カラーカメラを用いた通行人数計測システム

正員 寺田 賢治 (徳島大学)

正員 山口 順一 (総合警備保障)

A Sytem for Counting Passing People by Using the Color Camera

Kenji Terada, member (The University of Tokushima)

Jun'ichi Yamaguchi, member (Sogo Security Service Co., Ltd.)

To count the passing people through the gate of the buildings or the entertainment halls is considered important for the office security or the marketing researches. In this paper, an automatic counting method of the passing people by utilizing color information is proposed. First, in the proposed method, the color images of the passing people are obtained in series. As a next step, pixels on an angled measurement line are picked up and arranged along the time axis. As a result, a space-time image which includes just the data of the passing people over the angled measurement line is generated. On this space-time image, the the distribution shape of the incoming persons is different from that of the outgoing persons. By detecting the distribution shape of the people data, the moving direction of the passing people can be recognized. Finally, each number of the incoming persons and the outgoing persons could be measured by counting the people data with each direction information. In this paper, we describe the algorithm of counting the passing people using the two space-time images and show some experimental results obtained by using a simple experimental system to verify effectiveness of the proposed method.

キーワード：パターン計測，通行人数計測，セキュリティ，交通量調査，自動監視システム

1 はじめに

路上やゲート、催し場などの出入口で人数を計測することは、セキュリティやマーケティング調査などに大変有用である。現在そのような人数計測は、係員やアルバイトの人によってカウンタを使いながら目視によって行なわれるのが一般的である。しかしこの作業は集中力を要するがそれだけで単調であるだけでなく、夏の炎天下や冬の寒空に耐える必要があり、精神的にも体力的にも負担が大きい。そこで通過人数の自動計測システムの開発が望まれている。例えばその簡単な実現例のひとつとして、ひとり分の通過ゲートを設置した上で、回転バーを用いた自動計数装置が取り付けられている場合がある。しかしこれは、設置場所がかなり限定されること、混雑を引き起こすこと、一度のバーの回転で2人以上通過してしまうなど計数精度が悪いこと、などの問題がある。そこでカメラにより撮像される画像を用いて、通行人数を自動的に計測しようとする試みが、いくつか行なわれている[1][2][3]。しかしいずれの方法も通行している人がまばらな単純なシーンを対象としており、混み合った場所を想定していない。これは、得られている画像データにおいて、人ひとり分の領域を抽出することが困難であるためである。

そこで筆者らは、混み合い環境下でも適用可能なレンジファインダにより取得される3次元情報に着目した通行人数計測法を提案している[4]。これはレンジファインダにより取得される通過する人の3次元データを用いた手法であり、混み合い環境下にも適用可能である。しかしながら、レンジファインダという特殊な装置を使う必要があること、3次元的なデータの取得のための処理に時間がかかるなどの問題があった。さらに1台のCCDカメラにより得られる白黒濃淡画像を用いた通行人数の計測法も提案したが[5]、対象を屋内に限定していた。

そこでカラーCCDカメラにより得られるカラー画像を用いた通行人数の自動計測システムを提案する。これはカラー情報を導入することによって、白黒濃淡画像で生じる影の影響による人間領域抽出の誤りをなくし、屋外でも通行人数をインテリジェントに計測できるシステムである。

これまでにカラー情報により影の除去方法は、いくつか提案されている[6]。そのうち、カラー情報をマンセル表色系[7]で表現した場合の色相と彩度を用いたものは、それらの成分が明るさの変化の影響を受けにくい成分とすることで、有力な方法と考えられている[8][9]。しかし色相は色合いを彩度はあざやかさを示すものであるが、一般に無彩色に近い路面上では色相の値は不安定になってしまう。一方、本システムにおいてこの処理は、影の除去と人間領域の抽

出のみが目的である。そこで安定している彩度成分のみに注目した影除去方法を提案する。このように彩度成分のみにより安定して影を除去できるだけでなく、情報が単純化され、実用的なシステムの実現が可能になる。

本システムではまず測定対象の場所に、カラーカメラを鉛直下向きに設定し、カラー画像を連続的に取得する。そして計測線上のライン状の彩度データを取り出し、予め取得しておいた同じ場所の路面の彩度データとの差画像を得る。このライン状の差画像を時間軸方向に並べて行くと時空間画像が生成される。そこで変化領域に対してラベリング処理を施し、塊を検出する。この時空間画像は影の影響を受けない彩度の差のデータであるので、変化のある場所が人間の領域となる。ただし複数の人が接触している一塊になっている場合もあるので、ラベリング後、塊ごとに何人の塊であるかを計数する。

