b_1 d_3 - b_3 d_1)}{V(a_2 b_1 - a_1 b_2) + H(a_3 b_2 - a_2 b_3) + f(a_1 b_3 - a_3 b_1)} \quad (\text{付} \cdot 6)$$

$$Y = \frac{V(d_2a_1 - d_1a_2) + H(d_3a_2 - d_2a_3) + f(d_1a_3 - d_3a_1)}{V(a_2b_1 - a_1b_2) + H(a_3b_2 - a_2b_3) + f(a_1b_3 - a_3b_1)} \quad (\text{付} \cdot 7)$$

ただし

$$\begin{cases} d_1 = -(a_1a + b_1b + c_1c) \\ d_2 = -(a_2a + b_2b + c_2c) \\ d_3 = -(a_3a + b_3b + c_3c) \end{cases}$$

により求められる。

左カメラ画像における座標値 H_L, V_L について、(付・6)、(付・7)式より X 座標および Y 座標の値を求め、これを X_L, Y_L とする。この X_L, Y_L の値を右カメラ画像についての(付・4)、(付・5)式に代入すると、 H_L, V_L の新しい座標値 H'_L, V'_L

$$\begin{aligned} H'_L &= F_{HR}(X_L, Y_L, 0) \\ V'_L &= F_{VR}(X_L, Y_L, 0) \end{aligned} \quad (\text{付} \cdot 8)$$

が求められる。ここで、右カメラ画像における座標値 H_R, V_R を求める変換式を $F_{HR}(X, Y, Z), F_{VR}(X, Y, Z)$ と表している。 $Z=0$ の面上の点に関しては、(H_L, V_L) と (H_R, V_R) が等しくなるが、 $Z=0$ 以外の面上の点に関しては等しくならない。

以上の式は画像変換の基本的な考え方を示している。同次座標表現*を利用すれば、カメラの焦点距離や配置(距離、角度)などの値を求める必要がなくなる。左カメラの画像平面上の1点(H_L, f_L, V_L)が同次座標で($M_{xL}, M_{yL}, M_{zL}, W_L$)と表されるものとする。右カメラの位置は左カメラを平行移動し、さらに回転することにより得られるから、平行移動と回転ののちの画像平面での同次座標($M'_{xL}, M'_{yL}, M'_{zL}, W'_L$)は

$$\begin{pmatrix} M'_{xL} \\ M'_{yL} \\ M'_{zL} \\ W'_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{14} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & e_{24} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & e_{34} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} & e_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_{xL} \\ M_{yL} \\ M_{zL} \\ W_L \end{pmatrix} \quad (\text{付} \cdot 9)$$

と表される。また、左右のカメラの焦点距離が異なると画像の拡大あるいは縮小が生じるが、これも上記の 4×4 の行列で表せる。同次座標から画像平面の座標値は

$$H'_L = \frac{M'_{xL}}{W'_L}, \quad V'_L = \frac{M'_{zL}}{W'_L} \quad (\text{付} \cdot 10)$$

により求められ

$$H'_L = \frac{e_{11}H_L + e_{12}f_L + e_{13}V_L + e_{14}}{e_{41}H_L + e_{42}f_L + e_{43}V_L + e_{44}} \quad (\text{付} \cdot 11)$$

$$V'_L = \frac{e_{31}H_L + e_{32}f_L + e_{33}V_L + e_{34}}{e_{41}H_L + e_{42}f_L + e_{43}V_L + e_{44}} \quad (\text{付} \cdot 12)$$

となる。ここで、左カメラの画像平面の座標(H_L, V_L)、焦点距離 f_L が

$$\left. \begin{aligned} H_L &= \frac{M_{xL}}{W_L} \\ f_L &= \frac{M_{yL}}{W_L} \\ V_L &= \frac{M_{zL}}{W_L} \end{aligned} \right\} \quad (\text{付} \cdot 13)$$

と表されることを用いている。さらに、(付・11)、(付・12)式の右辺の分母、分子を定数 $e_{42}f_L + e_{44}$ で割ると

$$H'_L = \frac{e'_{11}H_L + e'_{13}V_L + e'_{14}}{e'_{41}H_L + e'_{43}V_L + 1} \quad (\text{付} \cdot 14)$$

$$V'_L = \frac{e'_{31}H_L + e'_{33}V_L + e'_{34}}{e'_{41}H_L + e'_{43}V_L + 1} \quad (\text{付} \cdot 15)$$

と表される。画像変換において未知のパラメータは $e'_{11}, e'_{13}, e'_{14}, e'_{41}, e'_{43}, e'_{31}, e'_{33}, e'_{34}$ の8個である。地平面上の4点を定めて、左右画像でそれらの座標値(H'_L と H_R, V'_L と V_R)が一致するように連立方程式を解くことにより、これらのパラメータの値が求められる。

み や け や す お
三宅 康雄 平成6年、京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科博士前期課程修了。現在、村田機械(株)に勤務。在学中、画像処理による歩行者追跡の研究に従事。

つ つ み き よ し
堤 喜代司 昭和48年、京都工芸繊維大学大学院工芸学研究科修士課程修了。52年、京都工芸繊維大学工学部電子工学科助手、平成2年、電子情報工学科助教授となり、現在に至る。光導波路・光信号処理および画像処理の研究に従事。工学博士。正会員。

ひ ら い ひ ろ し
平井 宏 昭和38年、大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。41年、大阪大学工学部通信工学科助手、48年、京都工芸繊維大学工学部助教授となり、現在に至る。ディジタル信号処理・音声合成・画像処理・光信号処理等の研究に従事。工学博士。正会員。

ゆ ば よ し は る
弓場 芳治 昭和31年、大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。大阪音響(株)、大阪大学・産業科学研究所、基礎工学部勤務ののち、京都工芸繊維大学工学部助教授、教授を経て、平成5年、岡山県立大学教授となり現在に至る。ミリ波伝送、画像処理の研究に従事。工学博士。正会員。

* 例えば、D.H. パラード、C.M. ブラウン(福村晃夫他訳)：“コンピュータ・ビジョン”，A1.1, A1.7, 日本コンピュータ協会(1987)