また進行方向別の通過人数を計数するために、カメラを鉛直下向きに設置した上で、計測線を進行方向に対してななめに設置する。こうすると生成される時空間画像上で人間の領域は、進行方向に応じて塊の形状に違いを生じる。ただしこれは、従来のカメラをななめ上に設置することで生じる進行方向に応じた分布の形状の違いに着目するもの[1]とは異なり、鉛直下向きに通行する人を観察しているので、領域が接触することはあっても人同士が重なって人間の形状情報の一部分が失われるようなことがない。本論文ではさらに、実際に路上で行なった計数実験について述べ、本システムの有効性を示す。

2 カメラの設定

本システムの対象シーンは、屋外または屋内の道路や催し会場の出入り口であり、例えば図1に示されるようなものである。このような場所は、一般に混雑するところでさらに向こうへ行く人、こちらへ来る人のような各人の進行方向や普通に歩く人、早歩きの人、走る人と言うように各

図 1: 対象シーンの一例
An example of scene

図 2: 取得画像の例
Examples of obtained images

人の通過速度も様々である。本システムではカラーカメラを計数対象の場所の上空から鉛直下向きに設置する。ここで鉛直下向きに設置するのは、人を真上から観察することにより、取得された画像上で人と人のデータの重なりをなくするためである。これにより、人と人のデータがくっついてしまうことはあるが、人のデータが失われることはない。

このような設定で実際に得られる画像の例を図2(実際はカラー画像)に示す。このシーンでは、2人が異なった方向に通過している。このような画像系列を用いて通行人数を方向別に計数する。

3 彩度情報を用いた人間領域の抽出

画像を用いて通行人数を計測する際にまず重要となるのは、取得画像中の人間領域を正確に抽出することである。本システムで取得されている画像中には人間領域と路上領域が存在する。そこで通行している人が映っている画像と同じ場所の人がいない時の路面のみが映っている画像の差画像を求めると、人間領域が抽出された画像となるはずである。しかし図3に示されるように、白黒濃淡画像の差画像では人間の影の影響で人間領域のみを抽出することはできない。また図4に示されるように、影が黒いことに注目して路面の輝度より高い輝度をもつ画素を人間領域とみなすと、影が誤抽出されることはなくなるが、黒い服を着ている人や頭髮などが人間領域として抽出されない。

図 3: 白黒濃淡画像の差分 (絶対値)

Submission of the gray level image between road image and passer image(absolute value)

図 5: カラー画像 (彩度成分) の差分

Submission of the saturation image between road image and passer image

図 4: 白黒濃淡画像の差分 (正のみ)

Submission of the gray level image between road image and passer image(plus value)

図 6: カラー画像 (彩度成分) の差分例

An Example of Submission of the saturation image between road image and passer image

そこでカラー情報を導入する．ここではカラー情報を RGB ではなく、輝度、彩度、色相 [7] で表現し、このうちの彩度成分に注目する．彩度は路面上において日向でも影の部分でも変化しないので、図 5 に示されるように、彩度成分の人間が映っている画像と路面画像で差画像により人間領域抽出画像が生成できる．

実際に得られた画像にこの考え方を適用した例を図 6 に示す．これは図 2 に示された連続カラー画像中の 1 シーンを、彩度成分にて表現した画像の例である．このように彩度成分画像上では、路面上の日向部分も影部分にも差がないことがわかる．さらにこの画像と路面の彩度画像との差分画像は、人間領域のみが正しく抽出された画像になる．

4 ななめ計測線上の時空間画像の生成

連続的に得られる画像から通行人数を計測するために、ここでは計測線という概念を導入する [1][4][5]．例えば図 7 に示されるように、これを床面上に人の進行方向と垂直な向きに設ける．そして連続して撮像される各画像から、この計測線上の画像データのみを取り出して時間軸方向に並べていくと、横軸が計測線上の画素、縦軸が時刻の時空間画像が生成される．この時空間画像上には、計測線を通過した人の画像データが全て分布しているので、そのデータの塊の数に注目すれば、通行した人の数を検出することができる．

しかし図 8 に示されるように、この時空間画像から各人の進行方向までを検出することは難しい．そこでこれまでに、カメラを斜め上に設置するもの [1]、移動方向ベクトル

を求めるもの [4]、計測線を 2 本にするもの [5] などが提案されている．しかしひとつめは、斜め上から観察される画像を対象とすることになるので、混雑しているときに得られる画像上で人と人の重なりが大きくなった場合には、正しい計測は行なえなくなる可能性がある．また残りのふたつは、データ同士の重なりがないので高い精度の計数は可能だが、方向ベクトルを求めるために取得画像上または 2 個の時空間画像間でマッチング処理を行なう必要があるために、処理時間、メモリ量に問題がある [10]．

そこでここでは図 9 に示されるように、計測線を通過する人に対してななめに設定することにより進行方向を検出する．まず図 7 に示される変換と同じように、連続的に得られるななめ計測線上の画像データを時空間画像に変換する．そうすると図 10 に示されるように、進行方向により人の領域のデータの形状に違いが生じる．例えば図 10(a) に示されるように、画面の上から下へ通過する人は、ななめ

図 7: 計測線の時空間画像の生成

The space-time image at the measurement line

図 8: 計測線における時空間画像上の分布
Distribution on the space-time image
at the measurement line

計測線を、まず左肩が続いて頭部、最後に右肩の順に通過して行くので、この人の時空間画像上でのデータの分布は、左上がりの形状になる。また逆に図 10(b) に示されるような画面の下から通過する人は、右肩、頭部、左肩の順で計測線を通過するので、この人の時空間画像上でのデータは右上がりの分布を示す。

このように計測線をななめに設定することにより、1 枚の時空間画像上の人のデータの分布の形状により進行方向まで検出できる。この設定では、カメラの光軸は鉛直下向きであるために、カメラを斜めに設置する場合とは異なり、人のデータ同士がくっつく場合はあっても、人同士が重なってその部分のデータが取得されなくなるということはない。すなわち画像上に通過した人全てのデータが存在していることになる。そしてこのように計数線をななめに設定する方法は提案されていない。

5 計数アルゴリズム

第 3 章で示された彩度情報を用いた人間領域の抽出と第 4 章で示されたななめ計測線を用いた進行方向の検出の二つの概念を用いた通行人数の計数アルゴリズムを提案する。処理の流れを図 11 に示す。まず第 2 章で述べられているように、鉛直下向きに設置されたカラー CCD カメラにより、カラー画像を連続的に取得する。さらに第 4 章で述べられているように、ななめの計測線上の彩度データのみを取り出す。そして第 3 章で述べられているようにこの彩度情報

図 9: ななめ計測線による時空間画像の生成
Transfer of the space-time image
at the angled measurement line

図 10: ななめ計測線の時空間画像上の分布
Distribution on the space-time image
at the angled measurement line

に着目して、影の影響を受けないように、ななめ計測線における時空間画像(彩度の差画像)を生成する。

こうして生成された時空間画像上で、ある値以上の画素をラベリング処理 [11] により連結していく。そして生成された塊の大きさを調べて、小さい場合はノイズとして消去する。最終的に残った塊が人間領域として抽出される。

さらに各々の塊の分布形状をモーメント特徴を用いて調べる [10]。すなわち図 12 に示されるように、主軸と u 軸がなす角度を求め、その角度の正負の符号を調べる。これにより進行方向が検出される。

図 11: 処理の流れ
Flow

図 12: 主軸の傾き
An angle of principal axis

さらに各進行方向ごとにデータの塊の数を数えると、それが通行人数となる。ただしここでデータの塊を単純に計数しても、通過した人の数を求めることができない。本システムではカメラを鉛直下向きに設定しているため、人の

(a) 縦に 2 人くっついて通過する場合

(b) 1 人が遅く歩いて通過する場合

図 13: 人数のカウント

Examples of the passing people
on the space-time image(a pair or slowly)

(a) 横に 2 人くっついて通過する場合

(b) 1 人が斜めに歩いて通過する場合

図 14: 人数のカウント (横長のデータ)

Examples of the passing people
on the space-time image(a pair or angled)

データ同志が重なることはないが、混み合い環境下ではそれらがお互にくっつくことはある。すなわち塊を単純に数えると、実際には 2 人以上であるのを 1 人としてしまう。また通過速度の違いや人同士のくっつき方、計測線の横切り方により分布の大きさがかわるので、人ひとり分が占めると考えられる面積あたりで、その塊を割っても正しいカウントは行なえない。例えば、縦に 2 人くっついて通過する場合と、1 人が遅く歩いている通過する場合は、ほぼ同じような大きさ、広がりをもつデータの分布になる (図 13)。また横に 2 人くっついて通過する場合と、1 人が計測線に沿いながら歩いている通過する場合は、ほぼ同じような大きさ、広がりをもつデータの分布になる (図 14)。そこで塊の周辺形状より、その塊が何人で構成されているかを検出する。すなわち本システムでは真上から観測しているデータを用いているので、人と人とが接触している場合でも、その接点の塊は必ず細くなっている。そこで求められた主軸に平行方向及び垂直方向に投影データを求め、その分布の形状より、何人分のデータであるかを検出する。

以上の処理を計測線上にデータがない時まで繰り返して行くと、通行人数を進行方向ごとに計数することができる。ただし本システムでは、行き交う人のみを対象とし、画面に対して横方面より出入りする人は対象としない。例えば図 15 に示されるような計測線に対してちょうど垂直に進入するような人を対象とはしない。本システムは、路上やゲート、催し場などの出入口での応用を考えているので、横からの進入する人を考慮しなくていいためである。

実際に図 2 に示される連続画像に対して処理された結果の一例を示す。図 16(a) に示されるのが、ななめ計測線により生成される白黒濃淡の時空間画像の一例である。白黒濃淡画像では、影の影響により人間領域の抽出が困難となることがわかる。図 16(b) に示されるのが、ななめ計測線により生成される彩度成分の時空間画像の一例である。このように、影の影響を受けない時空間画像が生成されている。

さらに人間領域に対するラベリング処理が行なわれた画像の例を図 16(c) に示す。これは塊ごとに色の濃さを表したものである。すなわち 2 人が通過したこのシーンでは、正しく塊が時空間画像上に 2 個分布している。各々の塊に関してその分布の主軸の角度を求めると、 $+17.4$ 度と -9.4 度であった。すなわち 1 人は画面の上から下へ、も

図 15: 対象外のデータ
Data out of counting objects

う1人は下から上に通過するこのシーンでは、2人の進行方向が正しく検出されている。

6 実験

本方法の有効性を検証するために、図17に示されるような筆者らが所属する工学部構内の路上にて行なれた計数実験について述べる。季節は冬で、時刻は午後1時頃、天候は晴れであり、影がくっきりと路上にできていた。

この実験ではまず路面からの高さが約3.6mにあるゲート(実際は電気や電話線用の配管)に、図18に示されるようなカラーのCCDカメラ(SONY製:XC-711)を鉛直下向きに設置した。そしてそのカメラの下をいろいろな人に適当に通行してもらった。画像は1秒あたり15枚の時間間隔で連続的に取得された。画像は一旦、256画素×256画素、RGB各256階調で、画像ボード(フォトロン製NorgaMaster)に格納される。そしてななめの計測線上の2ラインのデータ($256[\text{pixel}] \times 8[\text{bit}] \times 3[\text{plane}] \times 2[\text{line}]$)が、計算機(Sun SPARC4/20)に取り込まれる。さらに各画素における彩度が計算され、同じ位置の2ラインの路面彩度画像($256[\text{pixel}] \times 8[\text{bit}] \times 1[\text{plane}] \times 2[\text{line}]$)との差分により、彩度の差画像($256[\text{pixel}] \times 8[\text{bit}] \times 1[\text{plane}] \times 2[\text{line}]$)が取り出される。これらの処理が人が途切れるまで行なわれ、その結果、彩度の差画像の時空間画像が生成される。そして3章、4章、5章で提案されたアルゴリズムにて、この時空間画像に分布している通過人数が計数される。さらに、これらの処理が繰り返され、進行方向別の通過人数の合計が計数される。

図16: 斜め計測線の時空間画像の例
Examples of the the space-time image
at the angled measurement line

図17: 実験の環境
Experimental scene

図18: カメラの設置
CCD Color camera installed at the gate

この実験の際に通過した人数は、各方向に各々29人及び28人であった。これには普通に歩く人、ゆっくり歩く人、走る人、肩を組んでいる人、すれ違い際におつかる人、前後にくっつきながら歩く人、計測線に沿って歩く人、計測線に垂直に歩く人、おんぶしている人などが含まれている。実験の結果、通行人数の計数結果は各方向に各々28人と28人になった。通行人数が合わないのは、計測線に垂直に歩く人(逆方向に+1人、正方向から-1人)とおんぶしている人(実際より-1人)が各々1例、正しく計測できずに、その誤差が各方向に分布しているためである。このうち、計測線に垂直に歩く人は、本システムでは対象としていないケースである。ただし今回は実験であるため、いろいろ試してみたが、本システムの実際の応用場所が路上やゲート、催し場などの出入口であることを考えると、横からの進入はないとみなしてよい。一方おんぶをしている人の場合は、取得画像を目で見てみても1個の塊になっているデータが取得されており、画像データにより計数を行なう本システムでは計測できないと思われる。またこのような特別な場合以外の通過する人は全て正しく計数され、本システムの有効性が検証された。

今後の課題としては、実時間処理である。現在のところ、データの取得から人数計測まで、画像ボードの制御や画像処理に関するものは、自作のソフトウェアによって演算が行なわれている。そのため、5秒程の時空間画像($256[\text{pixel}] \times 8[\text{bit}] \times 1[\text{plane}] \times 2[\text{line}] \times 75[\text{frame}] = \text{約 } 38[\text{Kbyte}]$)に対して処理を行なうと、2秒程かかってしまっている。ただし処理としては、色変換、差、ラベリング、モーメントの計算など基礎的な処理ばかりであるので、専用の画像ボードなどを用いれば、十分リアルタイム処理が可能である。

7 まとめ

カラーカメラを用いた通行人数の自動計測システムの開発に関して報告した。これは計数したい場所の天井やゲートに鉛直下向きに設置されたカラーカメラから連続的に取得されるカラー画像を用いて、通行人数をその進行方向別に精度良く計測するシステムである。ここでカラー情報を導入したのは、白黒濃淡画像で生じる影の影響による人間領域抽出の誤りをなくすためである。本システムでは影の部分が取り除かれた画像のうち、さらに計測線ライン上の彩度の画像データによって時空間画像を生成する。そして計数はこの時空間画像上に分布する人の塊の数を数えることにより行われる。

さらに本報告では、実際にゲートにカラー CCD カメラを取り付けて行なった計数実験について述べた。これは混み合い状況を想定した実際のシーンに即した実験であった。その結果、特殊な例を除いて正確な計数が行なわれ、本システムの有効性が確認された。今後の課題は、専用の画像ボードなどを用いた実時間処理の実現である。また路面と同じ彩度を持つ人間は計数することは不可能である。ただ路面と彩度が等しいことは、色や材質が等しくいとなかなか起こらないと思われ、実際に今回の実験(論文に示された例以外にも何回も実験を行なっている)でも検出されなかった。もちろん可能性としては0ではないので、さらに厳密な計数が必要になる場合には、彩度以外のカラー情報も考慮する必要がある。

最後にプログラム作成、実験等に協力して下さいました徳島大学工学部安藤卓巳氏(現在、松下寿電子工業勤務)に感謝致します。

(平成9年7月28日受付, 平成9年12月17日再受付)

文 献

- [1] 間瀬健二: “ $x-t$ 時空間画像を用いた歩行者の計数”, 電子情報通信学会技術報告, No. IE90-43, pp. 29-36 (1990)
- [2] 山田友紀乃, 野中利成, 小沢慎治: “動画画像を用いた人物の計数の一手法”, 1991年電子情報通信学会春季全国大会, No. D-633, pp. 7-345 (1991)

- [3] 小池秀樹, 土川仁, 安達文夫: “人物のカウント方法に関する検討”, 第22回画像工学コンファレンス, No. 5-3, pp. 123-126 (1991)
- [4] 伊藤隆太郎, 寺田賢治, 山口順一, 中島真人: “ファイバグレイティング視覚センサを用いた込み合い環境下での通過人数計測”, 画像電子学会論文誌, No. 24, Vol. 5, pp. 550-556 (1995)
- [5] Kenji Terada, Masaki Fujikawa and Jun'ichi Yamaguchi: “An Automatic Method of Counting the Passing People through the Gate by using the Two Space-time Images”, *IAPR WORTSHOP on Machine Vision Applications*, No. 8-24, pp. 321-324 (1996)
- [6] 陳, 森: “アスファルト道路環境における日陰処理”, 第5回知能移動ロボットシンポジウム, pp. 115-120 (1990)
- [7] 高木幹雄, 下田陽久: 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, pp. 104 (1991)
- [8] 富士写真フイルム: “特徴画像データの抽出方法”, 特許公開公報, 特開平 5-158164 (1993)
- [9] 関西電力: “移動物体自動監視システム”, 特許公開公報, 特開平 8-340527 (1996)
- [10] 田村秀行: コンピュータ画像処理入門, 総研出版, pp. 86, pp. 148 (1985)
- [11] 八木伸行, 井上誠喜, 林正樹, 中須英輔, 三谷公二, 奥井誠人, 鈴木正一, 金次保明: “C 言語で学ぶ実践画像処理”, オーム社, pp. 95-110 (1992)

寺田 賢治 (正員) 1990年3月慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1995年3月同大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。同年4月徳島大学工学部助手, 同年11月同講師, 現在に至る。1992年4月~1995年3月日本学術振興会特別研究員。工学博士。画像計測, 画像処理に関する研究に従事。

山口 順一 (正員) 1978年3月電気通信大学電気通信学部計算機科学科卒業。1979年総合警備保障株式会社入社, 現在に至る。1987~1991年慶應義塾大学大学院理工学研究科研究生。工学博士。パターン計測に関する研究に従事。